

CLIMATE BOX

เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กล่องเครื่องมือ
การเรียนรู้แบบโต้ตอบ
เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หนังสือเรียน

กล่องเรียนรู้
สภาพภูมิอากาศ
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ชุดเครื่องมือการเรียนรู้
แบบโต้ตอบเกี่ยวกับ
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หนังสือเรียน

ผู้เขียน
อาริยานี อเมลลินา (Aryanie Amellina) (ฉบับเอเชียตะวันออกเฉียงใต้)
วลาดิเมียร์ เบอร์ดิน (Vladimir Berdin) (ผู้เขียนหลัก, ตอนที่ 1.1.-1.4, 2.6, 2.8 และ 3.5)
ยูเลีย โดโบรลูโบวา (Yulia Dobrolyubova) (บรรณาธิการหลัก, ตอนที่ 2.7, 2.9 และ2.10)
เอคาเทรินา กราเชวา (Ekaterina Gracheva) (ตอนที่3.1, 3.2 และ 3.4)
วท.ด. พาเวล คอนสแตนตินอฟ (D.Sc. Pavel Konstantinov) (ตอนที่ 1.1, 2.1, 2.4, 2.5, 2.9)
วท.ด. นาตาเลีย รีอโชวา (D.Sc. Natalia Ryzhova) (ตอนที่ 2.2)
วท.ด. คาเทีย ซีเมโอโนวา (D.Sc. Katia Simeonova) (เนื้อหาเพิ่มเติมในฉบับ พ.ศ. 2567)
วท.ด. เอเลนา สเมียร์โนวา (D.Sc. Elena Smirnova) (บรรณาธิการหลัก, ตอนที่ 3.2, 3.3, 3.4)
วท.ด. ดมิทรี ซาโมโลดชิคอฟ (D.Sc. Dmitry Zamolodchikov) (ตอนที่ 2.3)

ผู้ตรวจสอบด้านการสอน
ลูบอฟ โคโลทิลินา (Lyubov Kolotilina)
เอเลนา มัลต์ (Elena Malts)
วท.ด. เอเลนา สเมียร์โนวา (D.Sc. Elena Smirnova)
มาร์ค วินเดล (Mark Windale)
กศ.ด. กานจุลี ปัญญาอินทร์ (Ed.D. Kanchulee Punyain)
กศ.ด. วชิรศรณ์ แสงสุวรรณ (Ed.D. Washirasorn Saengsuwan)

ผู้จัดการโครงการ
นาตาเลีย โอลอฟินสกายา (Natalia Olofinskaya)
อันโตนินา โควานสกายา (Antonina Khovanskaya)
เอเลนา ซูโรวิคินา (Elena Surovikina)
วท.ด. เซอร์เกย์ ทัมบิเยฟ (D.Sc. Sergey Tambiev)
เพตรา วาลาสตินอวา (Petra Valastinova)
เอเลน่า ซิยเทียรี (Elena Sentieri)
ขัตติยา อุ่นใจ (Khattiya Ounjai)

การตรวจสอบทางเทคนิค
เทอเรนซ์ จอห์น แคร์ริงตัน (Terence John Carrington)
อาร์มีน โพโกสยาน (Armine Poghosyan)

บรรณาธิการ ฉบับปี พ.ศ. 2567
ภารตี สาทศิวัม (Bharati Sadasivam)

การออกแบบและเค้าโครง
นาตัน จูเลียโน (Natan Giuliano)
อัลวาร์ด โอฮันจันยาน (Alvard Ohanjanyan)
แอนนา อาเลคเปโรวา (Anna Alekperova)

คำขอบคุณ
ทีมโครงการขอขอบคุณที่ปรึกษาและที่ปรึกษาทางวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยจัดทำ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อะเล็กเซย์ โคโคริน (Alexey Kokorin) สำหรับคำแนะนำอันมีค่าในหัวข้อ 'การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ' และ 'การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคอาร์กติกอย่างไร' ยูเลีย คาลินิเชวา (Yulia Kalinicheva) สำหรับความช่วยเหลือในการเตรียมแผนที่ติดผนังและโปสเตอร์ลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (United Nations Development Programme: UNDP) ในอาร์เมเนียสำหรับการเตรียมโปสเตอร์การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อะเล็กเซย์ โซลดาตอฟ (Alexey Soldatov) จากบริษัท บีเอสเอช โฮม แอพพลายแอนซ์ แอลแอลซี (BSH Home Appliances LLC) และ โอลกา เปโกวา (Olga Pegova) สำหรับความช่วยเหลือในการเตรียมสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับ 'ประสิทธิภาพด้านพลังงานและการประหยัดพลังงาน'

หนังสือเรียน กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) เป็นส่วนหนึ่งของชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มุ่งเป้าไปที่นักเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาและครูที่เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติและการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม ชุดเครื่องมือนี้จัดทำโดยโครงการ UNDP โดยได้รับการสนับสนุนทางการเงินสำหรับขั้นตอนต่าง ๆ ของโครงการกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศจากกองทุนสิ่งแวดล้อมโลก รัฐบาลสหพันธรัฐรัสเซีย และบริษัทโคคา-โคลา กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) เป็นชุดเครื่องมือด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียน ซึ่งรวมถึง กล่องแห่งทะเลดำ (The Black Sea Box) และ หีบสมบัติน้อยแห่งไบคาล (Baikal's Little Treasure Chest)

กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ : ชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ / อาริยานี อเมลลินา (A. Amellina), วลาดิเมียร์ เบอร์ดิน (V. Berdin), เอคาเทรินา กราเชวา (E. Gracheva), ยูเลีย โดโบรลูโบวา (Y. Dobrolyubova) และคณะโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) พ.ศ. 2568

UDC 373.3 (5): 551,583
BBK: 74.26:26.237 K49
ISBN 978-5-9902971-2-8

© โครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) สงวนลิขสิทธิ์ สิ่งพิมพ์นี้สามารถทำซ้ำเพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาที่ไม่ใช่เชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้ถือลิขสิทธิ์ได้ โดยต้องอ้างอิงแหล่งที่มาอย่างถูกต้อง

ชื่อที่ใช้และการนำเสนอข้อมูลบนแผนที่ไม่ได้สื่อหมายความถึงการแสดงความคิดเห็นใด ๆ ทั้งสิ้นจากสำนักงานเลขาธิการสหประชาชาติหรือ UNDP เกี่ยวกับสถานะทางกฎหมายของประเทศ ดินแดน เมืองหรือพื้นที่ หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือเกี่ยวกับการกำหนดขอบเขตหรือแนวเขตของพื้นที่นั้น ๆ



เกี่ยวกับ
กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (CLIMATE BOX)
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นที่ยอมรับทั่วกันว่าเป็นปัญหาระดับโลกที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน ปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาระดับโลกเนื่องจากทุกประเทศและทุกภูมิภาคของโลกสามารถรู้สึกถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ และเนื่องจากแต่ละคนมีส่วนรับผิดชอบต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนโลกในระดับที่แตกต่างกัน มนุษย์เป็นผู้บริโภคสินค้าและบริการขั้นสุดท้ายที่ต้องใช้ทรัพยากรและพลังงาน เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ) ในการผลิต การผลิตและการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องรวมถึงอุณหภูมิของอากาศโลกเพิ่มสูงขึ้น การผลิตปูนซีเมนต์และโลหะ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ของมนุษย์บนพื้นดิน เช่น กิจกรรมทางการเกษตรและการจัดการป่าไม้ยังเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศอีกด้วย ซึ่งนี่คือร่องรอยคาร์บอนที่มนุษย์ทิ้งไว้บนโลก

ความจำเป็นของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้มนุษย์มีความรู้และเครื่องมือทั้งหมดที่จำเป็นในการปกป้องสิ่งแวดล้อมและลดร่องรอยคาร์บอน สิ่งสำคัญคือต้องปลูกฝังความรู้และนิสัยดังกล่าวในตัวตั้งแต่วัยเด็ก เพื่อให้ทุกคนตระหนักถึงความสำคัญของการดูแลสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติเมื่อเรียนจบจากโรงเรียนแล้ว

โครงการ UNDP ร่วมกับกองทุนสิ่งแวดล้อมโลก (Global Environment Facility: GEF) รัฐบาลสหพันธรัฐรัสเซีย และบริษัทโคคา-โคลา ได้พัฒนา กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) เพื่อเป็นชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับนักเรียน โดยมุ่งหวังที่จะให้ข้อเท็จจริงที่สำคัญเกี่ยวกับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกแก่นักเรียนในรูปแบบที่น่าสนใจและสนุกสนาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำแก่ครูเกี่ยวกับการใช้ชุดเครื่องมือในหลักสูตรของโรงเรียน

“ถึงทุกคนที่ทุ่มเททำงาน เดินขบวน และผลักดันการดำเนินการด้านสภาพอากาศอย่างจริงจัง ข้าพเจ้าขอให้ทุกท่านทราบว่าท่านอยู่ในฝั่งที่ถูกต้องของประวัติศาสตร์ และข้าพเจ้ายืนอยู่เคียงข้างทุกท่าน”

อันโตนิโอ กูเตอร์เรส (António Guterres)
เลขาธิการองค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN)
19 กันยายน พ.ศ. 2566

กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ประกอบด้วย

- หนังสือเรียนที่มีภาพประกอบสำหรับนักเรียน พร้อมเอกสารประกอบการเรียนรู้ คำถามและงานต่าง ๆ สำหรับแต่ละบุคคลและกลุ่ม ตลอดจนแนวทางสำหรับครูผู้สอนในการใช้ชุดเครื่องมือในบทเรียนสำหรับนักเรียนในกลุ่มอายุต่าง ๆ (ซึ่งเป็นทั้งบทเรียนในหนังสือเรียนและเอกสารเสริมแยกต่างหาก)
- ชุดไพ่เกมทายปัญหาเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ (Climate Quiz)
- แผนที่ติดผนัง แสดงผลกระทบที่เป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อธรรมชาติและมนุษยชาติในส่วนต่าง ๆ ของโลกภายในช่วงเวลาสิ้นคริสต์ศตวรรษที่ 21
- โปสเตอร์แนะนำวิธีลดปัญหาและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ยากต่อการบรรเทา
- โปสเตอร์แนะนำวิธีลดร่องรอยคาร์บอน
- climate-box.com เว็บไซต์ที่มีเอกสารประกอบทั้งหมด

หนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในโรงเรียน โดยมีลักษณะคล้ายสารานุกรมภาพเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ นำเสนอเนื้อหาสำคัญ รวมถึงประเด็นที่ซับซ้อน ให้เข้าใจได้ง่าย ผู้อ่านจะได้เรียนรู้ว่าสภาพภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรตั้งแต่ยุคธรณีวิทยายุคแรก ๆ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลต่อธรรมชาติและมนุษยชาติอย่างไร มนุษย์จะสามารถปรับตัวให้เข้ากับผลกระทบที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ได้หรือไม่ มีวิธีใดบ้างที่จะช่วยป้องกันผลกระทบที่เป็นอันตรายของภาวะโลกร้อน และสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกได้อย่างไร เนื้อหาแยกของหนังสือจะอธิบายแนวคิดเรื่องร่องรอยคาร์บอนและวิธีที่จะช่วยลดร่องรอยคาร์บอน

หนังสือเรียนและสื่อการเรียนรู้อื่น ๆ ใน กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อช่วยให้ผู้อ่านรุ่นเยาว์สามารถนำไปใช้เองได้ หัวข้อบางหัวข้อเน้นสำหรับเด็กเล็ก และบางหัวข้อเน้นสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษา ผู้อ่านบางท่านอาจสนใจทั้งเล่ม ในขณะที่บางท่านอาจสนใจเฉพาะข้อเท็จจริง ภาพประกอบ หรือแนวคิดที่น่าสนใจสำหรับการทดลอง ทุกท่านจะได้พบสิ่งใหม่ ๆ ที่น่าสนใจใน กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box)

ความสำเร็จของโครงการนำร่อง กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ตลอดจนเสียงชื่นชมที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครู และนักเรียน เป็นแรงบันดาลใจให้โครงการ UNDP จัดทำชุดการศึกษาที่เป็นสากลอย่างแท้จริงซึ่งเชื่อมโยงเด็กและครูจากทั่วโลกเข้าด้วยกัน



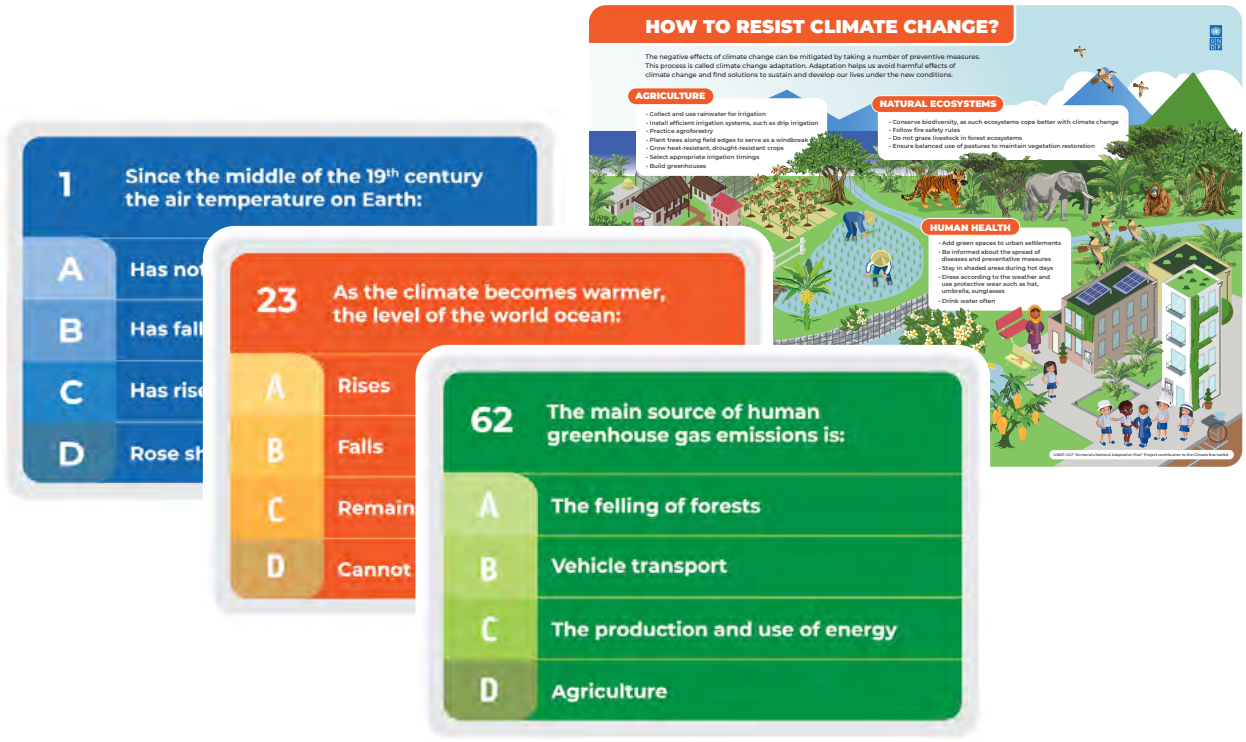
ภายในปี พ.ศ. 2562 โครงการ UNDP ได้ขยายขอบเขตการดำเนินการโครงการ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ในเก้าประเทศในยุโรปตะวันออก เทือกเขาคอเคซัส และเอเชียกลาง ในปี พ.ศ. 2568 ประเทศใหม่สามประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่เข้าร่วมโครงการ ได้แก่ สปป.ลาว ไทย และเวียดนาม ชุดเครื่องมือในรูปแบบดิจิทัลมีให้บริการในภาษาต่าง ๆ ของสหประชาชาติ (UN) และภาษาประจำชาติของประเทศที่เข้าร่วมผ่านทาง **www.climate-box.com**.

ชุดเครื่องมือ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) เวอร์ชันสำหรับประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ประกอบด้วยข้อมูลล่าสุดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงผลการวิจัยที่สำคัญจากรายงานการประเมินครั้งที่ 6 (Assessment Report: AR6) ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) และกรณีศึกษาของแผนริเริ่มล่าสุดเกี่ยวกับการบรรเทาและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เฉพาะเจาะจงสำหรับภูมิภาคนี้ พร้อมด้วยตัวอย่างทั่วโลก นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่ได้รับจากครูและผู้เชี่ยวชาญในประเทศต่าง ๆ ที่เป็นผู้ใช้ชุดเครื่องมือนี้เป็นกลุ่มแรก ๆ โดยอิงจากประสบการณ์ในการใช้โปรแกรม กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box)

ทีมนักเขียนจำนวนมากได้ร่วมกันจัดทำ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ซึ่งรวมถึงผู้เชี่ยวชาญชั้นนำด้านภูมิอากาศวิทยา ภูมิศาสตร์ ชีววิทยา และเศรษฐศาสตร์ รวมถึงนักเขียนหนังสือสำหรับเด็กระดับมืออาชีพ ครูที่มีประสบการณ์ได้มีส่วนสนับสนุนอันล้ำค่าในการพัฒนาแนวทางการใช้ชุดเครื่องมือนี้ในห้องเรียน

หวังว่าในอนาคต กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) จะเป็นแหล่งข้อมูลที่น่าสนใจและมีประโยชน์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับเด็กนักเรียน และสนับสนุนการเรียนรู้วิธีการปกป้องโลกธรรมชาติ

เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ได้ที่ www.climate-box.com.



คำนำ



ศาสตราจารย์โธมัส สตอคเกอร์ (Prof. Thomas Stocker)
ศาสตราจารย์ด้านฟิสิกส์ภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเบิร์น ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
ประธานร่วม กลุ่มทำงานที่ 1 ของคณะกรรมการ IPCC
ระหว่างปี พ.ศ. 2551-2558

ขอให้นึกถึงปี พ.ศ. 2573 พ.ศ. 2593 และ พ.ศ. 2643 ซึ่งถือเป็นหมุดหมายสำคัญที่มักถูกกล่าวถึงเมื่อมีการอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่ตามมา รวมถึงความจำเป็นในการปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ช่วงเวลาเหล่านี้อาจดูห่างไกลสำหรับคนส่วนใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับคนหนุ่มสาว แต่สำหรับคุณผู้ซึ่งสืบทอดโลกในวันข้างหน้า หมุดหมายเหล่านี้มีความสำคัญยิ่ง ฉันจะทำงานอะไรในปี พ.ศ. 2573 ฉันจะใช้ชีวิตที่ไหนในปี พ.ศ. 2593 ลูก ๆ ของฉันจะใช้ชีวิตอย่างมีความสุขได้อย่างไรในปี พ.ศ. 2643 คำถามเหล่านี้ล้วนเป็นคำถามพื้นฐานของนักเรียนในปัจจุบัน ตั้งแต่ระดับโรงเรียนจนถึงมหาวิทยาลัย

คนรุ่นปัจจุบันมีความเคยชินกับการแสวงหาคำตอบต่อคำถามเหล่านี้ด้วยการสำรวจตัวเอง การเข้ารับการศึกษาที่มีคุณภาพสูงสุด การทำงานอย่างทุ่มเท และการสร้างสรรค์และคิดค้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่เพียงจะส่งผลต่อสภาพความเป็นอยู่บนโลกใบนี้ ซึ่งเป็นบ้านหลังเดียวของมนุษย์ แต่ยังจะมีอิทธิพลต่อทางเลือกในชีวิตและต่อความเป็นอยู่ที่ดีของครอบครัวและเพื่อนบ้าน ไม่ว่าจะใกล้หรือไกล การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะกลายเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดสภาพความเป็นอยู่ในอีกหลายทศวรรษข้างหน้า

นี่คือเหตุผลที่ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) จึงเหมาะสมอย่างยิ่งในช่วงเวลานี้ จำเป็นต้องเข้าใจว่าปัจจัยใดกำลังกำหนดอนาคต และตระหนักว่าการตัดสินใจในวันนี้มิได้ส่งผลต่อชีวิตในช่วงชีวิตนี้เท่านั้น หากแต่ยังมีอิทธิพลต่อชีวิตของลูกหลานในอนาคตผ่านกลไกที่หลากหลายและซับซ้อน ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับอิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อโลก ต่อสภาพอากาศ และต่อทรัพยากรทั้งหมดของโลก จำเป็นต้องได้รับการสอนตั้งแต่เนิ่น ๆ เพื่อให้มีความอ่อนไหวต่อปัญหาเหล่านี้โดยเร็วที่สุด

การสอนมีหลายรูปแบบ กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) นำเสนอเนื้อหาที่สดใหม่และมีชีวิตชีวาสำหรับหัวข้อที่ซับซ้อนนี้ ด้วยการนำเสนอข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยที่สุดด้วยภาษาที่ชัดเจน พร้อมด้วยภาพประกอบแบบทดสอบ และเรื่องราวต่าง ๆ แบบง่าย ๆ นักเรียนสามารถย่อยความรู้ผ่านช่องทางต่าง ๆ ได้ สิ่งที่ต้องทำใน กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) จะช่วยให้นักเรียนจดจำ ประเมิน และมุ่งเน้นทำความเข้าใจได้เป็นอย่างดี

โลกาภิวัตน์นำมาซึ่งประโยชน์มากมาย แต่ผู้คนยังขาดความพร้อมในการใช้ชีวิต ทำงาน และดำรงชีวิตในโลกยุคโลกาภิวัตน์ สมองของมนุษย์ได้รับการฝึกฝนมาเป็นเวลาหลายพันปีให้ตอบสนองและปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมรอบตัว ซึ่งสิ่งนี้มีความจำเป็นต่อการดำรงอยู่ ระบบตรวจวัดส่วนบุคคลไม่ได้ทำงานเกินกว่าสิ่งที่เห็นและได้ยิน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน การกระทำ โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและการใช้พื้นที่สำรองอย่างฟุ่มเฟือยโดยการตัดไม้ทำลายป่าและกิจกรรมอื่น ๆ ล้วนส่งผลกระทบต่อโลกและคุกคามการดำรงอยู่ของทุกคน

ด้วยเหตุนี้ “ชุดอุปกรณ์ยังชีพ” จึงจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเป็นอย่างยิ่ง การปรับปรุงนี้มาจากวิทยาศาสตร์ที่ช่วยให้เข้าใจสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป และทำให้สามารถประเมินอนาคตที่เป็นไปได้จากทางเลือกในปัจจุบัน

โลกในอนาคตจะไม่เหมือนกับโลกที่คุ้นเคย เพราะโลกจะอุ่นขึ้น และมีสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ยังมีความเป็นไปได้หรือไม่ที่โลกใบใหม่นั้นจะยังคงเป็นบ้านที่มนุษย์ส่วนใหญ่สามารถปรับตัวและดำรงชีวิตได้อย่างสะดวกสบาย หรือจะต้องเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงอย่างสิ้นเชิงจากผลกระทบของภาวะโลกร้อนที่ไร้การควบคุม

โลกที่ร้อนเกินกว่าที่มนุษย์และธรรมชาติจะรับมือไหว ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นอย่างน้อยหนึ่งเมตร พื้นที่ชายฝั่งกว้างใหญ่จมอยู่ใต้น้ำและไม่สามารถอยู่อาศัยได้ ธารน้ำแข็งละลาย และทวีปอาร์กติกเปลี่ยนไปอย่างถาวร นี่จะเป็นโลกที่สภาพอากาศเลวร้ายจะส่งผลกระทบต่อผู้คนที่เปราะบางที่สุด และระบบนิเวศหลายแห่งจะไม่มีประโยชน์อีกต่อไป โลกอีกใบนี้คาดว่าจะเป็นผลมาจากการที่ "ดำเนินชีวิตตามปกติ" ซึ่งเป็นคำที่ไม่เหมาะสมและอันตรายอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นคำที่สื่อให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าในปี พ.ศ. 2593 หรือ พ.ศ. 2643 รูปแบบการดำเนินชีวิตและระบบการจัดการต่าง ๆ ในปัจจุบันจะยังคงดำเนินต่อไป ‘ตามปกติ’ อย่างไรก็ตาม ผู้ที่มีความรู้เท่าทันย่อมเข้าใจดีว่าสถานการณ์จริงจะไม่เป็นเช่นนั้น

กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) จะช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับผลที่ตามมาอันเป็นอันตรายถึงชีวิตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศผ่านวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอน และยังช่วยให้นักเรียนตระหนักมากขึ้นว่าการกระทำในวันนี้ส่งผลต่ออนาคตในวันข้างหน้าอย่างไร ผมหวังว่าสื่อการเรียนรู้ที่สร้างสรรค์นี้ซึ่งพร้อมให้ใช้งานในทุกระดับของการสอน จะช่วยเตรียมความพร้อมให้กับคนรุ่นต่อไป เพื่อที่พวกเขาจะไม่เสียเวลาไปมากเหมือนอย่างคนรุ่นปัจจุบัน และสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง



สารบัญ



ส่วนที่ 1
ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

11

1.1 ภูมิอากาศและสภาพอากาศ 15
1.2 ประเภทของภูมิอากาศและเขตภูมิอากาศ 17
1.3 ภูมิอากาศในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรและเพราะเหตุใด 30
1.3.1 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลาหลายล้านปี 32
1.3.2 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลานับหมื่นนับแสนปี 34
1.3.3 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลาหลายศตวรรษ 37
1.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน 42



ส่วนที่ 2
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร

มีความเป็นไปได้ในการปรับตัวต่อผลกระทบที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือไม่

53

2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสภาพอากาศอย่างไร 61
2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อพืชและสัตว์อย่างไร 74
2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อป่าไม้อย่างไร 95
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อทรัพยากรน้ำอย่างไร 117
2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเกษตรกรรมอย่างไร 128
2.6 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคชายฝั่งอย่างไร 135
2.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคภูเขาอย่างไร 146
2.8 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคอาร์กติกอย่างไร 162
2.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเมืองและสุขภาพของมนุษย์อย่างไร 181
2.10 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปัญหาสังคมอย่างไร 195



ส่วนที่ 3
วิธีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตราย

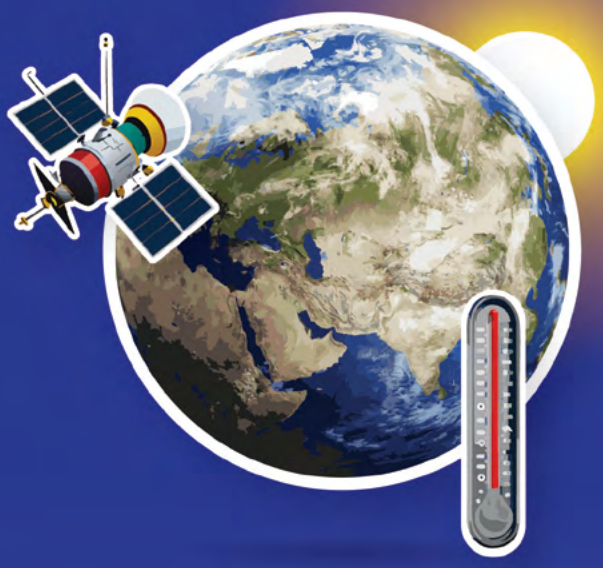
205

3.1 แหล่งพลังงาน ‘สีเขียว’ 209
3.1.1 พลังงานคืออะไร 209
3.1.2 แหล่งพลังงานหลัก 210
3.1.3 เชื้อเพลิงฟอสซิล 212
3.1.4 พลังงานนิวเคลียร์ 217
3.1.5 แหล่งพลังงานหมุนเวียน 220
3.1.6 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งพลังงานต่าง ๆ 238
3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงาน 244
3.2.1 การขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 249
3.2.2 เครื่องใช้ในครัวเรือนและอุปกรณ์ไฟฟ้า 256
3.2.3 การก่อสร้างสีเขียว อาคารแบบพาสซีฟและแอ็คทีฟ 259
3.2.4 เมืองสีเขียว 265
3.3 Carbon footprint and how I can help the planet by reducing my carbon footprint 271
3.3.1 ร่องรอยคาร์บอน 271
3.3.2 แนวทางในการช่วยโลกด้วยการลดร่องรอยคาร์บอน 273
3.4 ความร่วมมือระดับโลกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การพัฒนาที่ยั่งยืน และแนวทางในการจัดการแบบมีส่วนร่วมของทุกคนในสังคม 285



ส่วนที่ 4
แนวทางสำหรับครูผู้สอนในการใช้ชุดเครื่องมือการเรียนรู้ "กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ" ในโรงเรียน

296



1

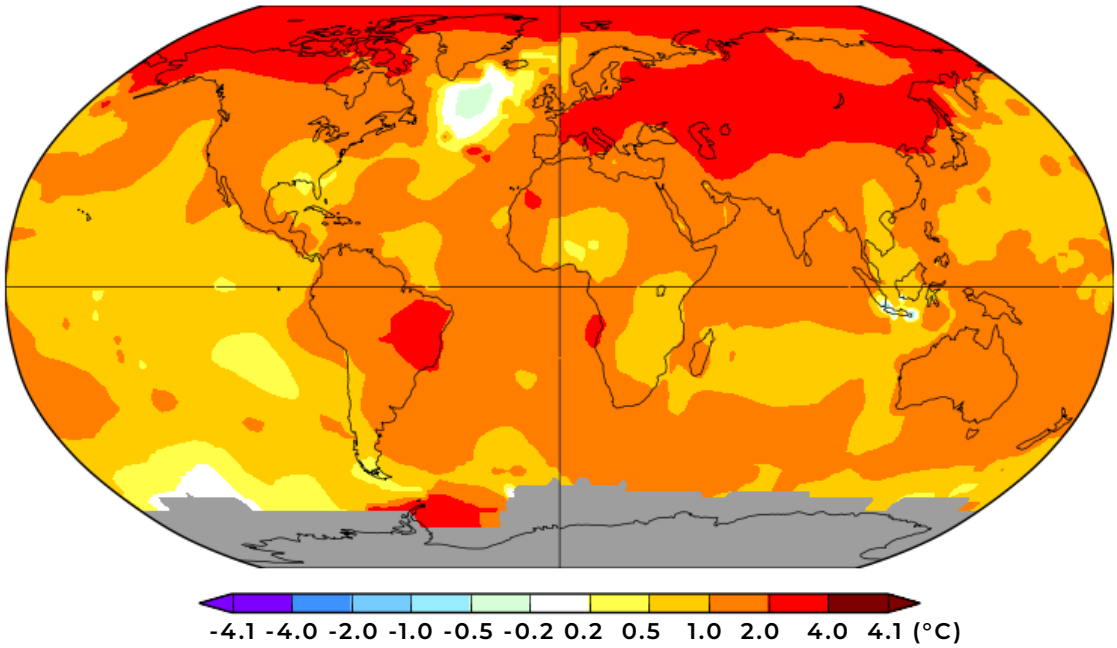
ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

1 ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในปัญหาเร่งด่วนระดับโลกของยุคปัจจุบัน หากย้อนกลับไปเมื่อ 30 ปีก่อน ประเด็นนี้ถูกพูดถึงโดยเฉพาะในแวดวงนักวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ในปัจจุบัน กลายเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายจากสาธารณชน สภาพอากาศมีแนวโน้มอุ่นขึ้นและคาดการณ์ได้ยากขึ้นตลอดทั้งปี อีกทั้งยังพบความถี่และความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นของเหตุการณ์สุดขั้ว เช่น พายุ เฮอริเคน คลื่นความร้อน ฝนตกหนัก และภัยแล้ง

ความจริงที่ว่าสภาพอากาศของโลกกำลังเปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนั้น เป็นสิ่งที่ชัดเจนอย่างไม่ต้องสงสัย หากคุณลองพิจารณาดู ตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 19 จนถึงคริสต์ทศวรรษนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจดูไม่มากนัก แต่เมื่อมองในระดับโลกแล้ว การเปลี่ยนแปลงนี้ถือเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือแม้แต่มนุษย์เอง โปรดอย่าลืมว่า ตัวเลข 1.2 องศาเซลเซียสนั้นเป็นเพียงค่าเฉลี่ยรวมของโลกเท่านั้น แต่อุณหภูมิกลับเพิ่มขึ้นรุนแรงกว่าบนแผ่นดินเมื่อเทียบกับในมหาสมุทร และรุนแรงที่สุดในเขตอาร์กติก นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนยังรุนแรงในซีกโลกเหนือมากกว่าในซีกโลกใต้ ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่าและดูดซับรังสีดวงอาทิตย์และการหมุนเวียนของมหาสมุทรได้มากกว่า นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นหลังช่วงคริสต์ทศวรรษ 1970 เมื่อเทียบกับช่วงครึ่งแรกของคริสต์ศตวรรษที่ 21

ภาพที่ 1.1 **แผนที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวที่สังเกตได้บนโลก นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2444 ถึง พ.ศ. 2565**



หมายเหตุ: พื้นที่สีเทาหมายถึงข้อมูลที่ขาดหายไป

โลกกำลังร้อนขึ้น

ตามข้อมูลขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก ปี พ.ศ. 2567 ถือเป็นปีที่มีอากาศร้อนที่สุด นับตั้งแต่เริ่มมีการบันทึกข้อมูลในปี พ.ศ. 2393

เฮราคลีทัส (Heraclitus) นักปรัชญาชาวกรีกเป็นผู้คิดวลี 'panta rhey' (ทุกสิ่งทุกอย่างเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา) เพื่อแสดงถึงแนวคิดเรื่องการเปลี่ยนแปลง ซึ่งยังสามารถนำไปใช้กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายล้านปี แม้กระทั่งเมื่อ 125 ล้านปีก่อน อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกก็สูงขึ้นกว่า 1 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับในปัจจุบัน

แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรวดเร็วในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมามีผลกระทบร้ายแรงต่อโลกและสิ่งมีชีวิตทั้งหมด

'การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ' เป็นคำที่ถูกต้องกว่า 'โลกร้อน' เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนำไปสู่การสูญเสียสมดุลทั่วทั้งโลกธรรมชาติ: ธารน้ำแข็งและชั้นดินเยือกแข็งละลาย ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น น้ำท่วม ภัยแล้ง และพายุหมุนเขตร้อน (รวมถึงพายุไต้ฝุ่น) เกิดขึ้นบ่อยขึ้น และยากต่อการคาดเดาสภาพอากาศ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้สัตว์และพืชหลายชนิดซึ่งไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ได้สูญพันธุ์ ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศ และคุกคามสุขภาพและชีวิตของผู้คน

มีทฤษฎีต่าง ๆ มากมายเกี่ยวกับสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ นักวิจัยบางคนกล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากผลกระทบของกระบวนการทางดาราศาสตร์ (กิจกรรมของดวงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของแกนโลก) ในขณะที่บางคนกล่าวว่าปัญหาสภาพภูมิอากาศเป็นผลมาจากการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์ที่มากเกินไป สิ่งที่แน่นอน คือ กิจกรรมของดวงอาทิตย์และการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของแกนโลกอยู่นอกเหนือการควบคุม ในขณะที่การบริโภคที่มากเกินไปและก๊าซเรือนกระจกที่เป็นอันตรายต่อสภาพภูมิอากาศเป็นสิ่งที่สามารถดำเนินการแก้ไขได้

ไม่มีประเทศใดที่ไม่ประสบกับผลกระทบอันรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2533 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นทำให้ระบบสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปอย่างยาวนาน ซึ่งเป็นภัยคุกคามที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบอย่างถาวร หากไม่ดำเนินการใด ๆ



เป้าหมายการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ (เป้าหมายที่ 13) ซึ่งเป็นหนึ่งในเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ประการที่องค์การสหประชาชาติประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2558 มุ่งที่จะตอบสนองความต้องการในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลงทุนในการพัฒนาคาร์บอนต่ำ

คณะกรรมการ IPCC และผลการวิจัยล่าสุด

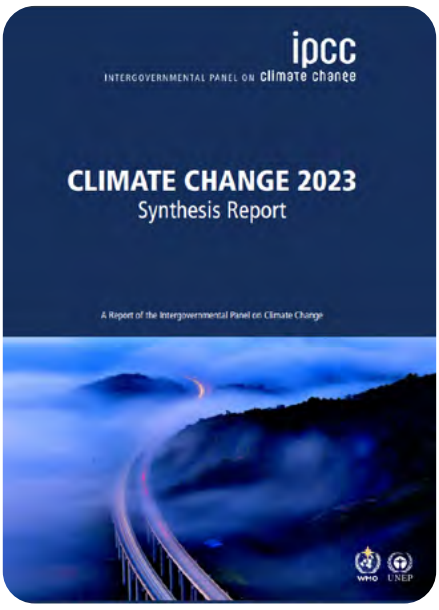
คณะกรรมการ IPCC เป็นหน่วยงานระหว่างรัฐบาลขององค์การสหประชาชาติ (UN) ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2531 โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) และโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) เพื่อส่งเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงปัจจัยขับเคลื่อน และผลที่ตามมา ตลอดจนวิธีรับมือกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

คณะกรรมการ IPCC เป็นผู้ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ล่าสุดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแก่รัฐบาลต่าง ๆ โดยไม่ได้ดำเนินการวิจัยด้วยตนเอง แต่จะประเมินวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ในระบบสภาพภูมิอากาศและการคาดการณ์ ผลกระทบและความเสี่ยงทางธรรมชาติ เศรษฐกิจ และสังคมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงทางเลือกและโอกาสในการบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการปรับตัวให้เข้ากับผลกระทบที่เกิดขึ้น นักวิทยาศาสตร์และผู้เชี่ยวชาญอื่น ๆ หลายพันคนอาสาตรวจสอบงานวิจัยจำนวนมากและสะท้อนผลการค้นพบใน ‘รายงานการประเมิน’ สำหรับผู้กำหนดนโยบายและประชาชน

คณะกรรมการ IPCC เป็นแหล่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์และการประเมินด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่น่าเชื่อถือที่สุด โดยนักวิทยาศาสตร์ด้านสภาพอากาศและรัฐบาลชั้นนำต่างรับรองข้อมูลของคณะกรรมการ IPCC รายงานของคณะกรรมการ IPCC มีบทบาทสำคัญในการประชุมรัฐภาคี (Conferences of the Parties: COPs) กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) รายงาน AR6 ฉบับที่คณะกรรมการ IPCC เผยแพร่ล้วนนำไปสู่ความก้าวหน้าครั้งสำคัญในการเจรจาของกรอบอนุสัญญา UNFCCC รายงานการประเมินฉบับแรกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจรจาที่นำไปสู่การรับรองกรอบอนุสัญญา UNFCCC ในปี พ.ศ. 2535 รายงานการประเมินฉบับที่สองสำหรับการเจรจาพิธีสารเกียวโตในปี พ.ศ. 2540 และรายงานการประเมินฉบับที่ห้าสำหรับการเจรจาข้อตกลงปารีสที่สำคัญในปี พ.ศ. 2558

รายงานล่าสุดของคณะกรรมการ IPCC คือรายงาน AR6 ซึ่งเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2564-2566 ผลการวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ (Climate Box) ฉบับนี้ (ภาพที่ 1.2)

ภาพที่ 1.2 **สาระสำคัญของข้อความหลักจากรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC**



“ไม่อาจปฏิเสธได้ว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และทำให้เหตุการณ์สุดขั้ว เช่น คลื่นความร้อน ฝนตกหนัก และภัยแล้ง เกิดขึ้นบ่อยและรุนแรงยิ่งขึ้น”

“หลักฐานชัดเจนแล้ว ถึงเวลาลงมือปฏิบัติ”

สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่
https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/

แล้วเกิดอะไรขึ้นกับสภาพอากาศและภูมิอากาศของโลกในปัจจุบันกันแน่ สภาพภูมิอากาศของโลกในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และกำลังเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันอย่างไร อะไรเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่กำลังเกิดขึ้น ก๊าซเรือนกระจกคืออะไรและจะทำอะไรได้บ้าง มาลองหาคำตอบเหล่านี้กัน

1.1 ภูมิอากาศและสภาพอากาศ

ผู้คนมักบ่นเรื่องสภาพอากาศ แต่พวกเขาแทบจะไม่เคยบ่นเรื่องภูมิอากาศเลย ตัวอย่างเช่น “เดือนตุลาคมจากไปอย่างรวดเร็วท่ามกลางสายลม และฝนกระหน่ำ และเดือนพฤศจิกายนมาถึงแล้ว อากาศหนาวเย็นเฉียบราวกับเหล็กที่แข็งตัว มีน้ำค้างแข็งเกาะทุกเช้าและลมหนาวที่พัดมาปะทะมือและใบหน้า” (เจ.เค. โรว์ลิ่ง, ‘J.K. Rowling’, แฮร์รี่ พอตเตอร์กับภาคีนกฟีนิกซ์) พวกนักเขียนและกวีไม่ได้เขียนเกี่ยวกับภูมิอากาศ และมันก็เข้าใจได้ง่ายว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น คุณสามารถมองเห็นสภาพอากาศได้เพียงแค่ดูจากหน้าต่าง มนุษย์ต้องเผชิญกับสภาพอากาศทุกวันแต่ภูมิอากาศเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ยากกว่ามาก แต่ทุกคน ไม่ว่าจะเป็นนักวิทยาศาสตร์ นักการเมืองและนักธุรกิจ ต่างก็พูดถึงสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อคุณกลับมาจากวันหยุดกับพ่อแม่ที่ไหนสักแห่งที่ไกลจากบ้าน สิ่งแรกที่ผู้คนอยากรู้ก็คืออากาศเป็นอย่างไร แต่เมื่อคุณแนะนำสถานที่เดียวกันนี้ให้เพื่อน ๆ ไปเที่ยวพักผ่อน อาจจะบอกพวกเขาว่า “ภูมิอากาศที่นั่นดีมาก” แล้วความแตกต่างระหว่างสภาพอากาศและภูมิอากาศคืออะไรเล่า

สภาพอากาศ

คือสถานะของบรรยากาศในสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ในเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือในช่วงระยะเวลาจำกัด (เช่น หนึ่งวันหรือหนึ่งเดือน)

สภาพอากาศคือสถานะชั่วคราวของสิ่งที่เรียกว่า “องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา” ซึ่งเป็นสิ่งที่ได้ยินทุก ๆ คืนจากพยากรณ์อากาศทางโทรทัศน์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ เมฆปกคลุม เป็นต้น เมื่ออากาศหนาวเย็นเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ในฤดูร้อนและฝนตกหนักจนคุณไม่อยากออกไปข้างนอกเลย แสดงว่านี่คือการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

สภาพภูมิอากาศ

คือสภาวะอากาศโดยเฉลี่ยในสถานที่หนึ่งในช่วงเวลานาน (หลายทศวรรษ)

ตัวอย่างเช่น ในฤดูร้อนอากาศจะร้อนและแห้งแล้ง ในขณะที่ฤดูหนาวอากาศหนาวเย็นและมีฝนตกน้อยมาก นี่คือคำอธิบายสั้น ๆ เกี่ยวกับภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน ดังสุภาษิตที่ว่า “ภูมิอากาศคือสิ่งที่เราคาดหวัง สภาพอากาศคือสิ่งที่เราจะได้รับ” คุณไม่สามารถมองเห็นภูมิอากาศได้เพียงแค่ดูจากหน้าต่างเท่านั้นหรอกนะ

ลักษณะสำคัญของสภาพอากาศ ได้แก่:

- อุณหภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล
- ปริมาณและช่วงเวลาของการเกิดฝนและหิมะตลอดทั้งปี
- มวลอากาศเคลื่อนที่อย่างไร
- ลมประจำฤดูและลมอื่น ๆ.

มวลอากาศ

ได้แก่บรรยากาศชิ้นใหญ่ที่มีอุณหภูมิอากาศ ความดัน และปริมาณไอน้ำใกล้เคียงกัน

องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาใดบ้างที่ส่งผลต่อสภาพอากาศ



อุณหภูมิของอากาศ อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ จุดแบ่งระหว่างอุณหภูมิอากาศบวกและลบคือ 0 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง



ความชื้นของอากาศ ขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศ เมื่อความชื้นสูงขึ้นในฤดูหนาว จะรู้สึกหนาวเย็นขึ้น แต่เมื่อความชื้นสูงและอุณหภูมิของอากาศสูง จะรู้สึกอบอ้าว



เมฆ เป็นกลุ่มของหยดน้ำขนาดเล็กหรือผลึกน้ำแข็งในชั้นบรรยากาศ



ปริมาณน้ำฝน จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าตกลงมาจากเมฆ (ฝน หิมะ ฝนที่แข็งตัว ลูกเห็บ) หรือตกลงบนพื้นผิวดินและบนวัตถุ (น้ำค้าง น้ำค้างแข็ง คราบน้ำค้างแข็ง น้ำแข็ง)



ทัศนวิสัย คือระยะทางไกลที่สุดที่สามารถมองเห็นวัตถุก่อนที่มันจะกลมกลืนไปกับฉากหลังและไม่สามารถแยกแยะออกได้



หมอก คือกลุ่มละอองที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำใกล้พื้นดิน



ความกดอากาศ คือความดันของอากาศที่ระดับหนึ่งในบรรยากาศ



ลม คือการเคลื่อนตัวในแนวนอนของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความดันบรรยากาศ

การสังเกต ศึกษา และพยากรณ์อากาศเป็นหัวข้อของวิทยาศาสตร์บรรยากาศสาขาหนึ่งที่เรียกว่า อุตุนิยมวิทยา ภูมิอากาศวิทยาเป็นอีกสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์บรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายสภาพอากาศ การวิเคราะห์สาเหตุของความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ตลอดจนผลที่ตามมาในทางปฏิบัติ



ผู้คนที่อาศัยอยู่ในประเทศไอร์แลนด์มักพูดติดตลกว่า “ไอร์แลนด์มีภูมิอากาศที่ยอดเยี่ยม แต่สภาพอากาศกลับแย่ลง” ไอร์แลนด์เป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนเกาะขนาดใหญ่นอกชายฝั่งยุโรปตะวันตก สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงบ่อยมาก แต่ฤดูหนาวอากาศอบอุ่นและหญ้าเขียวขจีตลอดทั้งปี ด้วยเหตุนี้ ไอร์แลนด์จึงมักถูกเรียกว่า ‘เกาะมรกต’

1.2 ประเภทของภูมิอากาศและเขตภูมิอากาศ

ส่วนต่าง ๆ ของโลกมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ในประเทศทางตอนเหนือ เมื่อผู้คนมองออกไปนอกหน้าต่างในฤดูหนาวและเห็นหิมะอยู่ทุกหนทุกแห่ง ก็มักจะไปเที่ยวพักผ่อนในประเทศเขตร้อน ซึ่งผู้คนสามารถเพลิดเพลินกับอากาศร้อนและว่ายน้ำในทะเลที่อบอุ่นได้ตลอดทั้งปี

ตั้งแต่สมัยโบราณ นักวิทยาศาสตร์ได้แบ่งโลกออกเป็นเขตภูมิอากาศตามสูงของดวงอาทิตย์เหนือขอบฟ้าและความยาวของวัน คำว่า “ภูมิอากาศ” มาจากภาษากรีก ซึ่งหมายถึงมุมเอียงของดวงอาทิตย์ ความแตกต่างของสภาพอากาศมีสาเหตุหลักมาจากความร้อนของดวงอาทิตย์กระจายไม่สม่ำเสมอบนพื้นผิวโลก ความใกล้ชิดกับทะเล การไหลเวียนของบรรยากาศรูปแบบการตกตะกอน และสิ่งที่เรียกว่า “ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภูมิอากาศ” อื่น ๆ ก็มีบทบาทสำคัญในการกำหนดภูมิอากาศเช่นกัน และปัจจัยเหล่านี้ก็ขึ้นอยู่กับละติจูดทางภูมิศาสตร์และความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเป็นส่วนใหญ่

พื้นที่ที่มีภูมิอากาศคล้ายกันนั้นเปรียบเสมือนแถบกว้างที่ล้อมรอบโลก เป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์เรียกว่า “เขตภูมิอากาศ” และจะยิ่งหนาวเย็นมากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร

การแบ่งประเภทภูมิอากาศที่รู้จักกันดีที่สุดนั้นได้รับการแนะนำโดยนักอุตุนิยมวิทยาชาวรัสเซีย–เยอรมัน วลาดิมีร์ เคิปเปน (Wladimir Köppen) ในปี พ.ศ. 2427 (ภาพที่ 1.2.1) เขาแบ่งภูมิอากาศของโลกออกเป็น 5 โซนหลักตามโปรไฟล์อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับละติจูดและพืชพรรณที่เติบโตในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ A ภูมิอากาศแบบเขตร้อน B ภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง C ภูมิอากาศแบบอบอุ่น (ละติจูดกลางกึ่งร้อนชื้น) D ภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีป (ละติจูดกลางทวีปชื้น) E ภูมิอากาศแบบขั้วโลกและเทือกเขา (ขั้วโลก) และ H ที่ราบสูง

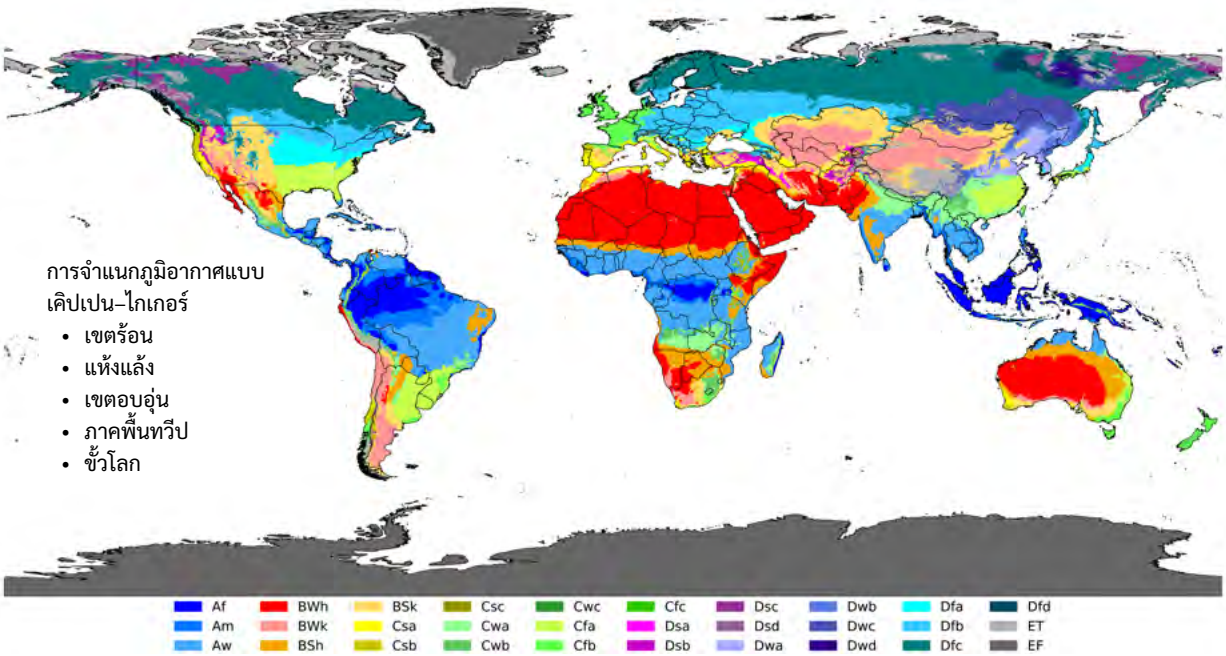
โซนเหล่านี้ยังแบ่งตามอุณหภูมิและความแห้งแล้งอีกด้วย

เขตภูมิอากาศ

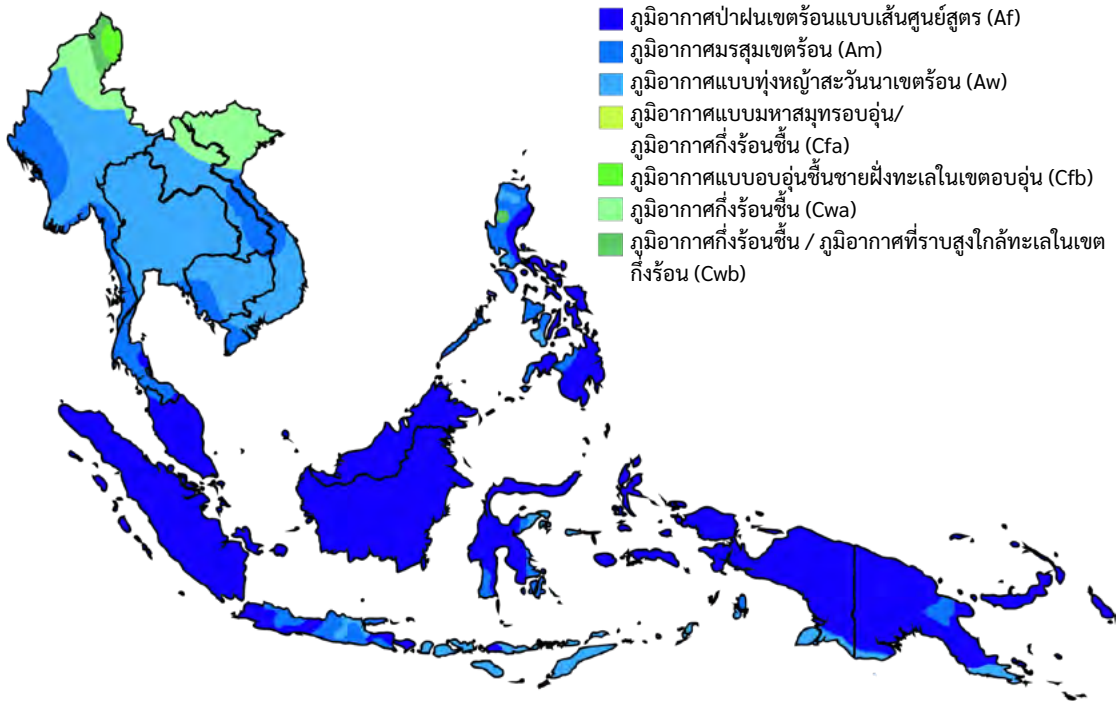
คือพื้นที่ที่มีภูมิอากาศค่อนข้างสม่ำเสมอ

ภาพที่ 1.2.1 แผนที่การจำแนกภูมิอากาศแบบเคิปเปน–ไกเกอร์ของโลก (a) และของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (b)

a



b



ตัวอักษรตัวที่สองในโซนภูมิอากาศจะเพิ่มการแบ่งตามรูปแบบปริมาณน้ำฝน:

- **f** - ฝนตกตลอดทั้งปี
- **w** - ฤดูหนาวแห้งแล้ง
- **s** - ฤดูร้อนแห้งแล้ง
- **m** - มรสุม

ตัวอย่างเช่น โซน **Af** ไม่มีฤดูแล้ง (“ภูมิอากาศป่าฝนเขตร้อนแบบเส้นศูนย์สูตร”) โซน **Am** มีฤดูแล้งสั้น (“ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน”) และโซน Aw มีฤดูแล้งในฤดูหนาว (“ภูมิอากาศแบบสะวันนาเขตร้อน”)

ตัวอักษรที่สามเพิ่มการแบ่งตามรูปแบบอุณหภูมิ:

- a - ฤดูร้อนร้อน
- c - ฤดูร้อนเย็นสบาย
- b - ฤดูร้อนอบอุ่น
- d - ฤดูหนาวหนาวมาก

ตาราง 1.2.1 จะแสดงการแบ่งเขตภูมิอากาศอย่างละเอียดและลักษณะเฉพาะตามการจำแนกภูมิอากาศแบบเคิปเปน

ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่มีภูมิอากาศแบบโซน A อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเขตภูมิอากาศเหล่านี้ถูกกำหนดขึ้นตามละติจูด ประเทศหนึ่งจึงสามารถสังเกตภูมิอากาศได้มากกว่าหนึ่งประเภท

ระบบการจำแนกสภาพภูมิอากาศอีกระบบหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในยุโรปตะวันออกถูกสร้างขึ้นในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1950 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย บอริส อาลีซอฟ (Boris Alisov) ระบบดังกล่าวได้กำหนดเขตภูมิอากาศหลักสี่เขตในแต่ละซีกโลกและเขตเปลี่ยนผ่านสามเขต

เขตภูมิอากาศหลัก ได้แก่ **เส้นศูนย์สูตร เขตร้อน เขตอบอุ่น และขั้วโลก** (อาร์กติกในซีกโลกเหนือและแอนตาร์กติกาในซีกโลกใต้) เขตภูมิอากาศหลักเหล่านี้ เนื่องจากแต่ละเขตมีมวลอากาศเดียวกันปกคลุมตลอดทั้งปี

ระหว่างเขตภูมิอากาศหลักคือเขตเปลี่ยนผ่าน ได้แก่ กึ่งเส้นศูนย์สูตร **กึ่งเขตร้อนและกึ่งขั้วโลก** (กึ่งอาร์กติกในซีกโลกเหนือและกึ่งแอนตาร์กติกาในซีกโลกใต้) ชื่อในภาษาอังกฤษเขตภูมิอากาศเปลี่ยนผ่านทั้งหมดมีคำนำหน้าว่า ‘ซับ’ (sub) ซึ่งในภาษาละตินแปลว่า ‘ใต้’

ฤดูกาลในซีกโลกใต้และซีกโลกเหนือนั้นตรงกันข้ามกันโดยสิ้นเชิง ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ เมื่อซีกโลกเหนือเป็นฤดูหนาว ซีกโลกใต้จะอยู่ในช่วงฤดูร้อน และเมื่อซีกโลกเหนือหนาวที่สุด ซีกโลกใต้จะร้อนที่สุด



ตาราง 1.2.1 สภาพภูมิอากาศของโลก (โดย W. Köppen)

เขตภูมิอากาศ	การแบ่งเขตภูมิอากาศ	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำฝน	ตัวอย่างของดินแดนที่มีสภาพอากาศเช่นนี้
A – เขตร้อน	**Af** – ป่าฝน (เขตร้อน) แถบเส้นศูนย์สูตร	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนทั้งหมดสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส	ไม่มีฤดูแล้ง เดือนที่แห้งแล้งที่สุดจะมีฝนตกอย่างน้อย 60 มม. ปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไปจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี	บริเวณเส้นศูนย์สูตร (เช่น บราซิล คอสตาริกา อินเดีย อินโดนีเซีย มาเลเซีย ปาปัวนิวกินี)
	Am – ลมมรสุมเขตร้อน	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนทั้งหมดสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดประจำปีเกิดขึ้นก่อนฤดูฝน	ฤดูฝนที่เด่นชัด ฤดูแล้งสั้น มีหนึ่งเดือนขึ้นไปที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 60 มม.	แอฟริกาตะวันตกและกลาง เอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกาใต้ อเมริกากลาง บางส่วนของทะเลแคริบเบียน อเมริกาเหนือ และออสเตรเลียตอนเหนือ (เช่น กัมพูชา โคลอมเบีย อินโดนีเซีย สปป.ลาว เม็กซิโก เมียนมา ฟิลิปปินส์ ไทย เวียดนาม)
	As – ทุ่งหญ้าสะวันนาเขตร้อน	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนทั้งหมดสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส	ฤดูร้อนแห้ง มีฝนตกน้อยกว่า 60 มม. ในฤดูร้อนมากกว่า 2 เดือน	แอฟริกา เอเชีย อเมริกากลาง อเมริกาใต้ ออสเตรเลียตอนเหนือ แคริบเบียน (เช่น บราซิล อินเดีย ไทย)
	Aw – ทุ่งหญ้าสะวันนาเขตร้อน	อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนทั้งหมดสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส	ฤดูหนาวแห้ง มีฝนตกน้อยกว่า 60 มม. นานกว่า 2 เดือนในฤดูหนาว	
B – แห้งแล้ง	**BWk** – ทะเลทรายละติจูดกลาง (ทะเลทรายเย็น)	อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส ฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง	ทะเลทรายละติจูดกลาง อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	ทะเลทรายในเอเชียกลาง (เช่น ทางตอนเหนือของจีน มองโกเลีย) อเมริกาเหนือ (ทะเลทรายเกรทเบซิน) อเมริกาใต้ (ทะเลทรายอาตากามา ทะเลทรายปาตาโกเนีย)
	BWh – ทะเลทรายกึ่งเขตร้อน (ทะเลทรายร้อน)	อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 18 องศาเซลเซียส ไม่มีน้ำค้างแข็งหรือเกิดขึ้นไม่บ่อย	ทะเลทรายละติจูดต่ำ อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	แอฟริกาเหนือ เอเชียตะวันตก ส่วนตะวันตกเฉียงเหนือของอนุทวีปอินเดีย แอฟริกาตะวันตกเฉียงใต้ อเมริกากลาง ออสเตรเลีย ยุโรป (เช่น เม็กซิโก สเปนตะวันออกเฉียงใต้)
	BSk – ทุ่งหญ้าสเตปป์ละติจูดกลาง (สภาพอากาศกึ่งแห้งแล้งที่มีอากาศหนาวเย็น	อุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 18 องศาเซลเซียส	ทุ่งหญ้าสเตปป์แบบแห้งแล้งละติจูดกลาง อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	เอเชียกลางและทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา ตะวันออกกลาง เอเชีย แอฟริกาเหนือ แอฟริกาใต้ อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย (เช่น อาร์เจนตินา จีน แอฟริกาใต้)
	BSh – ทุ่งหญ้าสเตปป์เขตกึ่งร้อน (สภาพอากาศกึ่งแห้งแล้งที่มีอากาศร้อน)	อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 18 องศาเซลเซียส	ทุ่งหญ้าสเตปป์แบบแห้งแล้งละติจูดต่ำ อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	แอฟริกาเหนือ แอฟริกาใต้ ออสเตรเลีย อเมริกากลาง เอเชียใต้ ยุโรป (เช่น อินเดีย กรีซ เม็กซิโก ไนเจอร์ ปากีสถาน สเปน)
C – อบอุ่น	**Cfa** – กึ่งร้อนชื้น (มหาสมุทรแบบอบอุ่น)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่ร้อนที่สุดอยู่ที่มากกว่า 22 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่หนาวที่สุดอยู่ที่ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่นปานกลาง ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนอากาศร้อน มีฝนตกตลอดทั้งปีในปริมาณที่แตกต่างกันมาก	แอฟริกากลางและตะวันออก เอเชียตะวันออก ตะวันตก และตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกาเหนือ อเมริกากลาง อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย ยุโรป บางส่วน (เช่น แองโกลา จีน คองโก ฮ่องกง อินเดีย อิหร่าน อิตาลี ปากีสถาน ทางใต้ของสหรัฐอเมริกา เวียดนาม)
	Cfb – ทางทะเลชายฝั่งตะวันตก (มหาสมุทรแบบอบอุ่นปานกลาง)	อุณหภูมิเฉลี่ยของทุกเดือนต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียสอย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่นปานกลาง ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนอบอุ่น มีฝนตกในปริมาณเท่ากันตลอดทั้งปี	อเมริกาเหนือ เอเชียกลาง ยุโรป แปซิฟิก อเมริกาใต้ (เช่น อาร์เจนตินา ออสเตรเลีย แคนาดา จอร์เจีย นิวซีแลนด์ ตุรกี
	Cfc – ทางทะเลชายฝั่งตะวันตก (มหาสมุทรเขตกึ่งขั้วโลก)	อุณหภูมิเฉลี่ยของทุกเดือนต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส มีหนึ่งถึงสามเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส เดือนที่หนาวที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่น ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนเย็นสบาย มีปริมาณน้ำฝนกระจายเท่า ๆ กันตลอดทั้งปี	ยุโรปตอนเหนือ อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย (เช่น โบลิเวีย ไอซ์แลนด์ นอร์เวย์ สกอตแลนด์)

เขตภูมิอากาศ	การแบ่งเขตภูมิอากาศ	อุณหภูมิ	ปริมาณน้ำฝน	ตัวอย่างของดินแดนที่มีสภาพอากาศเช่นนี้
C – อบอุ่น	**Csa** – เมดิเตอร์เรเนียน (ฤดูร้อน)	เดือนที่ร้อนที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 22 องศาเซลเซียส อย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่นและฤดูร้อนที่แห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนอย่างน้อยสามเท่าในฤดูหนาวที่มีฝนตกชุก เมื่อเทียบกับเดือนที่แห้งแล้งที่สุด อันตรายจากน้ำค้างแข็งในฤดูหนาว	ออสเตรเลีย เอเชียกลาง แอฟริกาใต้ อเมริกาเหนือ (เช่น อิรัก แอฟริกาใต้ สหรัฐอเมริกา)
	Csb – เมดิเตอร์เรเนียน (ฤดูร้อนที่เย็นสบาย)	ไม่มีเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่ร้อนที่สุด สูงกว่า 22 องศาเซลเซียส อย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่นและฤดูร้อนที่เย็นสบาย ปริมาณน้ำฝนอย่างน้อยสามเท่าในฤดูหนาวที่มีฝนตกชุก เมื่อเทียบกับเดือนที่แห้งแล้งที่สุดของฤดูร้อน อันตรายจากน้ำค้างแข็งในฤดูหนาว	ออสเตรเลีย ยุโรป อเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ (เช่น แคนาดา ชิลี โปรตุเกส)
	Cwa – กึ่งร้อนชื้น	อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่ร้อนที่สุดมากกว่า 22 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่หนาวที่สุดต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่น มีฤดูหนาวแห้งแล้ง ฤดูร้อนอากาศร้อน	แอฟริกาตะวันออกและแอฟริกากลาง อเมริกาเหนือและใต้ เอเชียตะวันออก เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ยุโรป (เช่น แองโกลา ออสเตรเลีย อิตาลี เนปาล ปารากวัย เกาหลีใต้ แทนซาเนีย สหรัฐอเมริกา อุรุกวัย เวียดนาม ซิมบับเว)
	Cwb – กึ่งร้อนชื้น (ที่ราบสูงกึ่งร้อน)	ทุกเดือนมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส เดือนที่หนาวที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส และมีอย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส	มีฝนตกอย่างน้อยสิบเท่าในเดือนที่ฝนตกชุกที่สุดของฤดูร้อน เมื่อเทียบกับเดือนที่แห้งที่สุดของฤดูหนาว	พบในภูเขาและที่ราบสูงในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อน (เช่น ในพื้นที่สูงของอินโดนีเซีย สปป.ลาว พม่า เวียดนาม)
D – ทวีป	**Dfa** – ชื้นภาคพื้นทวีป (ฤดูร้อนร้อน)	อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่หนาวที่สุดอยู่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และมีอย่างน้อย 4 เดือนที่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่หรือสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส	ชื้น และมีฤดูร้อนที่อากาศร้อน	แอฟริกา เอเชียกลางและตะวันออก ออสเตรเลีย ยุโรป อเมริกาเหนือ (เช่น แคนาดา ญี่ปุ่น คาซัคสถาน คีร์กีซสถาน โมร็อกโก รัสเซีย เกาหลีใต้ ตุรกี)
	Dfb – ชื้นภาคพื้นทวีป (ฤดูร้อนอบอุ่น)		ชื้นพร้อมฤดูหนาวรุนแรง	
	Dfc – กึ่งอาร์กติก		ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนอบอุ่น	
	Dfd – กึ่งอาร์กติก (หนาวสุดขั้ว)		ฤดูหนาวรุนแรง ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนเย็นสบาย	
	Dwa – ชื้นภาคพื้นทวีป (มรสุม ฤดูร้อนร้อน)		ฤดูหนาวรุนแรง หนาวมาก ไม่มีฤดูแล้ง ฤดูร้อนเย็นสบาย	
	Dwb – ชื้นภาคพื้นทวีป (มรสุม ฤดูร้อนอบอุ่น)		ชื้นพร้อมฤดูหนาวรุนแรง แห้งแล้ง	
	Dwc – กึ่งอาร์กติก (มรสุม)		ฤดูร้อนร้อน	
	Dwd – กึ่งอาร์กติก (มรสุม หนาวสุดขั้ว)		ชื้นพร้อมฤดูหนาวรุนแรง แห้งแล้ง	
E – พื้นที่ขั้วโลกและเทือกเขา	**ET** – พื้นที่ทุ่งทุนดรา	อย่างน้อยหนึ่งเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 0 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีเดือนใดที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส	พื้นที่ทุ่งทุนดราในขั้วโลก ไม่มีฤดูร้อนที่แท้จริง	กรีนแลนด์ ไอซ์แลนด์ รัสเซีย สหรัฐอเมริกา
	EF – พื้นที่น้ำแข็งปกคลุม	สภาพอากาศแบบขั้วโลกมีอุณหภูมิเย็นตลอดทั้งปี โดยเดือนที่ร้อนที่สุดจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส	มีน้ำแข็งปกคลุมตลอดปี	พื้นที่ชายฝั่งทางตอนเหนือของอเมริกาเหนือ ยุโรป เอเชีย และบนแผ่นดินของกรีนแลนด์และแอนตาร์กติกา
H – ที่ราบสูง	ที่ซับซ้อน		อาจครอบคลุมการจำแนกประเภทใด ๆ ข้างต้นได้เนื่องจากภูมิประเทศเป็นภูเขาซึ่งระดับความสูงที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรวดเร็วในระยะทางสั้น ๆ	

คำอธิบายสั้น ๆ เกี่ยวกับภูมิอากาศที่แตกต่างกัน



(A) ภูมิอากาศแบบเขตร้อน

ภูมิอากาศแบบเขตร้อนมีอุณหภูมิอบอุ่นตลอดทั้งปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจะสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส ประเทศที่มีภูมิอากาศแบบนี้จะมีปริมาณน้ำฝนสูง โดยมักจะเกิน 1,500 มิลลิเมตร ต่อปี ทำให้มีพืชพรรณเขียวชอุ่ม ในภูมิอากาศมรสุมเขตร้อนและสะวันนาเขตร้อน รูปแบบของฝนสามารถแบ่งออกได้เป็นช่วงฝนและช่วงแล้ง ขึ้นอยู่กับภูมิภาค ภูมิอากาศเขตร้อนเหล่านี้มักพบได้ในประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่ บางส่วนของแอฟริกากลาง และออสเตรเลียตอนเหนือ



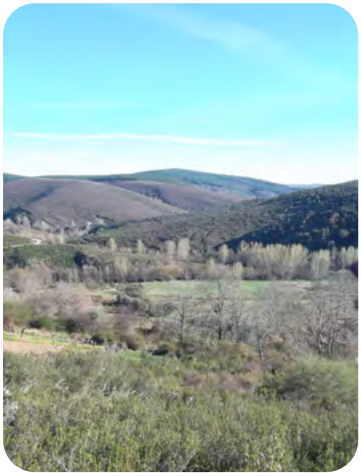
(B) ภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง

ภูมิอากาศแบบแห้งแล้งมีลักษณะเฉพาะคือมีปริมาณน้ำฝนต่ำ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 250 มิลลิเมตร ต่อปี ภูมิอากาศแบบนี้โดยทั่วไปจะร้อน โดยอุณหภูมิจะพุ่งสูงขึ้นในตอนกลางวัน แต่บางครั้งก็อาจมีอากาศเย็นในตอนกลางคืน โดยเฉพาะในพื้นที่ทะเลทราย ภูมิอากาศแบบแห้งแล้งมีอยู่ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แห้งแล้ง (ทะเลทราย) และกึ่งแห้งแล้ง (ทุ่งหญ้าสเตปป์) พื้นที่แห้งแล้งมีฝนตกน้อยมากในขณะที่พื้นที่กึ่งแห้งแล้งมีฝนตกมากกว่าเล็กน้อยและพืชพรรณมีมากขึ้น สภาพอากาศแห้งแล้งพบได้ทั้งในพื้นที่ร้อนและอากาศหนาว ทะเลทรายร้อน เช่น ทะเลทรายซาฮาราในแอฟริกาหรือทะเลทรายอาหรับ มีอุณหภูมิกลางวันสูง และมีฝนตกน้อยมาก ในขณะที่ทะเลทรายเย็น เช่น พื้นที่ตะวันตกเฉียงใต้ของอเมริกา มีอุณหภูมิที่เย็นกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล



(C) ภูมิอากาศแบบอบอุ่น

อุณหภูมิปานกลาง โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจะอยู่ระหว่าง 18 องศาเซลเซียส ในเดือนที่ร้อนที่สุดไปจนถึงสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ในเดือนที่หนาวที่สุด ความแตกต่างของฤดูกาลจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยมี 4 ฤดูกาลตลอดทั้งปี โดยฤดูกาลหนึ่งหนาว (ฤดูหนาว) อบอุ่น (ฤดูร้อน) และอีก 2 ฤดูกาล (ฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง) เป็นช่วงเปลี่ยนผ่าน ปริมาณน้ำฝนจะกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี พืชพรรณในสภาพอากาศอบอุ่นจะแตกต่างกันไป โดยมักประกอบด้วยป่า ทุ่งหญ้า หรือพุ่มไม้ ภูมิอากาศแบบอบอุ่นสามารถพบได้ในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น บางส่วนของยุโรปตะวันตก (เช่น ฝรั่งเศสและเยอรมนี) พื้นที่ส่วนใหญ่ของสหรัฐอเมริกา (เช่น แปซิฟิกตะวันตกเฉียงเหนือ) และบางส่วนของออสเตรเลียและนิวซีแลนด์



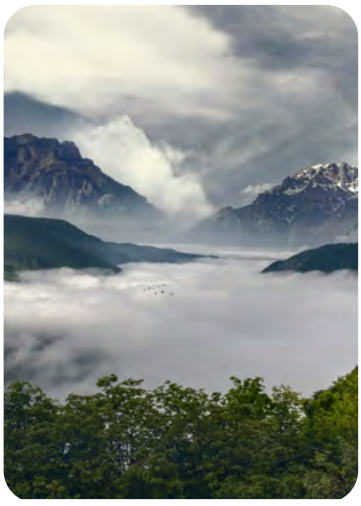
(D) ภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีป

ภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีปมีอุณหภูมิตามฤดูกาลที่แตกต่างกันมาก โดยมีฤดูร้อนที่ร้อนและฤดูหนาวที่หนาวเย็น อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนที่อากาศร้อนที่สุดจะสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในเดือนที่อากาศหนาวที่สุด อุณหภูมิอาจลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ ปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไปจะปานกลาง โดยเดือนที่มีฝนตกชุกที่สุดมักจะเกิดขึ้นในช่วงที่อากาศอบอุ่น แต่บางพื้นที่อาจประสบกับฤดูหนาวที่แห้งแล้ง ลักษณะสำคัญของภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีปคือความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งนำไปสู่ฤดูกาลที่แตกต่างกัน แคนาดา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน และรัสเซียส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในพื้นที่เช่นไซบีเรียและที่ราบใหญ่ของสหรัฐอเมริกามีภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีป ภูมิอากาศแบบนี้เอื้อต่อป่าไม้ในช่วงเดือนที่อากาศอบอุ่น แต่ในช่วงฤดูหนาวอาจมีหิมะตกหนักและรุนแรงได้



(E) ภูมิอากาศแบบขั้วโลกและเทือกเขา

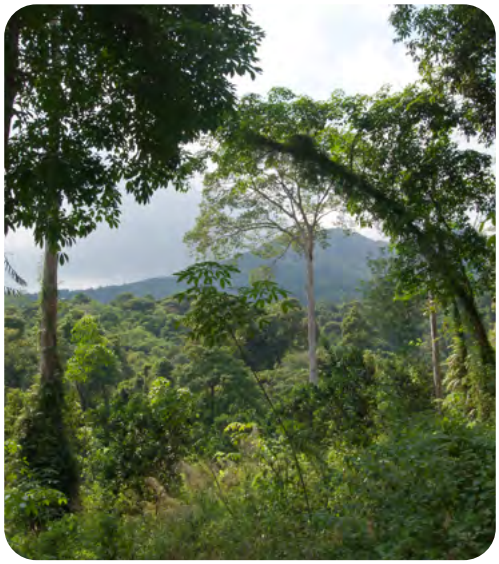
พื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบขั้วโลกและเทือกเขาเป็นที่รู้จักกันว่ามีความหนาวเย็นจัดและผู้คนอาศัยอยู่อย่างเบาบาง เนื่องจากอุณหภูมิที่หนาวเย็นจัดตลอดทั้งปี ในภูมิอากาศแบบขั้วโลก อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนที่ร้อนที่สุดอยู่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในภูมิอากาศแบบเทือกเขา อุณหภูมิอาจอุ่นขึ้นเล็กน้อย ในฤดูร้อนแต่ยังคงเย็นอยู่ ภูมิอากาศเหล่านี้มีฤดูหนาวที่ยาวนานและรุนแรงพร้อมอุณหภูมิเยือกแข็งและฤดูร้อนที่สั้นและเย็น ปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไปจะต่ำ โดยพื้นที่ขั้วโลกได้รับฝนประจำปีเพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่เป็นหิมะ ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขาอาจมีฝนตกมากขึ้นเนื่องจากระดับความสูง ซึ่งมักส่งผลให้เกิดหิมะตก พืชพรรณในภูมิอากาศแบบขั้วโลกมีจำกัดเฉพาะมอส ไลเคน และพืชที่เติบโตต่ำบางชนิด ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขาอาจเอื้อต่อทุ่งหญ้าและพุ่มไม้บนภูเขาในระดับความสูงที่ต่ำกว่า ภูมิอากาศแบบขั้วโลกพบในภูมิภาคต่าง ๆ เช่น แอนตาร์กติกาและอาร์กติก รวมถึงกรีนแลนด์และบางส่วนของแคนาดาตอนเหนือ ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขามักพบในเทือกเขาสูง เช่น แอนดีส เทือกเขาแอลป์ และเทือกเขาหิมาลัย



(F) ที่ราบสูง

ภูมิอากาศแบบที่ราบสูงหมายถึงภูมิอากาศที่พบในภูมิภาคภูเขาที่ระดับความสูง เนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกัน สภาพอากาศจึงสามารถแตกต่างกันไปตั้งแต่แบบอบอุ่นไปจนถึงแบบกึ่งอาร์กติกหรือแบบขั้วโลก โดยที่ระดับความสูงที่สูงขึ้นจะมีอากาศเย็นกว่า ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่สูงจะแตกต่างกันมาก โดยบางภูมิภาคจะมีฝนตกหนัก โดยเฉพาะบนเนินเขาที่มีลมพัดแรง ในขณะที่บางภูมิภาคอาจแห้งแล้งกว่า หิมะตกทั่วไปในพื้นที่สูง แม้กระทั่งในช่วงฤดูร้อน พืชพรรณในพื้นที่เหล่านี้ยังเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูง โดยป่าไม้หรือทุ่งหญ้าในพื้นที่ต่ำจะเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้าบนภูเขาและทุ่งทุนดราในพื้นที่สูง สภาพอากาศในพื้นที่สูงจะพบได้ในพื้นที่ภูเขา เช่น เทือกเขาแอนดีสในอเมริกาใต้ เทือกเขาหิมาลัยในเอเชีย และเทือกเขาร็อกกีในอเมริกาเหนือ

ภูมิอากาศต่าง ๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้







เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีภูมิอากาศแบบเขตร้อนเป็นหลักตามการจำแนกของเคิปเปน-ไกเกอร์ (A) โดยบางพื้นที่อยู่ในกลุ่มภูมิอากาศอบอุ่น (C) ซึ่งมีรูปแบบปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่หลากหลายตลอดทั้งปี นอกจากนี้ยังพบภูมิอากาศที่ราบสูงในพื้นที่ที่มีระดับความสูงมากขึ้น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน (เคิปเปน A) ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 18 องศาเซลเซียส ตลอดทั้งปี) และมีปริมาณน้ำฝนมาก

- **ภูมิอากาศแบบป่าฝนเขตร้อนแบบเส้นศูนย์สูตร (Af):** พบได้ในบริเวณชายฝั่งของประเทศต่าง ๆ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ภูมิอากาศแบบนี้มีฝนตกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี โดยมักจะเกิน 2,000 มิลลิเมตร ต่อปี ฤดูฝนจะต่อเนื่องกัน ทำให้มีป่าฝนที่อุดมสมบูรณ์และมีความหลากหลายทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น เกาะบอร์เนียว ซึ่งมีทั้งบรูไน มาเลเซีย และอินโดนีเซียมีสภาพอากาศแบบนี้ โดยมีอากาศชื้นและระบบนิเวศที่อุดมสมบูรณ์

- **สภาพอากาศมรสุมเขตร้อน (Am):** สภาพอากาศแบบนี้มักพบในสถานที่ เช่น ชายฝั่งเวียดนาม ไทย และเมียนมา ภูมิภาคเหล่านี้มีฤดูฝนที่ชัดเจนในช่วงมรสุมโดยมีฝนตกหนักตามด้วยฤดูแล้ง ในช่วงเดือนที่มีฝนตกหนักฝนตกหนักทุกวัน และพืชพรรณในภูมิภาคจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงดังกล่าว แม้ว่าฤดูแล้งอาจเกิดขึ้นได้

- **สภาพอากาศสะวันนาเขตร้อน(Aw):** สภาพอากาศสะวันนาเขตร้อนพบได้ในบางส่วนของกัมพูชา สปป.ลาว เมียนมา ไทย และเวียดนาม พื้นที่เหล่านี้มีฤดูแล้งที่เด่นชัดกว่า พืชพรรณที่นี่ไม่เขียวชอุ่มเหมือนในป่าฝน แต่ประกอบด้วยทุ่งหญ้าและต้นไม้กระจัดกระจาย เมืองต่าง ๆ เช่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย มีสภาพอากาศแบบนี้ โดยมีฤดูร้อนที่ร้อนและฤดูหนาวที่เย็นและแห้งแล้ง

พื้นที่บางแห่งในภูมิภาคนี้ โดยเฉพาะตามแนวตอนเหนือและเนินเขาสูง มีภูมิอากาศแบบอบอุ่น (กึ่งเขตร้อน) และมีแม้แต่ภูมิอากาศแบบเทือกเขาสูง ตัวอย่างของประเทศที่แสดงถึงความหลากหลายนี้ เช่น อินโดนีเซียและมาเลเซีย ซึ่งมีภูมิอากาศแบบป่าฝนเขตร้อนแบบเส้นศูนย์สูตรและภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน และทั้งเมียนมาและเวียดนามซึ่งมีทั้งเขตร้อนและเขตอากาศอบอุ่น

- **ภูมิอากาศแบบอบอุ่นชื้นกึ่งเขตร้อน (Cfa):** ภูมิอากาศแบบนี้พบได้ในเวียดนามตอนเหนือและบางส่วนของจีนตอนใต้ ซึ่งรวมถึงพื้นที่อย่างฮานอยและกุ้ยหลิน ฤดูร้อนมีอากาศร้อนชื้นและมีฝนตกชุก ในขณะที่ฤดูหนาวมีอากาศเย็นและแห้ง ภูมิภาคนี้มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่แตกต่างชัดเจน ซึ่งก็คือมีฤดูร้อนที่เปียกและอบอุ่น และฤดูหนาวที่แห้งกว่าและเย็นกว่า



- **ภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน (Csa):** ภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียนหาได้ยากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่พบได้ในพื้นที่ราบสูง เช่น บางส่วนของเวียดนามและที่ราบสูงของอินโดนีเซีย พื้นที่เหล่านี้มีฤดูร้อนที่แห้งและร้อน และมีฤดูหนาวที่เปียกและไม่หนาวจัด อันเนื่องมาจากความสูงเหนือระดับน้ำทะเลและปัจจัยต่าง ๆ ทางด้านภูมิประเทศ

- **ภูมิอากาศแบบที่ราบสูง (H):** ภูมิอากาศแบบภูเขาสูงพบได้ในภูมิภาคที่เต็มไปด้วยภูเขาของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ทางตอนเหนือของเวียดนาม ลาว และที่สูงตอนกลางของเวียดนามและไทย ภูมิภาคเหล่านี้มีอากาศเย็นตลอดปี โดยมีการลดต่ำลงของอุณหภูมิและรูปแบบการตกของฝน หิมะ หรือลูกเห็บแตกต่างกันไปตามความสูงเหนือระดับน้ำทะเล





สถานที่ที่หนาวเย็นที่สุดและร้อนที่สุดในโลกอยู่ที่ใด

สถานที่ที่หนาวเย็นที่สุดในโลกก็คือที่ราบตะวันออกของเขตแอนตาร์กติกา ในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2553 ดาวเทียมอควาของนาซา (US NASA Aqua satellite) ได้บันทึกอุณหภูมิต่ำสุดครั้งใหม่ไว้ที่ -93.2 องศาเซลเซียส ณ บริเวณนั้น (ภาพที่ 1.2.2 และ 1.2.3) การวิเคราะห์ล่าสุดโดยนักวิทยาศาสตร์ของนาซาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ ณ สถานที่เดียวกันนั้นลดลงต่ำกว่าเดิมจนถึง -98 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม บันทึกนี้ไม่น่าจะได้รับการรับรองอย่างเป็นทางการ เนื่องจากตามมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน อุณหภูมิอากาศจะต้องวัดจากพื้นผิวโลก ไม่ใช่จากนอกอวกาศจึงจะถือว่าแม่นยำ ดังนั้นบันทึกอุณหภูมิต่ำสุดที่ได้รับการรับรองในระดับสากลจึงยังคงอยู่ที่ -89.2 องศาเซลเซียส ซึ่งบันทึกไว้ที่โซเวียต (รัสเซียในปัจจุบัน) ณ สถานีวิจัยวอสตอคในเขตแอนตาร์กติกาเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2526 (ภาพที่ 1.2.4) หมู่บ้านโอมยาคอน (Oymyakon) ในไซบีเรียตะวันออกเป็นสถานที่อยู่อาศัยถาวรที่หนาวเย็นที่สุดในโลก โดยมีอุณหภูมิในฤดูหนาวเฉลี่ย -50 องศาเซลเซียส วันที่หนาวเย็นที่สุดของเมืองซึ่งได้รับการบันทึกไว้คือในปี พ.ศ. 2467 เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนเหลือ -71.2 องศาเซลเซียส

สถานที่ที่ร้อนที่สุดบนดาวเคราะห์นี้คือหุบเขามรณะ (Death Valley) ในสหรัฐอเมริกา ซึ่งบันทึกอุณหภูมิอากาศในร่มที่แน่นอนไว้ได้ที่ +56.7 องศาเซลเซียสเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2456 (ภาพที่ 1.2.5) ในปัจจุบัน องค์การ WMO กำลังยืนยันความถูกต้องของค่าอุณหภูมิสองค่าที่วัดได้ +54.4 องศาเซลเซียสซึ่งบันทึกได้จากสถานที่เดียวกันเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม ปี พ.ศ. 2563 และ 9 กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2564 หากได้รับการยืนยัน นี่จะเป็นอุณหภูมิที่สูงที่สุดในโลกนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2456

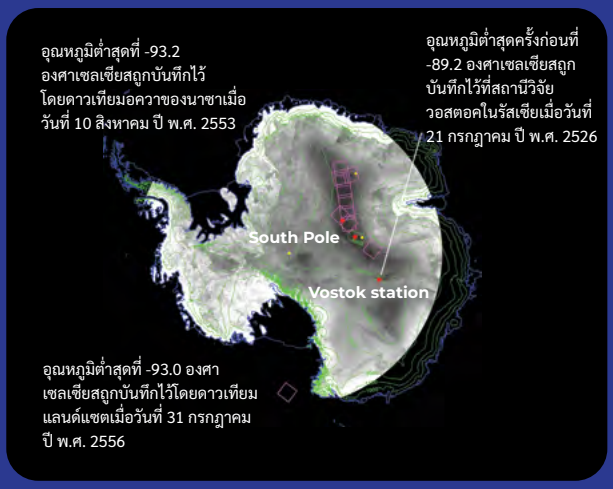
ภาพที่ 1.2.2

ดาวเทียมอควาของนาซาถูกส่งขึ้นไปในปี พ.ศ. 2545 เพื่อศึกษากระบวนการทางกายภาพบนโลก



ภาพที่ 1.2.3

อุณหภูมิอากาศบนพื้นผิวแอนตาร์กติกา: ข้อมูลจากดาวเทียมอควาของนาซาในปี พ.ศ. 2546 ถึงปี พ.ศ. 2556 และจากดาวเทียมแลนด์แซต 8 ในปี พ.ศ. 2556



ภาพที่ 1.2.4 **สถานีวิจัยวอสตอคของรัสเซียในเขตแอนตาร์กติกา**



ภาพที่ 1.2.5 **หุบเขามรณะ สหรัฐอเมริกา**



คำถาม

1. ในขณะที่ซีกโลกเหนือเป็นฤดูหนาว ทางซีกโลกใต้เป็นช่วงเวลาใดของปี

2. ลมคืออะไร คุณรู้จักลมประเภทใดบ้าง ลมแต่ละประเภทแตกต่างกันอย่างไร ลมเหล่านั้นพบเห็นได้มากในสภาพภูมิอากาศแบบใด และเพราะเหตุใด

3. คุณพักอาศัยอยู่ในเขตภูมิอากาศใด คุณรู้อะไรบ้างเกี่ยวกับสภาพอากาศในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปีในเขตภูมิอากาศของคุณ

4. เขตภูมิอากาศใดบ้างที่พืชและสัตว์อยู่รอดได้ยากที่สุด

5. ที่ใดหนาวเย็นที่สุด ขั้วโลกเหนือหรือขั้วโลกใต้

6. คุณรู้จักคำศัพท์ทางภูมิอากาศดีแค่ไหน ลองทดสอบตนเองด้วยพจนานุกรมภูมิอากาศของโครงการ UNDP ซิ: https://www.undp.org/publications/climate-dictionary





กิจกรรม

1

เกม

วัสดุอุปกรณ์: ไพ่ ที่แสดงภูมิอากาศหลายแบบ ได้แก่ แบบเขตร้อน เขตแห้งแล้ง เขตอบอุ่น เขตอบอุ่นภาคพื้นทวีป เขตขั้วโลก และเขตเทือกเขา/ที่ราบสูง ในคุณลักษณะต่าง ๆ กัน เกมนี้สำหรับผู้เล่น 12-24 คน โดยผู้เล่นแต่ละคนจะได้รับไพ่หนึ่งใบที่มีคุณลักษณะของภูมิอากาศหนึ่งอย่าง

คุยกับผู้เล่นคนอื่น และรวบรวมคุณลักษณะทั้งหมดของภูมิอากาศหนึ่งแบบไว้ในผู้เล่นหนึ่งกลุ่ม แล้วแสดงท่าใบ้คำให้กลุ่มอื่นทายว่าคุณมีภูมิอากาศแบบใด

2

มาร์ก ทเวน (Mark Twain) นักเขียนชาวอเมริกันผู้มีชื่อเสียงเคยกล่าวติดตลกไว้ครั้งหนึ่งว่า “ถ้าคุณไม่ชอบสภาพอากาศในนิวอิงแลนด์ ก็แค่รอสักสองสามนาที” นักเขียนท่านนี้พูดติดตลกอะไรเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศและสภาพอากาศในพื้นที่แถบนิวอิงแลนด์ (New England) นี้

ลองหานิวอิงแลนด์บนแผนที่ของสหรัฐอเมริกา ที่นี่อยู่ในเขตภูมิอากาศใด

3

สภาพภูมิอากาศ ‘เป็นมิตร’ และ ‘ไม่เป็นมิตร’ เป็นอย่างไร
แบ่งกลุ่มและเลือกภูมิอากาศหนึ่งแบบ
สร้างการแสดงสมมุติและมุขตลกเกี่ยวกับประเภทของภูมิอากาศที่คุณเลือก

4

เกม

จุดประสงค์ของเกม: เพื่อให้คุณรู้สึกราวกับอยู่ในภูมิอากาศป่าฝนเขตร้อนแบบศูนย์สูตร และสัมผัสกับฝนที่ตกลงมาเป็นประจำทุกวัน

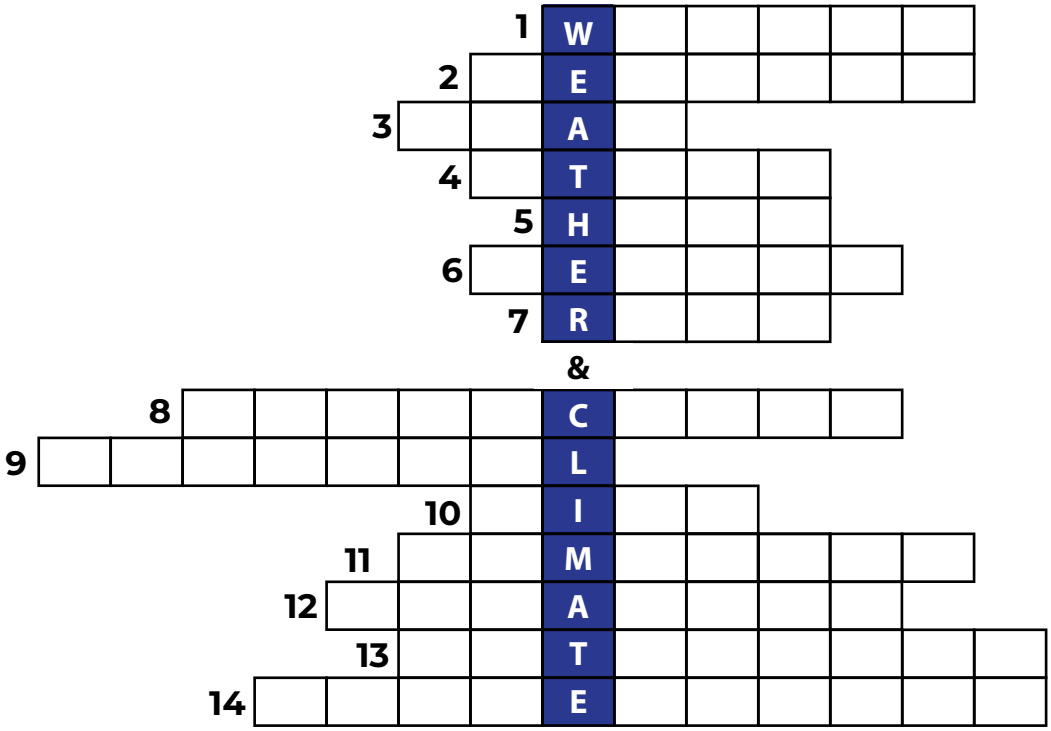
วิธีเล่น: ยืนล้อมวงโดยให้คนนำคนหนึ่งอยู่ตรงกลาง ในฐานะคนนำ คุณต้องทำท่าเคลื่อนไหวให้ผู้เล่นคนอื่น ๆ เห็น ค่อย ๆ หันไปทางผู้เล่นแต่ละคนช้า ๆ เริ่มท่าเคลื่อนไหวใหม่หลังจากที่ผู้เล่นทุกคนในวงเริ่มเลียนแบบท่าเคลื่อนไหวก่อนหน้าของคุณแล้ว ผู้เล่นแต่ละคนเปลี่ยนไปยังท่าเคลื่อนไหวถัดไปเมื่อคุณหันเข้าหาพวกเขา ในขณะเดียวกันผู้เล่นคนอื่น ๆ ก็ทำท่าเคลื่อนไหวก่อนหน้าต่อไป

ลำดับท่าเคลื่อนไหว: คนนำและผู้เล่นคนแรก (จากนั้นก็เป็นผู้เล่นคนที่สอง คนที่สาม ไปเรื่อย ๆ) ประสานฝ่ามือเข้าด้วยกันและใช้มือที่ประสานกันทำท่าเคลื่อนไหวเป็นวงกลมอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นก็ดีดนิ้ว ตามด้วยปรบมือ ตามด้วยตบสะโพกแล้วก็กระทืบเท้า เมื่อจบลำดับท่าเคลื่อนไหว ให้ทำท่าทั้งหมดย้อนจากหลังมาหน้า ผลที่ได้คือการเลียนแบบเสียงฝนตกตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด

5

ปริศนาอักษรไขว้ (ศัพท์ภาษาอังกฤษ)

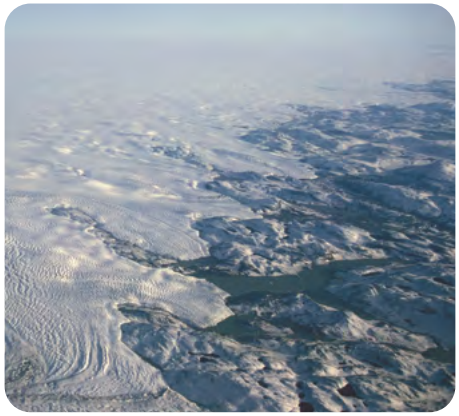
1. หนึ่งในฤดูกาลหลักในเขตอบอุ่น
2. สภาพของบรรยากาศ ณ เวลาหนึ่ง ในสถานที่หนึ่ง
3. ฤดูกาลผ่านมาและผ่านไปในหนึ่ง...
4. ลักษณะสภาพอากาศรุนแรง มีลมกรรโชก
5. ฝนน้ำแข็งที่ตกลงมาในรูปก้อนน้ำแข็งขนาดเล็ก
6. รูปแบบสภาพอากาศระยะยาว ณ ช่วงเวลาหนึ่งของปี
7. คุณลักษณะหลักประการหนึ่งของสภาพอากาศ
8. ตัวละครสำคัญของเด็ก ๆ ชาวคริสต์ ที่เกี่ยวข้องกับหิมะและฤดูหนาว การมาเยือนของชายชราคนนี้เป็นที่ต้อนรับเสมอ
9. ภูมิอากาศแบบหนึ่ง
10. การเคลื่อนไหวตามแนวนอนของอากาศ ซึ่งเกิดจากความกดอากาศที่ต่างกัน
11. การวัดปริมาณน้ำในบรรยากาศ เมื่อค่าเพิ่มขึ้น สภาพอากาศจะดูเปียกชื้นมากขึ้น
12. นักประพันธ์ชาวอิตาลีผู้มีชื่อเสียงซึ่งประพันธ์งานชุดหนึ่งที่ชื่อว่า ‘สี่ฤดู’ (The Four Seasons)
13. ทวีปที่หนาวเย็นที่สุด
14. ปัจจัยหลักที่กำหนดภูมิอากาศ



1.3 ภูมิอากาศในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรและเพราะเหตุใด

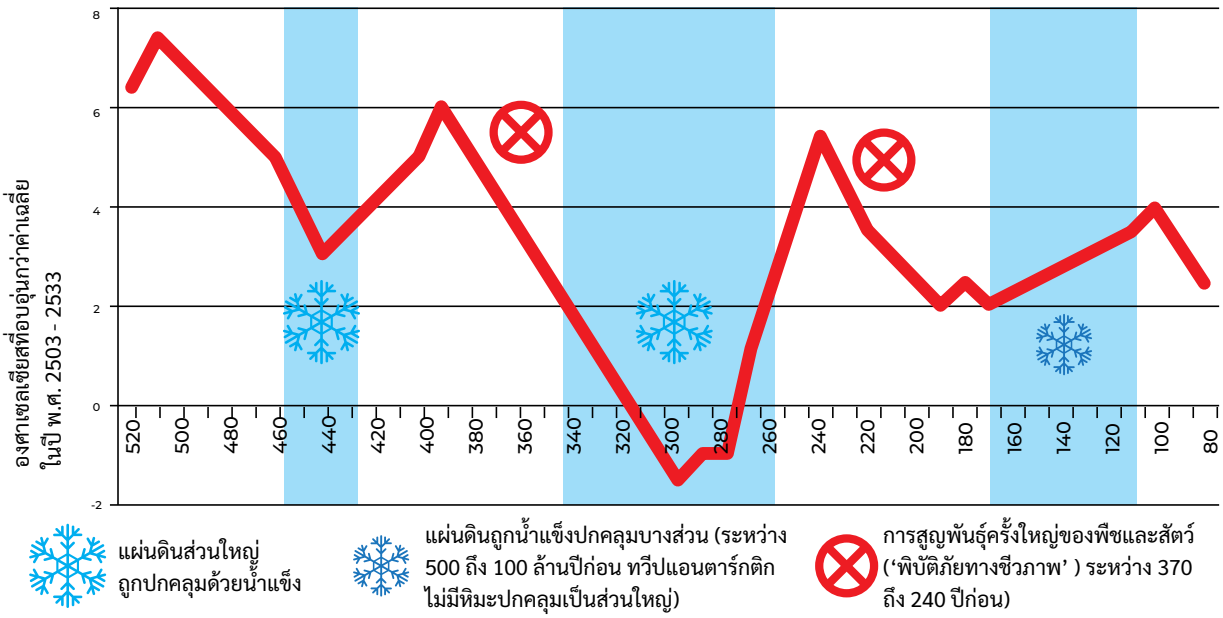
ไม่ใช่เรื่องยากที่จะแสดงให้เห็นว่าภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงมาโดยตลอด แน่นอนว่าผู้กล้าในการ์ตูนและเกมคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับไดโนเสาร์และยุคน้ำแข็งเป็นเรื่องที่ถูกแต่งขึ้น แต่ไดโนเสาร์เคยมีอยู่จริงตามที่รู้จากการค้นพบกระดูกและไข่ไดโนเสาร์ ในขณะที่สัตว์เหล่านี้ยังมีชีวิตอยู่ ภูมิอากาศบนดาวเคราะห์โลกอบอุ่นกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้มาก แต่ก็มีช่วงเวลาที่หนาวเย็นเช่นกัน นั่นก็คือตอนที่ภูมิอากาศหนาวเย็นยะเยือกกว่าปัจจุบันนี้ และธารน้ำแข็งก็แผ่ลงใต้ไปไกลถึงเบอร์ลินหรือชิคาโก และสูงพอ ๆ กับตึกหลายชั้น!





ตลอดประวัติศาสตร์โลกกว่าร้อยล้านปีที่ผ่านมา อุณหภูมิมีความแตกต่างกันอย่างมาก ประมาณ 10 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1.3.1) นั่นเยอะมาก! ถ้าอุณหภูมิในทุกวันนี้อบอุ่นขึ้น 10 องศาเซลเซียสละก็ ภูมิอากาศในสต็อกโฮล์มก็จะแตกต่างออกไปทีเดียว นั่นก็คือ อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างปีในเมืองหลวงของสวีเดนจะเท่ากับที่ชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียนเป็นอยู่ตอนนี้ ตัวอย่างเช่นในบาร์เซโลนาหรือมาร์เซย คงเยี่ยมไปเลยนะ ว่าไหม แต่แบบนั้นยุโรปตอนใต้ก็จะร้อนพอ ๆ กับดูไบ และในเอเชียตะวันออก ใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ ก็อาจจะร้อนเกินกว่าที่ผู้คนจะอาศัยอยู่ได้

ภาพที่ 1.3.1 อุณหภูมิบนโลกตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา



นักวิทยาศาสตร์รู้ได้อย่างไรว่าภูมิอากาศในอดีตเป็นอย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ประเมินว่าอุณหภูมิบนโลกในอดีตเป็นอย่างไรด้วยการศึกษาก้อนหิน ตะกอนที่ก้นทะเลสาบ ทะเล และมหาสมุทร น้ำแข็งทิ้งร่องรอยไว้บนก้อนหิน ในขณะที่ตะกอนจากตรงบริเวณที่เคยเป็นทะเลดึกดำบรรพ์ก็มีซากพืชซึ่งสามารถอยู่รอดได้ในบางอุณหภูมิเท่านั้น

นักวิทยาศาสตร์มีแหล่งข้อมูลที่ดียิ่งกว่าในการประเมินอุณหภูมิในช่วงหนึ่งล้านปีที่ผ่านมา นั่นก็คือ พวกเขาใช้น้ำแข็งของทวีปแอนตาร์กติกา น้ำแข็งที่นั่นมีฟองอากาศที่เป็นให้หลักฐานแสดงให้เห็นถึงเป็นองค์ประกอบของก๊าซในบรรยากาศและอุณหภูมิของบนโลกในอดีต (ภาพที่ 1.3.2) ชุดข้อมูลที่ยาวที่สุด (ประมาณ 800,000 ปี) ได้มาจากวอสทอค สถานีแอนตาร์กติกของรัสเซีย

วงปีต้นไม้ก็เป็นแหล่งข้อมูลที่ดีในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหลายศตวรรษที่ผ่านมา วงปีจากช่วงปีที่อบอุ่นจะกว้างกว่า แต่วงปีจากช่วงปีที่หนาวเย็นจะแคบกว่า เปลือกหอยทะเลและเปลือกหอยน้ำจืดก็เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีอีกอย่างหนึ่งถึงภูมิอากาศในอดีต

วิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการศึกษาภูมิอากาศในอดีตมีชื่อเรียกว่า **‘ภูมิอากาศบรรพกาลวิทยา’** (paleoclimatology)

ภาพที่ 1.3.2 **นักวิทยาศาสตร์สกัดลำน้ำแข็งแอนตาร์กติก ซึ่งนำมาใช้ระบุอุณหภูมิของอากาศและสารคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศตลอดหลายแสนปีที่ผ่านมา**







1.3.1 | สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลาหลายล้านปี

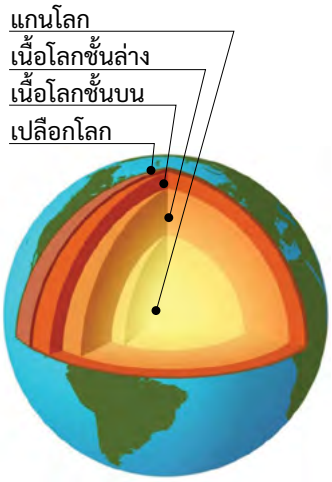
นักวิทยาศาสตร์พิจารณาปัจจัยที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางธรณีวิทยา ดาราศาสตร์ ชีววิทยา สนามแม่เหล็กโลก และปัจจัยเกี่ยวกับอวกาศ เพื่อหาคำอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ ๆ ของภูมิอากาศโลกที่ได้เกิดขึ้นตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา พวกเขาถึงกับเคยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ที่จะมีผู้มาเยือนจากดาวเคราะห์ดวงอื่น ซึ่งอาจจะใช้อาวุธทางภูมิอากาศบางอย่าง แต่เหล่านักวิทยาศาสตร์ก็ไม่พบร่องรอยของมนุษย์ต่างดาวเลย สิ่งที่พวกเขาพบก็คือ อุณหภูมิบนดาวเคราะห์ที่เรียกว่าโลกนี้ในสองถึงสามร้อยปีที่ผ่านมานั้นถูกกำหนดโดยตำแหน่งของทวีปนั้น ๆ

ทวีปที่มีการเคลื่อนตัว

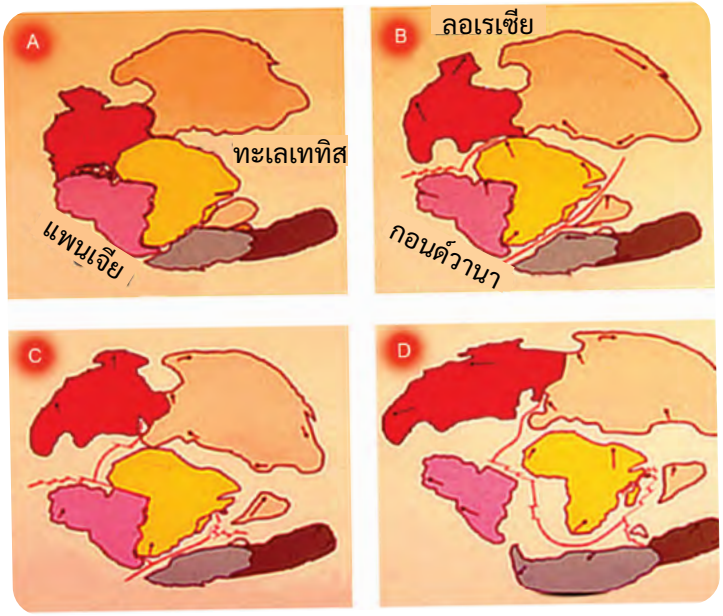
เปลือกโลกเป็นเพียงชั้นบาง ๆ ที่อยู่ด้านบนดาวเคราะห์นี้ (ภาพที่ 1.3.3) ลึกลงไประดับแรกสุดจะพบชั้นเนื้อโลก ซึ่งเป็นส่วนหลักของดาวเคราะห์ดวงนี้และเมื่อยิ่งลึกลงไปก็จะเป็นของเหลวเหนียวและร้อนมาก เปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นบน ๆ ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก (‘ธรณีภาค’) ซึ่งสามารถแตก เคลื่อนออกจากกันหรือเคลื่อนเข้าหากัน และเคลื่อนตัวเพียงแค่ไม่กี่เซนติเมตรต่อปี แต่ครอบคลุมหลายพันกิโลเมตรตลอดหลายล้านปี! สิ่งนี้เรียกว่า ‘ทวีปเลื่อน’ (continental drift) มหาทวีปแพนเจีย (หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ‘แพนเจีย’) โบราณซึ่งเป็นแผ่นเดียวค่อย ๆ แยกออกเป็นหลายทวีป ซึ่งเคลื่อนออกจากกันและเคลื่อนมาชนกัน (ภาพที่ 1.3.4) ถ้าคุณดูที่ฝั่งตะวันตกของแอฟริกาและฝั่งตะวันออกของอเมริกาใต้ ก็จะเห็นได้ว่าบริเวณดังกล่าวของทั้งสองทวีปเหมือนตัวต่อสองชิ้นที่ต่อกันได้สนิทพอดี และเหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็คือทวีปทั้งสองเคยเป็นทวีปเดียวกันมาก่อนที่ต่อมาแยกออกจากกัน

ภาพที่ 1.3.3

ชั้นต่าง ๆ ของโลก



ทวีปที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรไม่มีน้ำแข็งสะสม แต่ถ้าหากว่าทวีปเหล่านั้นอยู่ใกล้ขั้วโลก ในไม่ช้าก็จะถูกฝังอยู่ใต้ธารน้ำแข็ง (มวลน้ำแข็ง) ที่เห็นกันในเขตแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์ พื้นผิวสีขาวของน้ำแข็งและหิมะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับไปยังอวกาศ ทำให้แน่ใจได้ว่าน้ำแข็งและหิมะจะคงความเย็นอยู่ ในขณะที่พื้นผิวส่วนที่มืดทึมของโลกหรือพื้นน้ำที่นั้นดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้เกือบทั้งหมด พื้นผิวดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 1.3.4

ทวีปเลื่อนตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา

A – การก่อตัวของแพนเจีย
B – การแยกออกจากกันของแพนเจีย, การก่อตัวของลอเรเซียและกอนด์วานา
C – การแยกตัวของกอนด์วานา การก่อรูปของฮินดูสถาน ออสเตรเลีย และทวีปแอนตาร์กติกา
D – การก่อตัวของทวีปอเมริกาใต้ การเริ่มต้นของกระบวนการแยกตัวของลอเรเซีย (ซึ่งต่อมาแยกออกจากกันเป็นยูเรเซีย ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ หมู่เกาะอินโดนีเซีย เป็นต้น

เมื่อทวีปเลื่อนเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง สิ่งนี้จึงกลายเป็นปัจจัยหลักที่ส่งอิทธิพลต่อภูมิอากาศของดาวเคราะห์ทั้งดวง เวลา 500 ล้านปีที่ผ่านมาส่วนใหญ่ทวีปต่าง ๆ มีน้ำแข็งปกคลุมน้อยกว่า ภูมิอากาศของโลกจึงอุบอุ่นกว่าในปัจจุบัน

พื้นผิวสีขาวของน้ำแข็งและหิมะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับไปยังอวกาศ ทำให้แน่ใจได้ว่าน้ำแข็งและหิมะจะคงความเย็นอยู่ ในขณะที่พื้นผิวส่วนที่มืดทึมของโลกหรือพื้นน้ำนั้นดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้เกือบทั้งหมด พื้นผิวดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่สำคัญในอดีต โดยเฉพาะในตอนที่เกิดสิ่งที่เรียกว่า ‘ภัยพิบัติทางชีวภาพ’ ที่ทำให้โลกเย็นลง สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ สูญพันธุ์ไป และคงเหลือเฉพาะสายพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุดกับสภาวะแวดล้อมใหม่ ๆ เท่านั้นที่อยู่รอด

ช่วงอากาศหนาวเย็นครั้งหนึ่งเมื่อประมาณ 60 ล้านปีก่อนนำไปสู่การสูญพันธุ์ของไดโนเสาร์กลุ่มสุดท้าย เหตุการณ์นี้น่าจะเป็นกระบวนการที่ค่อยเป็นค่อยไปนานมากกว่าหนึ่งพันปี สาเหตุที่แท้จริงที่ไดโนเสาร์สูญพันธุ์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด และน่าจะไม่ได้มาจากสาเหตุเดียวแต่มีหลายสาเหตุ

เหตุใดไดโนเสาร์จึงสูญพันธุ์



ไดโนเสาร์สูญพันธุ์ไปจนหมดเมื่อราว ๆ 60 ล้านปีก่อน ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ยังไม่แน่ใจถึงสาเหตุที่แท้จริง

ทฤษฎีหนึ่งก็คือไดโนเสาร์ไม่สามารถสู้กับสิ่งมีชีวิตที่ ‘ซับซ้อน’ กว่าได้ ตัวอย่างเช่น กับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเลือดอุ่นที่ตัวเล็กพอ ๆ กับกระรอก แต่สามารถกินไข่ไดโนเสาร์หรือจู่โจมพวกมันในเวลากลางคืนตอนที่สัตว์เลือดเย็นอย่างไดโนเสาร์ไม่สามารถขยับเขยื้อนได้

อีกทฤษฎีหนึ่งก็คือ มีอุกกาบาตลูกใหญ่พุ่งชนโลกตรงแถบทะเลแคริบเบียนในปัจจุบัน ทำให้เกิดฝุ่นปริมาณมหาศาลกระจายไปทั่วชั้นบรรยากาศ บดบังแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร นก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และสิ่งมีชีวิตอีกมากมายปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิใหม่ แต่ไดโนเสาร์ไม่ปรับตัวตาม

และยังมีอีกทฤษฎีหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้กันว่าสำหรับสัตว์เลื้อยคลานบางชนิด (เช่นเต่าและจระเข้) อุณหภูมิของพื้นดินจะเป็นตัวกำหนดว่าไข่ที่ถูกวางไว้บนทรายตามแนวริมแม่น้ำและชายฝั่งจะฟักออกเป็นตัวผู้หรือตัวเมีย นักชีววิทยาเสนอว่าความเกี่ยวพันนี่อาจจะมีในไดโนเสาร์ซึ่งเป็นสัตว์เลื้อยคลานด้วยเช่นกัน เพียงแต่เป็นสัตว์เลื้อยคลานที่ตัวใหญ่มากเท่านั้น ถ้าอุณหภูมิอยู่ในระดับที่ไข่ไดโนเสาร์ฟักออกมาแค่ตัวผู้ (หรือตัวเมีย) เท่านั้น พวกมันย่อมจะสูญพันธุ์อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องมีหายนะหรืออุกกาบาตพุ่งชนโลกเลย

การเปลี่ยนแปลงจากภูมิอากาศชื้นสม่ำเสมอเป็นภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนผันฤดูกาล (แม้การเปลี่ยนผันจะมีเพียงเล็กน้อย) สามารถทำให้เกิดคืนอันหนาวเย็นเป็นเวลาสั้น ๆ ในขณะที่ร่างกายของสัตว์เลื้อยคลานขนาดใหญ่อย่างไดโนเสาร์อาจจะกักเก็บความอบอุ่นไว้ได้ไม่มากพอ ไดโนเสาร์จำนวนมากจึงอ่อนแอลงและตายไปในที่สุด

แต่เหตุการณ์ทางภูมิอากาศที่สำคัญที่สุดเกิดขึ้นเมื่อ 50 ล้านปีก่อน เมื่อทวีปต่าง ๆ เคลื่อนตัวออกจากขั้วโลกเหนือ หิมะและน้ำแข็งที่ปกคลุมอยู่หดเล็กลง และอุณหภูมิก็สูงขึ้นจนถึงระดับสูงที่กว่าทุกวันนี้ประมาณ 12 องศาเซลเซียส จากนั้น 'จู่ ๆ' อินเดียซึ่งก่อนหน้านั้นเป็นแผ่นธรณีภาคเล็ก ๆ ก็เคลื่อนชนแผ่นยูเรเชีย และตรงจุดที่ชนก็เกิดเป็นเทือกเขาหิมาลัย แผ่นทวีปอื่น ๆ เคลื่อนไปรอบ ๆ จนกระทั่งทวีปแอนตาร์กติกไปจบลงที่ขั้วโลกใต้และถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็ง (30-40 ล้านปีก่อน) อุณหภูมิบนโลกเริ่มลดฮวบลงเมื่อน้ำแข็งสีขาวของทวีปแอนตาร์กติกาเริ่มสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับขึ้นไปสู่อวกาศ

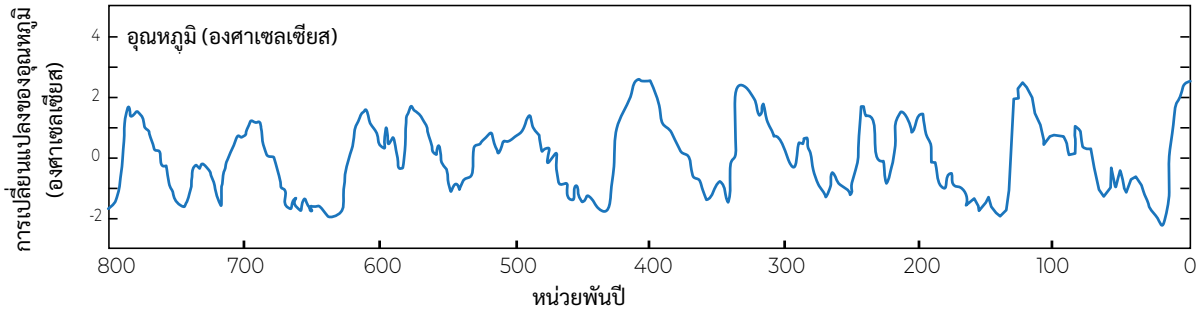
เมื่อประมาณ 10 ล้านปีก่อน กรีนแลนด์เคลื่อนตัวมาถึงตำแหน่งปัจจุบันและถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็งซึ่งทำให้อุณหภูมิที่ต่ำอยู่แล้วต่ำลงไปอีกจนใกล้กับอุณหภูมิที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

โลกเมื่อ 100 ล้านปีก่อนอบอุ่นกว่าทุกวันนี้มาก น้ำแข็งปกคลุมทวีปแอนตาร์กติกาเมื่อ 30-40 ล้านปีก่อน และปกคลุมกรีนแลนด์เมื่อ 10 ล้านปีก่อน ส่งผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงระดับปัจจุบัน

1.3.2 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลานับหมื่นนับแสนปี

เป็นที่ทราบกันว่าอุณหภูมิของโลกมีการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ หนึ่งล้านปี โดยพบว่าโดยเฉลี่ยทุก 100,000 ปี โลกจะเข้าสู่ช่วงอบอุ่นซึ่งกินระยะเวลาไม่นานนัก ขณะที่ช่วงเวลาส่วนใหญ่ของวงจรดังกล่าวมีสภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็นมาก (เรียกว่า 'ช่วงธารน้ำแข็ง' หรือ 'ยุคน้ำแข็ง') ปัจจุบัน โลกกำลังอยู่ในช่วงอบอุ่นของวัฏจักรนี้

ภาพที่ 1.3.5 **อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปบนโลกตลอด 800,000 ปีที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย**

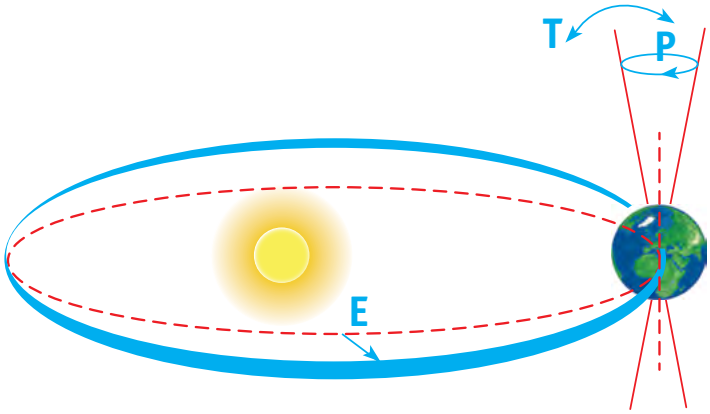


เหตุใดจึงเป็นเช่นนี้ นักวิทยาศาสตร์คิดว่าการสลับกันไปมาระหว่างยุคน้ำแข็งกับช่วงอบอุ่นมีสาเหตุมาจากเหตุผลทางดาราศาสตร์ (ภาพที่ 1.3.6)

ทุก 41,000 ปีความเอียงของแกนโลกจะเลื่อนไปในช่วงระหว่าง 22 องศาถึง 24.5 องศา (ปัจจุบันอยู่ที่ 23.5 องศา) ความแตกต่างนี้ทำให้ช่วงเวลากลางคืนของขั้วโลกในแถบขั้วโลกยาวนานกว่าในบางช่วงเวลาและสั้นกว่าในช่วงเวลาอื่น แม้ว่าปรากฏการณ์นี้ไม่ได้ทำให้ปริมาณความร้อนทั้งหมดจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลกแตกต่างออกไป แต่ก็ส่งผลต่อความรุนแรงและระยะเวลาของช่วงฤดูหนาว

ภาพที่ 1.3.6 การเปลี่ยนแปลงในวงโคจรโลกและการหมุนรอบตัวเองของโลกซึ่งกำหนดจุดเริ่มต้นของช่วงธารน้ำแข็ง

T — ความเอียงของแกนโลก
E — การเปลี่ยนแปลงในวงโคจรของโลก (ความเบี่ยงเบนจากวงกลมของวงโคจร)
P — การเปลี่ยนแปลงทิศทางของแกนหมุนของโลก

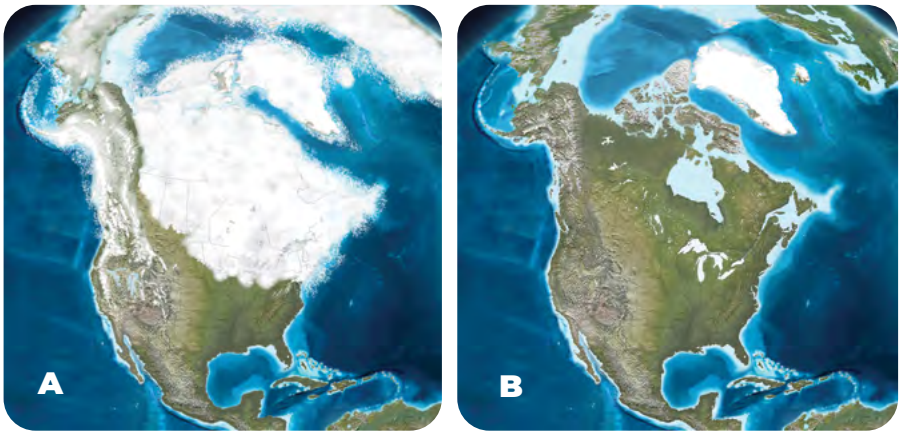


เส้นทางการหมุนเป็นวงของแกนโลกครบรอบทุก 19,000-23,000 ปี เวลาที่คุณหมุนลูกข่าง ยอดของมันชี้ตรงขึ้นข้างบนในตอนแรก จากนั้นก็จะเริ่มหมุนคว้างเป็นวง แล้วลูกข่างลูกนั้นก็หยุดหมุนและล้มลง โลกก็เหมือนกับลูกข่างลูกหนึ่ง ซึ่งโอกาสที่จะหยุดหมุนในสองสามร้อยปีนับจากนี้นั้นยังไม่มี แต่ก็หมุนช้าลงมาเรื่อย ๆ และแกนโลกก็ไม่ได้นิ่งโดยชี้ไปที่จุดเดิมในท้องฟ้า การหมุนรอบที่เกิดจากการหมุนของแกนโลกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่ส่งจากดวงอาทิตย์มายังโลก (ไม่มากไปกว่าการเอียงของแกน) แต่การหมุนรอบนี้ก็ส่งผลต่อความรุนแรงและระยะเวลาของช่วงฤดูหนาวในละติจูดขั้วโลก

วงโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลกเปลี่ยนแปลงไปทุก 400,000 และ 100,000 ปี เมื่อวงโคจรใกล้เคียงวงกลม การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในการไหลเวียนความร้อนจากดวงอาทิตย์จะน้อยกว่าเวลาที่วงโคจรเป็นวงรี

เมื่อฤดูหนาวในแถบขั้วโลกยาวนานขึ้นและรุนแรงขึ้น และมีหิมะตกมากขึ้น หิมะละลายในฤดูร้อนน้อยลง การสะสมตัวของน้ำแข็งก็ทำให้เกิดธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งสีขาวเหล่านี้สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงเกือบทั้งหมดซึ่งไม่เหมือนกับพื้นดินหรือพื้นน้ำส่วนที่มืดทึม จึงส่งผลให้ความหนาวทวีความรุนแรงขึ้นและธารน้ำแข็งก็ขยายใหญ่ขึ้น เคลื่อนย้ายจากขั้วโลกไปที่ละติจูดเขตอบอุ่น ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงธารน้ำแข็ง (ภาพที่ 1.3.7)

ผ่านไปสองถึงสามแสนปี สภาวะแวดล้อมก็เปลี่ยนไป ทำให้ฤดูหนาวในขั้วโลกและแถบอบอุ่นสั้นลงและอุ่นขึ้น ธารน้ำแข็งเริ่มหดตัว และสภาพภูมิอากาศก็กลับไปสู่สภาพเดิมก่อนหน้านั้น นี่คือสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อ 13,000 ปีก่อน ตอนที่ช่วงธารน้ำแข็งครั้งล่าสุดสิ้นสุดลง



ภาพที่ 1.3.7

อเมริกาเหนือระหว่าง:
A - ช่วงธารน้ำแข็ง เมื่อ 125,000 ปีก่อน
B - ปัจจุบัน

ราว 5,000-7,000 ปีก่อน สภาพภูมิอากาศอบอุ่นกว่าและเปียกชื้นกว่าปัจจุบัน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อพัฒนาการของอารยธรรมมนุษย์ แต่เป็นความเข้าใจผิดหากจะคิดว่าการที่โลกอุ่นขึ้นสักสององศาจะดีต่ออารยธรรมสมัยใหม่ มนุษย์ในปัจจุบันมีความต้องการและเงื่อนไขของชีวิตที่แตกต่างไป กล่าวคือ การมีหญ้าอันอุดมสมบูรณ์ไว้สำหรับสัตว์เลี้ยง และมีสัตว์ป่าเหลือเฟือให้ล่านั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้สังคมดำเนินไปได้อย่างปกติสุขอีกต่อไป

ระดับน้ำในมหาสมุทรของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปตามการมาถึงและการหมดไปของช่วงธารน้ำแข็ง ระหว่างช่วงหนาวเย็นระดับน้ำทะเลอยู่ต่ำกว่าระดับในปัจจุบัน 50-100 เมตร และนั่นก็เป็นเวลาที่คนโบราณอพยพจากยูเรเซียไปยังอเมริกาโดยผ่านทางแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่และมีการข้ามผ่านช่องแคบที่มีน้ำแข็งปกคลุมเป็นบางช่วง ในช่วงที่อบอุ่นขึ้นระหว่างสองถึงสามแสนปีที่ผ่านมา น้ำในมหาสมุทรอยู่ที่ระดับปัจจุบันหรือก็คือสูงขึ้น 5-10 เมตร

เหลืออีกกี่แสนปีโลกถึงจะเข้าสู่ช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไป เนื่องจากช่วงเวลาที่วงโคจรของโลกและการหมุนรอบแกนของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นซับซ้อน จึงเป็นไปไม่ได้ที่นักวิทยาศาสตร์จะคาดการณ์ว่าช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไปจะเกิดขึ้นในอีก 15,000 - 20,000 หรือ 30,000 ปี

แต่ก็มีเรื่องที่ชัดเจนอยู่สองเรื่อง เรื่องแรกก็คือมันจะเกิดขึ้น คนรุ่นหลังในอนาคตข้างหน้าอาจจะสามารถปรับตัวได้เนื่องจากภูมิอากาศที่เส้นศูนย์สูตรและละติจูดเขตร้อนจะไม่หนาวเย็นกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้ มากนัก เรื่องที่สองก็คือช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไปจะไม่มาถึงเร็ว ๆ นี้ ไม่แม้แต่ภายใน 100 ปีนี้ แต่การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งจะใช้เวลาถึงหลายแสนปี ดังนั้นการมองเห็นความเป็นไปได้ของช่วงธารน้ำแข็งจึงจะไม่ใช่ปัจจัยสำคัญของสภาพภูมิอากาศในสหัสวรรษล่าสุดหรือในอีกสองสามศตวรรษที่จะมา ถึง

ประวัติศาสตร์ภูมิอากาศของโลกตลอดหนึ่งล้านปีที่ผ่านมาถูกกำหนดคุณลักษณะโดยการมาถึงและการหมดไปของช่วงธารน้ำแข็ง โดยที่ภูมิอากาศจะอบอุ่นขึ้นในทุกราว ๆ 100,000 ปี ช่วงอบอุ่นจะยาวนานประมาณ 20,000-40,000 ปี จากนั้นก็จะหนาวเย็นลงอีกครั้ง ช่วงธารน้ำแข็งครั้งใหม่นั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่มันจะไม่เกิดขึ้นอีกใน 15,000 ถึง 30,000 ปี การมองเห็นความเป็นไปได้ของยุคน้ำแข็งครั้งใหม่จึงไม่ใช่ปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นในเวลานี้และที่จะเกิดขึ้นในสองถึงสามร้อยปีนับจากนี้

1.3.3 | สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลาหลายศตวรรษ

ส่วนต่าง ๆ ของโลกอบอุ่นขึ้นและหนาวเย็นลง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างหนึ่งพันปีที่ผ่านมา หลายทศวรรษมีอุณหภูมิอากาศผันแปรอย่างชัดเจนถึง 3-4 องศาเซลเซียส แน่นอนว่าเมื่อหนึ่งพันปีก่อนนั้นยังไม่มีเครื่องวัดอุณหภูมิ (มนุษย์เพิ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ใน 300 ปีที่ผ่านมา) แต่จากบันทึกที่หลงเหลืออยู่ของช่วงที่สมบูรณ์ (อบอุ่น) และไม่สมบูรณ์ (หนาวเย็น) เป็นหลักฐานว่าภูมิอากาศเกิดความผันผวนอย่างเห็นได้ชัด นักวิทยาศาสตร์ยังได้ข้อสรุปเกี่ยวกับอุณหภูมิในอดีตจากการทับถมที่ก้นทะเลและแม่น้ำ และการใช้สัญญาณอื่น ๆ อีกด้วย นอกจากนี้ วงปีของต้นไม้ก็เป็นแหล่งข้อมูลที่ดีทีเดียว

นักวิทยาศาสตร์อธิบายถึงการผันผวนของอุณหภูมิเป็นช่วง ๆ ตลอดหลายทศวรรษจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของดวงอาทิตย์ การปะทุของภูเขาไฟ และกระบวนการที่กำลังเกิดขึ้นในมหาสมุทรของโลก

การแปรปรวนในกัมมันตภาพสุริยะ

ความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันไปเป็นช่วง ๆ และมีวัฏจักร 11 ปี แต่การเฝ้าสังเกตซึ่งเริ่มขึ้นตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 17 ยังแสดงให้เห็นด้วยว่าวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงในกัมมันตภาพสุริยะยาวนานเป็นระยะเวลา 40-45 ปี 60-70 ปี และ 100-200 ปี

การแปรปรวนในกัมมันตภาพสุริยะมักมีเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเกิดช่วงที่มีกัมมันตภาพสุริยะต่ำหลายครั้งติด ๆ กัน อุณหภูมิบนโลกก็ลดลงอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2183-2258 ซึ่งเรียกกันว่า ‘ยุคน้ำแข็งน้อย’ (‘Little Ice Age’)

ช่วงเวลานั้นคนเนเธอร์แลนด์สเก็ตไปตามคลองอัมสเตอร์ดัมที่เป็นน้ำแข็งในช่วงฤดูหนาว และหลังจากนั้นไม่นานความหนาวเย็นฉับพลันก็สิ้นสุดลงจนมีการใช้สเก็ตน้อยลงไปด้วย (ภาพที่ 1.3.8)



ภาพที่ 1.3.8

ชาวดัตช์สเก็ตบนคลองที่เป็นน้ำแข็ง จากภาพแกะลายชุด ‘ตัวละครที่ทันสมัย’ (Fashionable characters) โดยโรเมน เดอ ฮุก (Romeyn de Hooghe) (เนเธอร์แลนด์ พ.ศ. 2225-2245

การปะทุของภูเขาไฟ

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติใดที่อำนาจและพลังงานของมันทำให้รู้สึกทึ่งมากที่สุด แน่นอนว่าคำตอบก็คือการปะทุของภูเขาไฟ คุณคิดว่าภูเขาไฟทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกร้อนขึ้นหรือเย็นลง มองเผิน ๆ ก็ดูเหมือนว่ามันต้องทำให้ชั้นบรรยากาศร้อนขึ้นแน่ ๆ เป็นความจริงที่ว่าลาวาร้อนและก๊าซที่เผาไหม้จนร้อนทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น แต่ก็เป็นแค่ในบริเวณใกล้เคียงของภูเขาไฟลูกนั้นเท่านั้น สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศมากที่สุดไม่ใช่ลาวาหรือก๊าซร้อน แต่เป็นเถ้าถ่านจากภูเขาไฟต่างหาก การปะทุส่งเถ้าถ่านสูงขึ้นไปถึงบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ระดับสูง 10-15 กิโลเมตร และอยู่ตรงนั้นเป็นเวลานาน เถ้าถ่านเหล่านั้นปิดกั้นไม่ให้รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนผ่าน และด้วยเหตุนี้เองที่โลกทั้งใบเย็นตัวลง



ไม่ว่าภูเขาไฟลูกไหนจะปะทุอย่างรุนแรงจนส่งเถ้าถ่านขึ้นไปถึงชั้นสตราโตสเฟียร์ก็ตาม การปะทุนั้นก็ทำให้เกิดการเย็นตัวลงเป็นเวลาสั้น ๆ ในหนึ่งปีต่อมาเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น หลังจากสงครามนโปเลียนในยุโรป ผู้คนต่างก็สงสัยว่าเหตุใดภูมิอากาศถึงหนาวเย็นลงอยู่นานหลายปี สาเหตุนั้นมาจากการปะทุของภูเขาไฟตัมโบราในบริเวณของอินโดนีเซียในปัจจุบัน (ภาพที่ 1.3.9) เหตุการณ์แบบเดียวกันเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2526 หลังจากการปะทุของภูเขาไฟเอล ชิชอนในเม็กซิโก และในปี พ.ศ. 2535 หลังจากการปะทุของภูเขาไฟปินาตูโบในฟิลิปปินส์

หลังจากผ่านไปสองสามปีเถ้าถ่านเหล่านั้นก็สงบลง และภูเขาไฟต่าง ๆ ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลกจนกว่าการปะทุใหญ่ครั้งต่อไปส่งเถ้าถ่านขึ้นไปบนชั้นสตราโตสเฟียร์อีก

การปะทุครั้งใหญ่ ๆ แบบนี้เกิดไม่บ่อย และการปะทุส่วนใหญ่ที่ได้ยินกันมาก็ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลก ตัวอย่างเช่น การปะทุของภูเขาไฟที่มีชื่อเรียกยากอย่าง ‘เอยาฟัยด เลเอคึดล’ (Eyyafyad layëkyudl) ในไอซ์แลนด์ในปี พ.ศ. 2553 ได้พ่นเถ้าถ่านออกมาเยอะมาก แต่พวกมันเข้าสู่ชั้นบรรยากาศที่ต่ำลงมาเท่านั้น อากาศยานทั่วทั้งยุโรปต้องหยุดบิน แต่เถ้าถ่านก็สงบลงอย่างรวดเร็วและไม่แพร่กระจายไปทั่วโลก



ภาพที่ 1.3.9

ภูเขาไฟตัมโบราบนเกาะซัมบาวาในอินโดนีเซีย การปะทุครั้งมโหฬารในปี พ.ศ. 2358 ทำให้ยอดเขายุบตัวลง เกิดเป็นหลุมกว้างหกกิโลเมตรและลึกหนึ่งกิโลเมตร

กระแสน้ำในมหาสมุทร

เป็นที่ทราบกันว่าตอนที่ไวกิงชาวนอร์เวย์ค้นพบกรีนแลนด์เมื่อหนึ่งพันปีก่อนนั้นบังเอิญตรงกับช่วงอบอุ่นพอดี จึงมีการตั้งชื่อตามบรรดาผู้ค้นพบนับตั้งแต่นั้น แน่นอนว่าแม้แต่ในตอนนั้นกรีนแลนด์ก็ไม่ได้เขียวขจีไปหมด กล่าวคือ มีธารน้ำแข็งปกคลุมบริเวณส่วนใหญ่ของเกาะดังที่เป็นอยู่ทุกวันนี้ แต่แหลมทางตอนใต้นั้นไม่มีน้ำแข็งและค่อนข้างอบอุ่น สาเหตุนั้นเนื่องมาจากกระแสน้ำในมหาสมุทรที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เวลาที่กระแสน้ำแรงขึ้น ภูมิอากาศบนเกาะก็จะอบอุ่นขึ้นเล็กน้อย และเมื่อกระแสน้ำอ่อนลง เกาะก็จะหนาวเย็นลง พฤติกรรมนี้โดยกระแสน้ำของมหาสมุทรทำให้เกิดช่วงอบอุ่นขึ้นและหนาวเย็นลงในส่วนต่าง ๆ ของโลก



ภูมิอากาศของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปหลายครั้งในอดีต แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของดาวเคราะห์ดวงนี้ไม่เคยเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเท่าที่เป็นอยู่ในเวลานี้ นั่นก็คือ เกือบ 1.2 องศาเซลเซียส ภายใน 130 ปี ความเร็วที่ไม่เคยมีมาก่อนนี้ไม่ใช่กระบวนการทางธรรมชาติตามปกติ การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติที่รวดเร็วที่สุดใช้เวลาหลายแสนปีมาตลอด ซึ่งเมื่อเทียบกับช่วงชีวิตของมนุษย์แล้วถือว่าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก พิบัติภัยที่ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงในช่วงเวลาแค่หนึ่งหรือสองปีอาจจะเป็นเนื้อหาของภาพยนตร์วิบัติภัย แต่ปรากฏการณ์เช่นนี้ห่างไกลจากความเป็นจริงและห่างไกลจากการคาดการณ์ของนักวิทยาศาสตร์

คำถาม

1. ปัจจัยหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตลอดหลายพันล้านปีที่ผ่านมาคืออะไร

2. ไอศกรีมรสใดละลายช้าที่สุดเมื่อโดนแสงแดด วานิลลาขาวหรือช็อกโกแลตดำ เพราะเหตุใด เรื่องนี้แสดงถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนโลกอย่างไร

3. การเลื่อนครั้งใหญ่ของแผ่นธรณีภาคใดเกิดขึ้นเมื่อ 50 ล้านปีก่อนหรือ เหตุการณ์นี้ส่งผลกระทบต่อโลกปัจจุบันอย่างไร

4. นักวิทยาศาสตร์ใช้อะไรในการหาอุณหภูมิและองค์ประกอบทางเคมีของชั้นบรรยากาศตลอด 800,000 ปีที่ผ่านมา

5. ช่วงธารน้ำแข็งเกิดขึ้นเพราะสาเหตุใด

6. ช่วงธารน้ำแข็งครั้งล่าสุดจบลงเมื่อไร จะเกิดขึ้นอีกหรือไม่ เป็นไปได้ไหมที่จะเริ่มขึ้นปีหน้า

7. คนโบราณข้ามจากยูเรเซียไปอเมริกาอย่างไร พวกเขาไม่มีเรือ และความกว้างของช่องแคบเบริงตอนนี้อยู่ที่ 86 กิโลเมตร (คุณมองจากฝั่งหนึ่งไปไม่เห็นอีกฝั่งหนึ่ง)

8. ภูเขาไฟทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกร้อนขึ้นหรือเย็นลง





กิจกรรม

1

วางกระดาษลอกลายแผ่นหนึ่งลงบนแผนที่โลก ลอกเส้นขอบของแอฟริกาและอเมริกาใต้ จากนั้นก็ตัดลายที่ลอกไว้ออกมา ทวีปที่ถูกตัดออกมาเข้าด้วยกัน.

ดูเหมือนว่าทวีปทั้งสองเคยเป็นผืนแผ่นดินเดียวกันหรือไม่
แผ่นดินนั้นเรียกว่าอะไร เกิดอะไรขึ้นกับแผ่นดินนั้น
ปรากฏการณ์นี้ส่งผลต่อภูมิอากาศของโลกอย่างไร เพราะเหตุใด

2

การทดลอง
วัสดุอุปกรณ์: กระดาษแผ่นเล็ก ๆ สองแผ่น (สีขาวและสีดำ) ดินน้ำมันสองก้อน ยาว 4 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร

การทดลอง
นำกระดาษมาติดกาวเข้าด้วยกัน ให้ครึ่งซ้ายเป็นสีขาว และครึ่งขวาเป็นสีดำ น้ำก้อนดินน้ำมันมาติดเป็นมุมฉากกับด้านหลังของแผ่นกระดาษ ก้อนหนึ่งที่ฝั่งสีขาว อีกก้อนหนึ่งที่ฝั่งสีดำ ตั้งขอบกระดาษขึ้นและถือเอาไว้ใกล้กับโคมไฟ (แนะนำให้ใช้โคมไฟที่สว่างมาก) โคมไฟจะทำให้กระดาษส่องสว่าง

ดินน้ำมันก้อนใดร่วงลงมาก่อนเมื่อโคมไฟทำให้แผ่นกระดาษร้อนขึ้น เพราะเหตุใด จงยกตัวอย่างกระบวนการเดียวกันที่เกิดขึ้นบนโลก

3

คุณรู้แล้วว่าสภาพภูมิอากาศบนโลกในยุคของไดโนเสาร์นั้นอบอุ่นกว่าปัจจุบันนี้ เพื่อให้โลกอบอุ่นเหมือนตอนที่ไดโนเสามีชีวิตอยู่อีกครั้ง ทวีปแอนตาร์กติกาต้องเคลื่อนย้ายไปไกลจากขั้วโลกใต้มากพอจนน้ำแข็งบนทวีปละลายหมด

นำลูกแผนที่โลกมาคำนวณจากอัตราส่วนว่าทวีปแอนตาร์กติกาต้องเคลื่อนย้ายไปไกลกี่กิโลเมตรก่อนที่ศูนย์กลางของมันจะอยู่ที่เส้นรุ้ง 40 องศาใต้

สมมติว่าทวีปแอนตาร์กติกาเคลื่อนย้ายด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อปี จะต้องใช้เวลากี่ปีเพื่อให้การเคลื่อนย้ายของทวีปแอนตาร์กติกาเพียงอย่างเดียวทำให้โลกอบอุ่นขึ้นจนเพียงพอให้ไดโนเสาร์อยู่อาศัยบนโลกได้อีกครั้ง

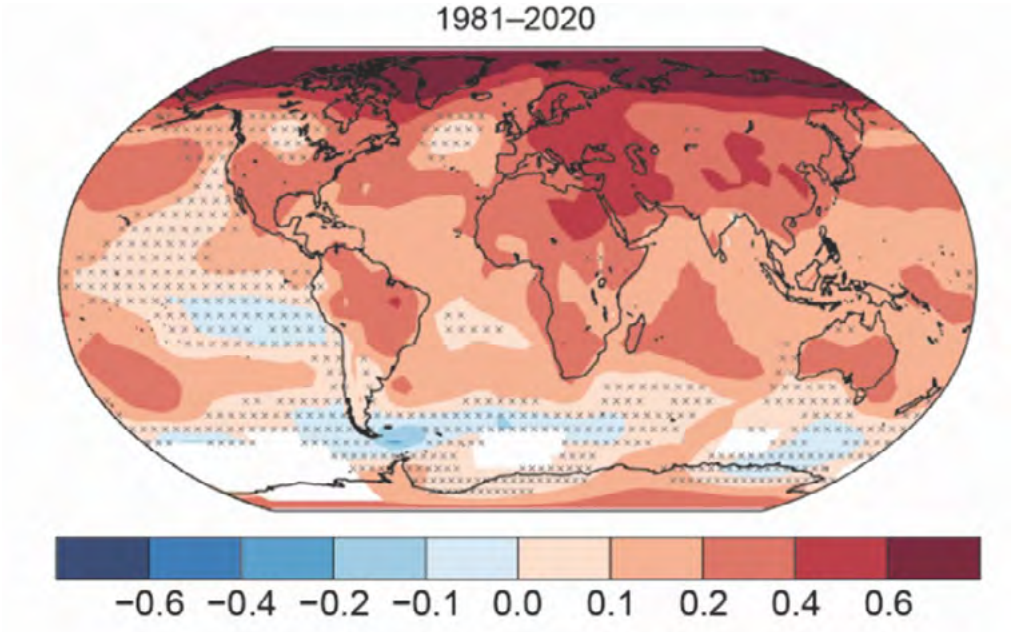
1.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน

ในช่วงคริสต์ศตวรรษล่าสุด อุณหภูมิบนโลกเริ่มสูงขึ้นในแบบที่อธิบายด้วยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติไม่ได้ ใน 130 ปี ดาวเคราะห์ดวงนี้อบอุ่นขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส! ตามรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC ตลอด 50 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิโลกได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนอย่างน้อยก็ใน 2,000 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิพื้นผิวโลกไม่เคยอบอุ่นกว่านี้ในรอบ 125,000 ปี การอบอุ่นขึ้นที่สังเกตได้และที่คาดการณ์ไว้มีความรุนแรงบนแผ่นดินมากกว่าในมหาสมุทร และรุนแรงที่สุดในเขตอาร์กติก

บริเวณต่าง ๆ มากมายทั่วโลกอบอุ่นขึ้นมาตลอดตั้งแต่ในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1980 รวมถึงบริเวณเอเชียกลางและเอเชียตะวันออกที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 0.3-0.5 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ แถบเอเชียทั้งหมดได้เห็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นคงที่ตลอดคริสต์ศตวรรษที่ผ่านมา โดยที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้อบอุ่นขึ้นอย่างน่าสังเกต

รายงานปี พ.ศ. 2566 ของคณะกรรมการ IPCC แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิประจำปีเฉลี่ยในแถบนี้กำลังเพิ่มสูงขึ้นในอัตรา 0.14-0.20 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษนับตั้งแต่คริสต์ทศวรรษ 1960 แม้ว่าบันทึกเท่าที่สังเกตได้นั้นมีน้อยก็ตาม อุณหภูมิที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเหนือพื้นดินในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ในช่วง 0.8-3.2 องศาเซลเซียส ภายในปี พ.ศ. 2643 โดยวันที่อากาศร้อนและคืนที่อบอุ่นในภูมิภาคนี้มีแนวโน้มเกิดขึ้นบ่อยขึ้น ขณะที่จำนวนวันที่อากาศเย็นและคืนที่หนาวเย็นกำลังลดลง

ภาพที่ 1.4.1 **แผนที่แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายทศวรรษในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก (ระหว่างปี พ.ศ. 2524-2563 และ พ.ศ. 2393-2443)**



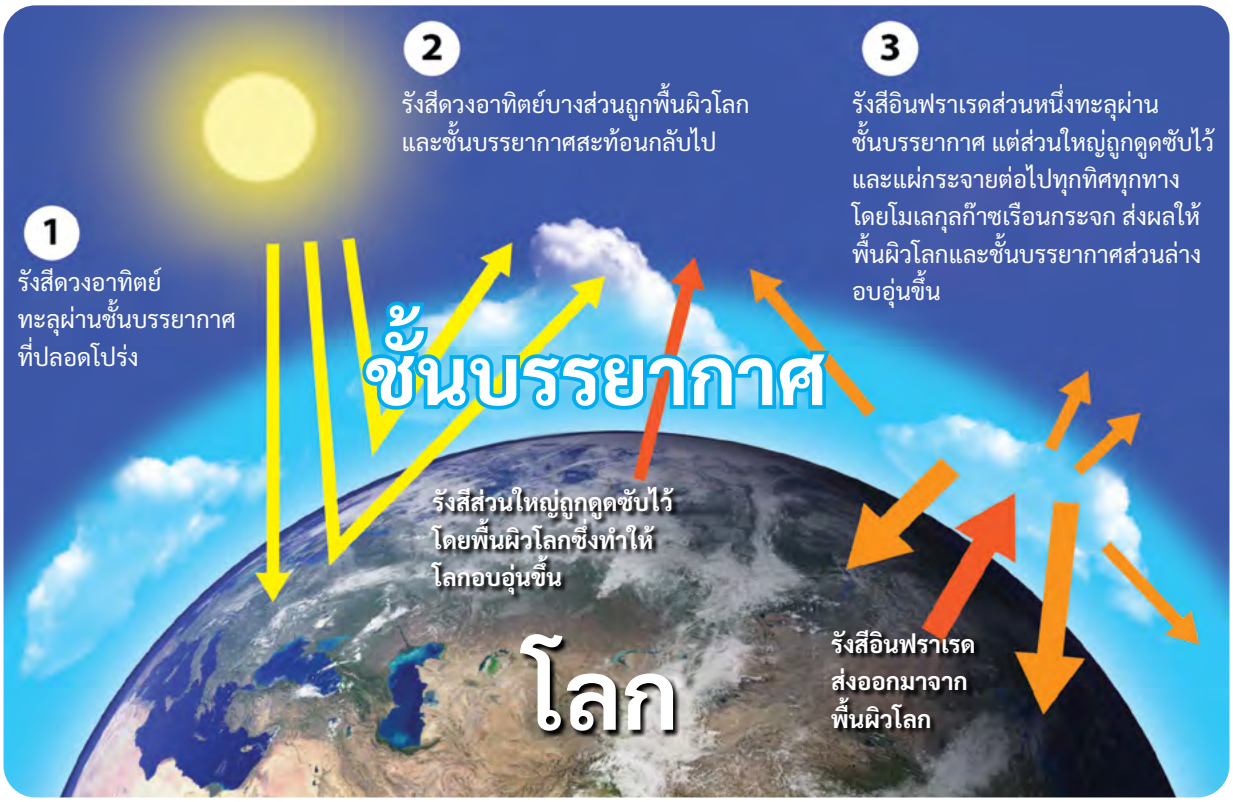
แนวโน้ม (องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ)

นักวิทยาศาสตร์อธิบายว่าอุณหภูมิโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันนั้นมาจากสิ่งที่เรียกว่า ‘ปรากฏการณ์เรือนกระจก’ ที่เพิ่มสูงขึ้น

ปรากฏการณ์เรือนกระจก

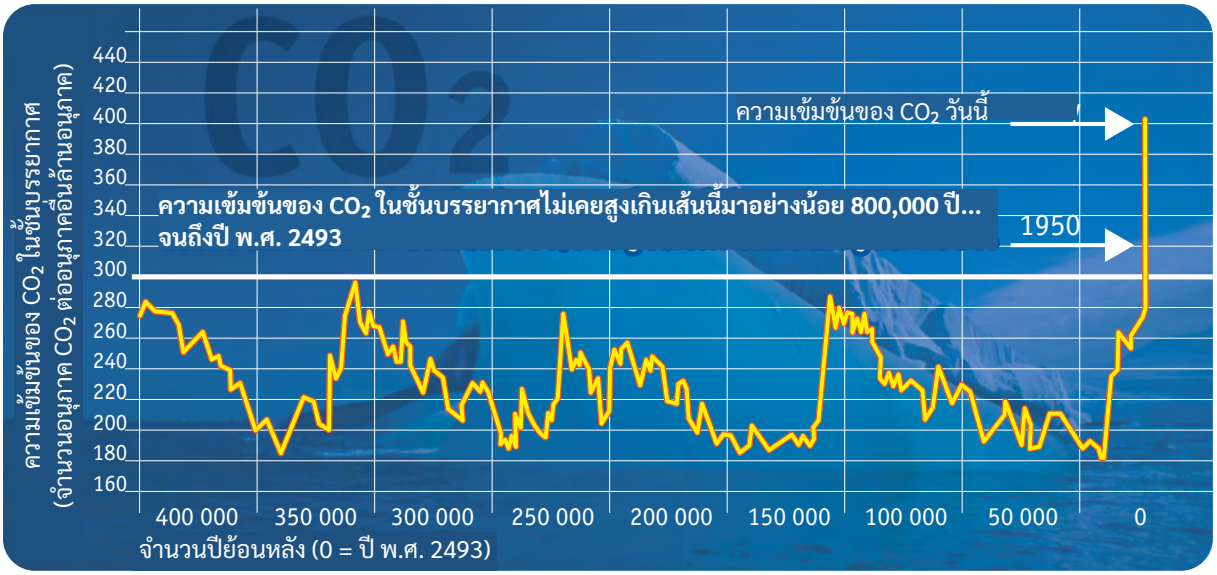
ปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นกระบวนการที่ก๊าซ ฝุ่น และไอน้ำในชั้นบรรยากาศดูดซับความร้อนของโลกและขัดขวางความร้อนที่สะท้อนมาจากพื้นผิวโลก ตอนแรกที่นักวิทยาศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์นี้เมื่อ 200 ปีก่อน พวกเขาให้ข้อสังเกตถึงการที่ชั้นบรรยากาศของโลกทำตัวเหมือนเรือนกระจกที่ใช้ปลูกผัก ดังนั้นก๊าซที่ดูดซับรังสีความร้อนของโลกจึงถูกเรียกว่า ‘ก๊าซเรือนกระจก’ ก๊าซเรือนกระจกหลักในชั้นบรรยากาศคือคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ (เพื่อให้เข้าใจง่าย จะเรียกพวกมันตามสูตรเคมี CO_2 CH_4 และ N_2O) และก๊าซอื่น ๆ รวมถึงไอน้ำด้วย พวกมันขัดขวางรังสีอินฟราเรดจากพื้นผิวโลก ผลก็คือชั้นบรรยากาศด้านล่างอบอุ่นขึ้น หากไม่มีปรากฏการณ์เรือนกระจก อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกก็จะไม่สูง +14 องศาเซลเซียสอย่างตอนนี้ แต่เป็น -19 องศาเซลเซียส ความร้อนของโลกย่อมจะกระจัดกระจายไปสู่อวกาศโดยไม่ทำให้ชั้นบรรยากาศอบอุ่นขึ้น สิ่งนี้จะทำให้การมีสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นเรื่องยาก

ภาพที่ 1.4.2 สมดุลพลังงานของโลกและปรากฏการณ์เรือนกระจก



นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์เอาไว้นานแล้วว่าด้วยการผลิตและเผาถ่านหิน น้ำมัน และแก๊ส มนุษย์จะปล่อย CO_2 และ CH_4 ปริมาณมากออกมา ทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกรุนแรงขึ้น ในกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 การคาดการณ์ได้รับการยืนยันว่าความเข้มข้นของก๊าซเหล่านี้ทั่วโลกได้เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 1.4.3)

ภาพที่ 1.4.3 **ความเข้มข้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศตลอด 400,000 ปีที่ผ่านมา**



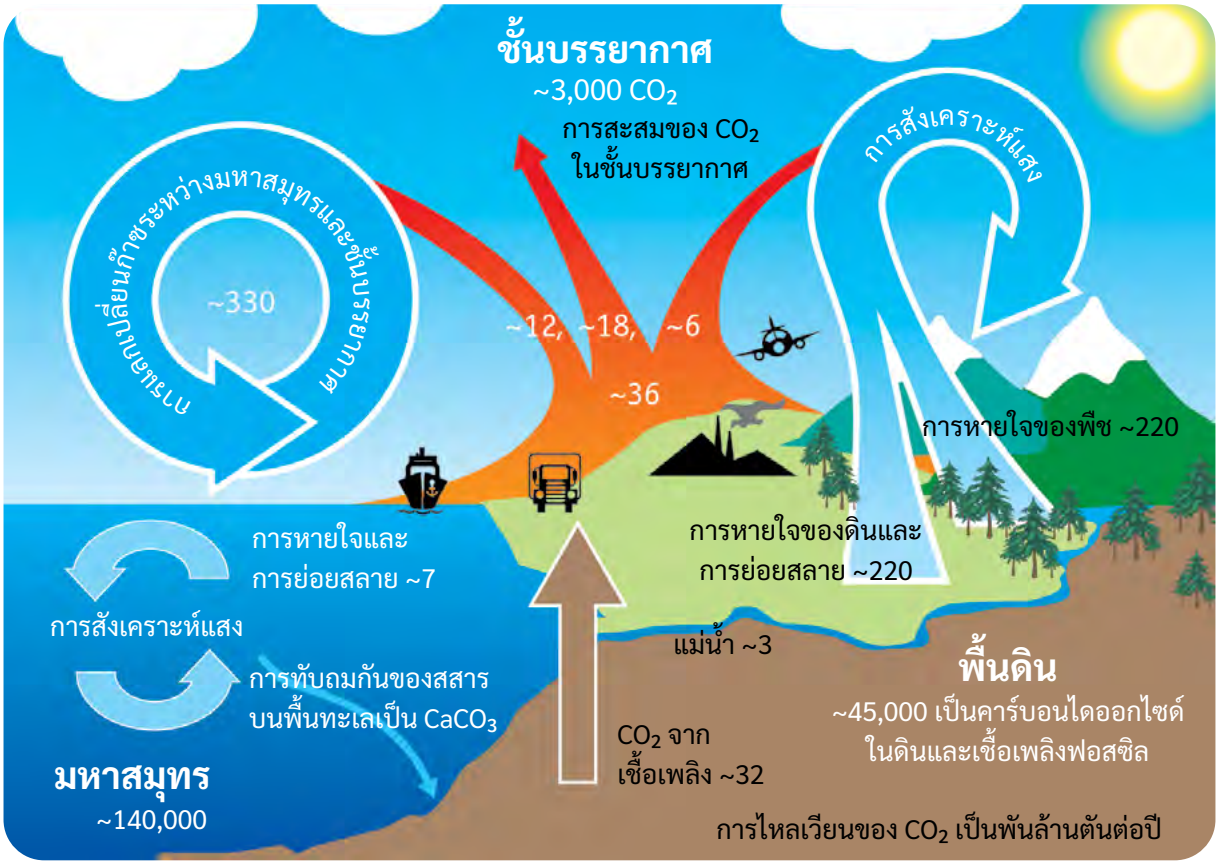
ก๊าซเรือนกระจก เป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ผลจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก และพัฒนาการของการขนส่งและการทำลายป่า ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ได้ทำลายสถิติสูงที่สุดในรอบ 800,000 ปี ความเข้มข้นตามธรรมชาติของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศแตกต่างกันออกไปตลอดประวัติศาสตร์ระหว่าง 180 ถึง 300 ppm (ส่วนต่อล้าน) อนุภาคอื่น การวิเคราะห์ครั้งล่าสุดในการสังเกตการณ์จากองค์การอุตินิยมวิทยาโลก (WMO) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกสำหรับ CO_2 CH_4 และ N_2O ได้ทำลายสถิติสูงสุดในปี พ.ศ. 2565 โดยที่ CO_2 อยู่ที่ 418 ppm CH_4 อยู่ที่ 1923 ppb (ส่วนต่อพันล้าน) และ N_2O อยู่ที่ 336 ppb ค่าเหล่านี้แสดงถึงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 150, 264 และ 124 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม แนวคิดที่ว่ากิจกรรมของมนุษย์เสริมความรุนแรงของปรากฏการณ์เรือนกระจกถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ซวานเต อาร์เรเนียส (Svante Arrhenius) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2439

ความเข้มข้นของ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เพียงเท่านั้นหรือเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ

กระบวนการทางธรรมชาติอย่างการหายใจในสิ่งมีชีวิต การย่อยสลาย การแลกเปลี่ยนระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศ กิจกรรมภูเขาไฟ และไฟป่าที่ปล่อย CO_2 เข้าไปในชั้นบรรยากาศ และมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคาร์บอนของโลก (ภาพที่ 1.4.4) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ไอโซโทปเผยว่าการเพิ่มขึ้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศเมื่อไม่นานมานี้ เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก อย่างเช่นการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีองค์ประกอบทางโมเลกุลที่แตกต่างอย่างชัดเจนจาก CO_2 ที่ปล่อยออกมาโดยกระบวนการทางธรรมชาติเหล่านี้.

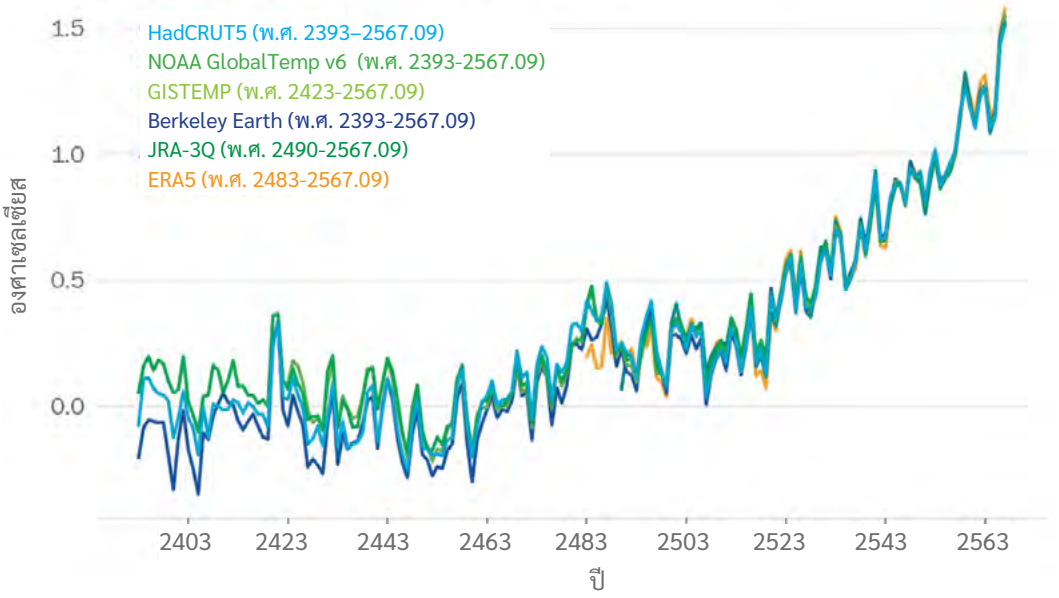
การวิเคราะห์ไอโซโทป (Isotope)
อะตอมของสารชนิดเดียวกันอาจมีจำนวนอนุภาคบางชนิดที่เรียกว่านิวตรอนแตกต่างกัน จำนวนนิวตรอนในอะตอมบ่งชี้ว่า CO_2 ในชั้นบรรยากาศมาจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตหรือจากการเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ

ภาพที่ 1.4.4 วัฏจักร CO_2 ในธรรมชาติ

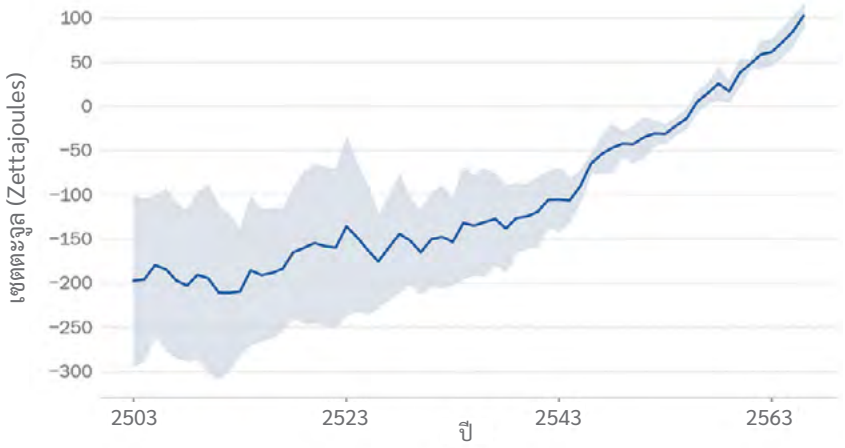


มหาสมุทร ป่าไม้ และดินของโลก 'ช่วยเหลือ' มนุษย์ด้วยการดูดซับ CO_2 เอาไว้ครึ่งหนึ่งจากทั้งหมด แต่อีกครึ่งหนึ่งก็ยังคงสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ (ภาพที่ 1.4.4) และเพิ่มปรากฏการณ์เรือนกระจกให้มากขึ้น สิ่งนี้ทำให้ชั้นบรรยากาศ (ภาพที่ 1.4.5) และต่อมาคือมหาสมุทรอบอุ่นขึ้น (ภาพที่ 1.4.6) การเพิ่มขึ้นของ CO_2 ในระดับโลกหมายความว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2393 ถึงปี พ.ศ. 2566 (ภาพที่ 1.4.5) แสดงถึงการค้นพบขององค์การ WMO ตามข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ ว่าเก้าปีที่ผ่านมาระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึงปี 2566 เป็นช่วงปีที่อบอุ่นที่สุดที่มีการบันทึกไว้ แนวโน้มที่คล้ายคลึงกันนี้สามารถสังเกตได้ในมหาสมุทร นอกจากนี้ ผู้คนยังได้ตัดไม้ทำลายป่าไปเป็นจำนวนมาก ทำให้ความสามารถของป่าในการดูดซับ CO_2 จากชั้นบรรยากาศลดลงเมื่อเทียบกับในอดีต

ภาพที่ 1.4.5 **การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกระหว่างปี พ.ศ. 2393 ถึงปี พ.ศ. 2567 ตามที่แสดงโดยศูนย์อุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ**



ภาพที่ 1.4.6 **การเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนในมหาสมุทรระหว่างปี พ.ศ. 2498 ถึงปี พ.ศ. 2563**



หมายเหตุ: ปริมาณความร้อนในมหาสมุทรคือความร้อนที่มหาสมุทรดูดซับและกักเก็บไว้

มหาสมุทรมีบทบาทสำคัญที่สุดในการกำหนดรูปแบบสภาพภูมิอากาศของโลก มหาสมุทรมีพลังงานของระบบภูมิอากาศของโลกมากกว่าร้อยละ 90 ถ้ามีเพียงอุณหภูมิชั้นบรรยากาศเท่านั้นที่เพิ่มสูงขึ้นโดยไม่รวมถึงอุณหภูมิของมหาสมุทร ก็จะมีเหตุให้วิตกกังวลน้อยลงมาก นี่ย่อมหมายความว่าองค์ประกอบหลักในระบบภูมิอากาศยังคงไม่ได้รับผลกระทบน่าเสียดายที่อุณหภูมิของมหาสมุทรก็เพิ่มสูงขึ้นทุกปีเช่นกัน การประมาณการประจำปีสำหรับการอบอุ่นขึ้นของมหาสมุทรในระดับความลึก 2,000 เมตรแรก ระหว่างปี พ.ศ. 2498 ซึ่งเป็นปีที่เริ่มมีการบันทึกข้อมูลสมัยใหม่ และปี พ.ศ. 2566 (ภาพที่ 1.4.6) แสดงค่าเฉลี่ยในช่วงห้าปี ตัวอย่างเช่น ค่าของปี พ.ศ. 2563 คือค่าเฉลี่ยของปี พ.ศ. 2561-2565 ดังนั้น นักภูมิอากาศวิทยาจึงเชื่อว่าการเกิดฤดูหนาวที่หนาวจัดหรือแม้แต่การเย็นลงของอากาศทั่วทั้งโลก ไม่สามารถบ่งชี้ถึงการหยุดชะงักของภาวะโลกร้อนได้ เพราะปริมาณความร้อนในระบบภูมิอากาศของโลกยังคงเพิ่มขึ้นปีแล้วปีเล่า โดยส่วนใหญ่การเพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นในมหาสมุทร

ละอองลอย (Aerosols) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมากต่อสภาพภูมิอากาศ ละอองลอยคือ อนุภาคขนาดเล็กที่มีหลายรูปแบบ พวกมันอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ควันจากไฟป่า ก๊าซจากภูเขาไฟ หรือละอองน้ำเค็มจากทะเล กิจกรรมของมนุษย์ก็สามารถสร้างละอองลอยได้เช่นกัน เช่น อนุภาคจากมลพิษทางอากาศหรือเขม่า

ภาพที่ 1.4.7 ละอองลอยที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์



บทบาทของละอองลอยในวิทยาศาสตร์ภูมิอากาศนั้นซับซ้อน โดยทั่วไปอนุภาคที่มีสีอ่อนในชั้นบรรยากาศจะสะท้อนแสงแดดที่มากระทบและทำให้เกิดการเย็นลง ละอองลอยสีอ่อนก่อตัวจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งปล่อยออกมาจากการปะทุของภูเขาไฟ ซึ่งรวมตัวเข้ากับน้ำในชั้นบรรยากาศและก่อตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่สามารถลอยไปได้รอบโลกและยังคงอยู่ในอากาศอีกนานสองถึงสามปี การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลปล่อยอนุภาคซัลเฟตและ SO_2 ซึ่งสามารถสะท้อนแสงแดดและทำให้ชั้นบรรยากาศเย็นลงได้เหมือนกับละอองลอยจากภูเขาไฟ อนุภาคสีเข้มดูดซับแสงแดดและทำให้ชั้นบรรยากาศอบอุ่นขึ้น ตัวอย่างของอนุภาคสีเข้มก็คือเขม่าซึ่งเกิดจากอนุภาคของคาร์บอนจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม้ หรือสสารจากพืช เนื่องจากอนุภาคต่างประเภทกันทำให้เกิดผลกระทบต่างกัน ละอองลอยจึงเป็นหัวข้อร้อนในการค้นคว้าวิจัยด้านสภาพภูมิอากาศ

หากไม่มีมลพิษละอองลอย โลกจะอบอุ่นกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้ 0.4 องศาเซลเซียสเมื่ออ้างอิงจากรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC ปี พ.ศ. 2564 นี่เปรียบเทียบกับความร้อนที่มาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณการที่ราว ๆ 1.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นกิจกรรมของมนุษย์จึงทั้งทำให้โลกร้อนขึ้นและเย็นลง แต่ผลกระทบของมันที่เกิดกับภาวะโลกร้อน (ด้วยการทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกรุนแรงขึ้น) ใหญ่โตกว่าปรากฏการณ์ทำให้เย็นลงของละอองลอยถึงสามเท่า เพราะฉะนั้นจึงชอบด้วยเหตุผลทุกประการที่จะกล่าวว่า ‘การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ’ นั้นเกิดจากน้ำมือมนุษย์

นับตั้งแต่คริสต์ทศวรรษที่ 1970 มิคาอิล บูดีโก (Mikhail Budyko) นักภูมิอากาศที่พยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้อย่างถูกต้องแม่นยำ ได้คาดการณ์ว่ามนุษย์จะเผชิญปัญหานับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่ใหม่และ ‘แปลก’ ในสภาพภูมิอากาศ เขาคาดการณ์ไว้ถูกต้อง

นับตั้งแต่ช่วงเวลาที่ผู้คนเริ่มเผาถ่าน อุณหภูมิอากาศบนพื้นผิวโลกได้เพิ่มสูงขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส โดยที่ 0.85 องศาเซลเซียสของการเพิ่มสูงขึ้นนั้นเกิดขึ้นใน 50 ปีที่ผ่านมา (ภาพที่ 1.4.5) มองเผิน ๆ การเปลี่ยนแปลงนี้ดูเล็กน้อย และดูไม่มีพิษมีภัยอะไร แต่ต้องจำไว้ว่านี่เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของโลกทั้งใบ ในทุกฤดูกาลของปี การเปลี่ยนแปลงในบางสถานที่สูงกว่านั้นมาก นักวิทยาศาสตร์พบว่าขั้วโลกอุณหภูมิสูงขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของทั้งโลก เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า **'การอุ่นขึ้นของขั้วโลกอย่างรวดเร็ว' (Polar amplification)** ปรากฏการณ์นี้พบเห็นได้แล้วในเขตอาร์กติก ซึ่งอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของโลกเกือบสี่เท่าในช่วงสี่ทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้แสดงให้เห็นว่าเขตแอนตาร์กติกกำลังอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของโลกถึงสองเท่า

ทางตอนเหนือบางส่วนของยุโรป อเมริกาเหนือ และเอเชีย ฤดูหนาวมีความหนาวเย็นลงและไม่อบอุ่นขึ้น เมื่อดูเป็นรายสัปดาห์หรือรายเดือน พบว่าอุณหภูมิอาจจะอบอุ่นขึ้น 10 องศาเซลเซียสนานสองถึงสามสัปดาห์ จากนั้นในครึ่งที่สองของคริสต์ศตวรรษที่ 20 บริเวณเหล่านั้นก็หนาวเย็นลงกว่าค่าเฉลี่ยของเวลานั้นของปีในภูมิภาคนั้น 9 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิโดยรวมอบอุ่นขึ้น 1-2 องศาเซลเซียส สิ่งที่น่าตกใจที่สุดไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงโดยรวม แต่เป็นการที่สภาพอากาศแปรปรวนขึ้นมาก กับทั้งลมพายุ ฝนตกหนัก และหิมะตก

สภาพอากาศในอดีตไม่ได้มีพฤติกรรมแปลก ๆ ด้วยหรอกหรือ แน่นอนว่ามี อเล็กซานเดอร์ พุชกิน (Alexander Pushkin) กวีชาวรัสเซียผู้โด่งดังเขียนไว้ใน *'ยูจีน โอเนกิน' (Eugene Onegin)* งานชิ้นเอกของเขาว่า

"ในปีนั้น ฤดูใบไม้ร่วงยังเยื้องย่าง
ละลานหลา ท้องทุ่ง มิยอมลา
ธรรมชาติเฝ้ารอ อย่างเหว่ว้า
เหมันต์ช้า ยังรั้งหิมะโรย
จนราตรี วันที่สาม มกราคม..."

พุชกิน (Pushkin) ใช้ปฏิทินจูเลียน 'สไตล์เก่าแก่' ของรัสเซีย ดังนั้น 3 มกราคมของเขาจึงเป็น 20 ธันวาคมตามปัจจุบัน แต่นั่นก็ยังช้ามากสำหรับหิมะแรกในส่วนกลางของรัสเซียฝั่งยุโรป ซึ่งหิมะเริ่มตกในปลายเดือนตุลาคม

ภาพที่ 1.4.8 ***ทาเทียนานั่งอยู่บนเตียง ฤดูหนาว***
ภาพวาดจาก 'ยูจีน โอเนกิน' (Eugene Onegin) โดย ดี เบลยูกิน (D. Belyukin)
(รัสเซีย พ.ศ. 2542)



ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 ก็มีวันที่อากาศอบอุ่นในระหว่างฤดูหนาว และอากาศอาจเย็นลงเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ในช่วงฤดูร้อน อีกทั้งมีพายุ น้ำท่วม หิมะตกหนัก ภัยแล้ง และมีกระทั่งปรากฏการณ์ฝนเยือกแข็ง ซึ่งทำให้ทุกอย่างถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็งหนา

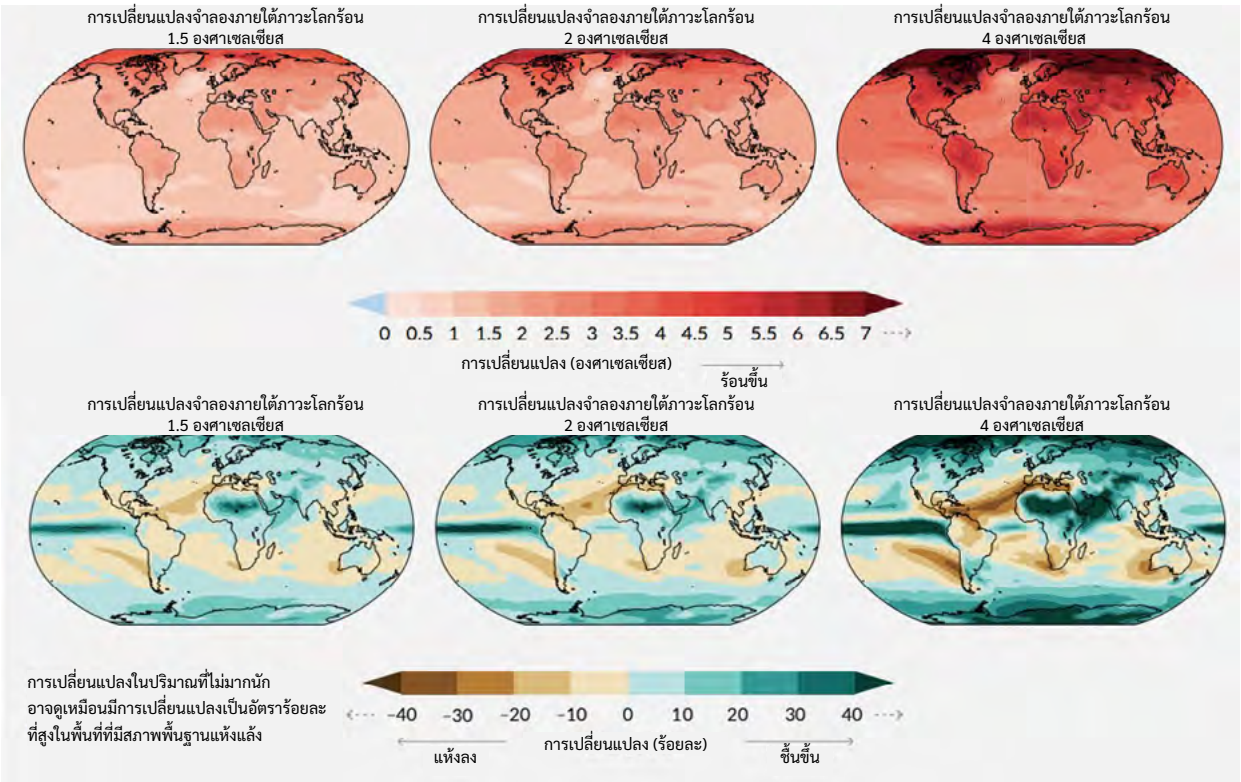
ประเด็นสำคัญคือปรากฏการณ์ธรรมชาติอันเป็นอันตรายเหล่านี้เกิดถี่ขึ้น และจะเกิดถี่ยิ่งขึ้นอีกในอนาคต มนุษย์จะต้องเผชิญหน้ากับช่วงเวลาที่อากาศหนาวยะเยือก แม้ว่าในระยะยาว ช่วงที่หนาวเย็นจะเริ่มมีน้อยลง ภาวะโลกร้อนอาจมีผลทางบวกบ้างบางประการ แต่ในปัจจุบันจะเห็นผลกระทบในทางลบเสียมากกว่า

นักวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศวิทยา (climatologist) ใช้แบบจำลองสภาพอากาศในคอมพิวเตอร์ (computer model) ซึ่งพิจารณาผลกระทบทั้งหมด (ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากมนุษย์) เพื่ออธิบายสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบันและพยากรณ์สิ่งที่อาจเกิดขึ้นตลอดคริสต์ศตวรรษที่ 21 อุณหภูมิโลกอาจเพิ่มขึ้นอย่างมากในคริสต์ศตวรรษนี้ โดยขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หากสถานการณ์ไม่แย่นัก อุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงจากช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 แค่ 1.5-2 องศาเซลเซียส แต่ในกรณีที่เลวร้ายที่สุด อุณหภูมิอาจสูงขึ้นถึง 5 องศาเซลเซียส โดยคาดการณ์ว่ายุโรปเหนือจะมีภูมิอากาศอุ่นขึ้นเร็วกว่าที่อื่น นอกจากนี้ อุณหภูมิในบริเวณขั้วโลกเหนือยังสูงขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยโลกถึงสี่เท่าในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มว่าอุณหภูมิจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นอีกอย่างชัดเจนในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 ปัจจัยดังกล่าวจะมีผลอย่างมากต่อปริมาณฝน ระดับน้ำทะเล รวมถึงความถี่ในการเกิดและความรุนแรงของปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้วต่าง ๆ คริสต์ศตวรรษที่ 21 จะจบลงอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับการกระทำของมนุษย์ และสิ่งที่ทำในปัจจุบัน แน่นอนว่าอิทธิพลของดวงอาทิตย์ ภูเขาไฟ กระแสน้ำในมหาสมุทร และกระบวนการทางธรรมชาติอื่น ๆ ล้วนมีความสำคัญต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเช่นกัน แต่กระบวนการธรรมชาติดังกล่าวมักก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ และไม่มีบทบาทมากนักในระยะยาว

นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อนเพียงเสี้ยวองศา ก็สามารถนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วฉับพลัน ทั้งต่ออุณหภูมิเฉลี่ยในภูมิภาค ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในดิน นักวิทยาศาสตร์ใช้ฐานข้อมูลสถานการณ์สมมตินับพันสถานการณ์เพื่อประเมินว่าภาวะโลกร้อนจะมีผลอย่างไรต่อตัวบ่งชี้ภูมิอากาศต่าง ๆ เช่นอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในดิน ด้วยความที่แบบจำลองสภาพอากาศที่ใช้ทั่วโลกพัฒนาขึ้นมาก นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถประเมินผลกระทบในภูมิภาคได้อย่างแม่นยำขึ้น

ปัจจุบัน การศึกษาจากแบบจำลองตัวอย่างทำให้รู้ถึงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี ซึ่งเกิดจากการที่อุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ยสูงขึ้น 1.5, 2 และ 4 องศา (รูป 1.4.9) การศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อุณหภูมิในบริเวณพื้นดินสูงขึ้นมากกว่าบริเวณมหาสมุทร และอุณหภูมิที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้สูงขึ้นเร็วกว่าบริเวณเขตร้อน ผลการศึกษายังชี้ว่า ปริมาณฝนอาจเพิ่มขึ้นในพื้นที่สูงและพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณเส้นศูนย์สูตร แต่จะลดลงในพื้นที่กึ่งเขตร้อน (sub-tropics) และในบริเวณเขตร้อนบางพื้นที ผลคือ จะมีแนวโน้มเกิดน้ำท่วมสูงขึ้นในพื้นที่มรสุมเช่นเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียตะวันออกในช่วงฤดูมรสุม ในทางกลับกัน ประชากรกว่า 411 ล้านคนใน 330 เมืองทั่วทวีปเอเชียก็เผชิญกับความเสี่ยงภัยเลี้ยงในช่วงฤดูแล้ง นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่าระบบภูมิอากาศจะเปลี่ยนแปลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากภาวะโลกร้อน ความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้แก่ภาวะน้ำทะเลเป็นกรด น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ละลาย และระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น

ภาพที่ 1.4.9 **ความเปลี่ยนแปลงที่คำนวนโดยแบบจำลองภูมิอากาศ แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (ภาพบน หน่วยเป็นองศาเซลเซียส) และปริมาณน้ำฝนรายปี (ภาพล่าง แสดงเป็นร้อยละ) โดยเทียบกับอุณหภูมิโลกเฉลี่ยซึ่งสูงขึ้น 1.5 องศาเซลเซียส 2 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียสระหว่างปี พ.ศ. 2393 ถึงปี 2443**



ด้วยเหตุนี้ นักวิทยาศาสตร์จำนวนมากจึงเห็นตรงกันว่ามนุษย์เป็นปัจจัยที่ใหญ่ที่สุดที่ทำให้สภาพภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลงไปในช่วง 70 ปีที่ผ่านมา (ตั้งแต่ช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 เป็นต้นมา) และยังจะเป็นเช่นนั้นต่อไปในอีกศตวรรษข้างหน้า นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำถึงความจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในคริสต์ทศวรรษปัจจุบัน เพื่อให้ยังมีโอกาสควบคุมให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 2 องศาและ 1.5 องศาเซลเซียส

ผลกระทบที่ใหญ่ที่สุดที่มนุษย์มีต่อระบบภูมิอากาศนั้นมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของพลังงานฟอสซิลต่าง ๆ ทั้งถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้า การขนส่ง อุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน จะช่วยลดผลกระทบของมนุษย์ต่อสภาพภูมิอากาศ แต่การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่สร้างผลกระทบดังกล่าว การตัดไม้ทำลายป่ายังเป็นอีกปัจจัยที่สร้างผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศอย่างมาก ด้วยความที่ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ ก๊าซมีเทนรั่วไหลจากท่อส่งก๊าซ หลุมฝังกลบของเสียที่บริหารจัดการไม่เหมาะสม และการใช้ก๊าซสังเคราะห์ชนิดใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรมล้วนการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกในปริมาณมาก นี่คือเหตุผลที่ทำให้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องที่แก้ไขได้ยาก จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงสังคมและเศรษฐกิจโลกทั้งหมด ให้กลายเป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ระบบดังกล่าวสามารถดำเนินไปเพื่อประโยชน์ของทั้งมนุษย์และโลก นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำถึงความจำเป็นเร่งด่วนของการเปลี่ยนแปลงนี้ เพื่อให้ยังมีโอกาสอยู่บ้างในการทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่และปลอดภัย

คำถาม

1 ในอดีตมีภาวะโลกร้อนหรือไม่ เกิดขึ้นได้อย่างไร

2 ทำไมอุณหภูมิโลกจึงสูงขึ้นมากในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา

3 สาเหตุที่คาร์บอนไดอ็อกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีความเข้มข้นสูงขึ้น เป็นเพราะสาเหตุตามธรรมชาติ หรือเพราะการกระทำของมนุษย์
สาเหตุมีการพิสูจน์แล้วหรือยัง

4 รู้ได้อย่างไรว่ามนุษย์ทั้งทำให้โลกทั้งร้อนขึ้นและเย็นลง
มนุษย์สร้างผลกระทบด้านใดมากกว่า

5 อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นกี่องศาในช่วง 130 ปีที่ผ่านมา
ทวีปเอเชียได้รับผลกระทบมากกว่าหรือน้อยกว่าโลกในภาพรวม





กิจกรรม

หาขอนไม้หนา ๆ ที่เลื่อยตามขวาง หรือตอไม้ขนาดใหญ่

ให้ลองดูที่วงปีที่เนื้อไม้ จะเห็นว่ามีบางวงที่แคบกว่าวงอื่น

วงปีที่แก่ที่สุดคือวงที่อยู่กลางขอนไม้หรือตอไม้ และวงที่ใหม่ที่สุดคือวงที่อยู่ตามขอบ

หากวงปีกว้างแสดงว่าปีนั้นอากาศอุ่น และหากวงปีแคบแสดงว่าปีนั้นอากาศหนาวเย็น

ลองนับว่าช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีปีที่อากาศอุ่นกี่ปีและปีที่อากาศหนาวเย็นกี่ปี





2

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร

มีความเป็นไปได้ในการปรับตัวต่อผลกระทบที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือไม่

2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร

มีความเป็นไปได้ในการปรับตัวต่อผลกระทบที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือไม่

ทุกสิ่งในโลกธรรมชาติล้วนเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน ความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในโลกธรรมชาติก็สามารถนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงที่ใหญ่หลวงอื่น ๆ ได้อีกมากมาย ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิโลกสูงขึ้น จึงจะได้เห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลกระทบหลายประการ ทั้งการที่ระดับน้ำทะเลกำลังเพิ่มสูงขึ้น ธารน้ำแข็งและน้ำแข็งขั้วโลกกำลังละลาย เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วต่าง ๆ (เช่น คลื่นความร้อน เฮอริเคน พายุ น้ำท่วม และภัยแล้ง) เกิดถี่ขึ้นและรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี โรคระบาดอันตรายสายพันธุ์ใหม่ ๆ และสัตว์รังควานปลละศัตรูพืชนานาชนิดเริ่มปรากฏขึ้นในพื้นที่ที่ไม่เคยมีมาก่อน ผลกระทบเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสายพันธุ์พืชและสัตว์ซึ่งไม่สามารถปรับตัวรับความเปลี่ยนแปลงอันฉับพลันได้ทันท่วงที เหตุการณ์เหล่านี้ยังก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจและสร้างความเสี่ยงต่อสุขภาพและกระทั่งชีวิตของมนุษย์อีกด้วย







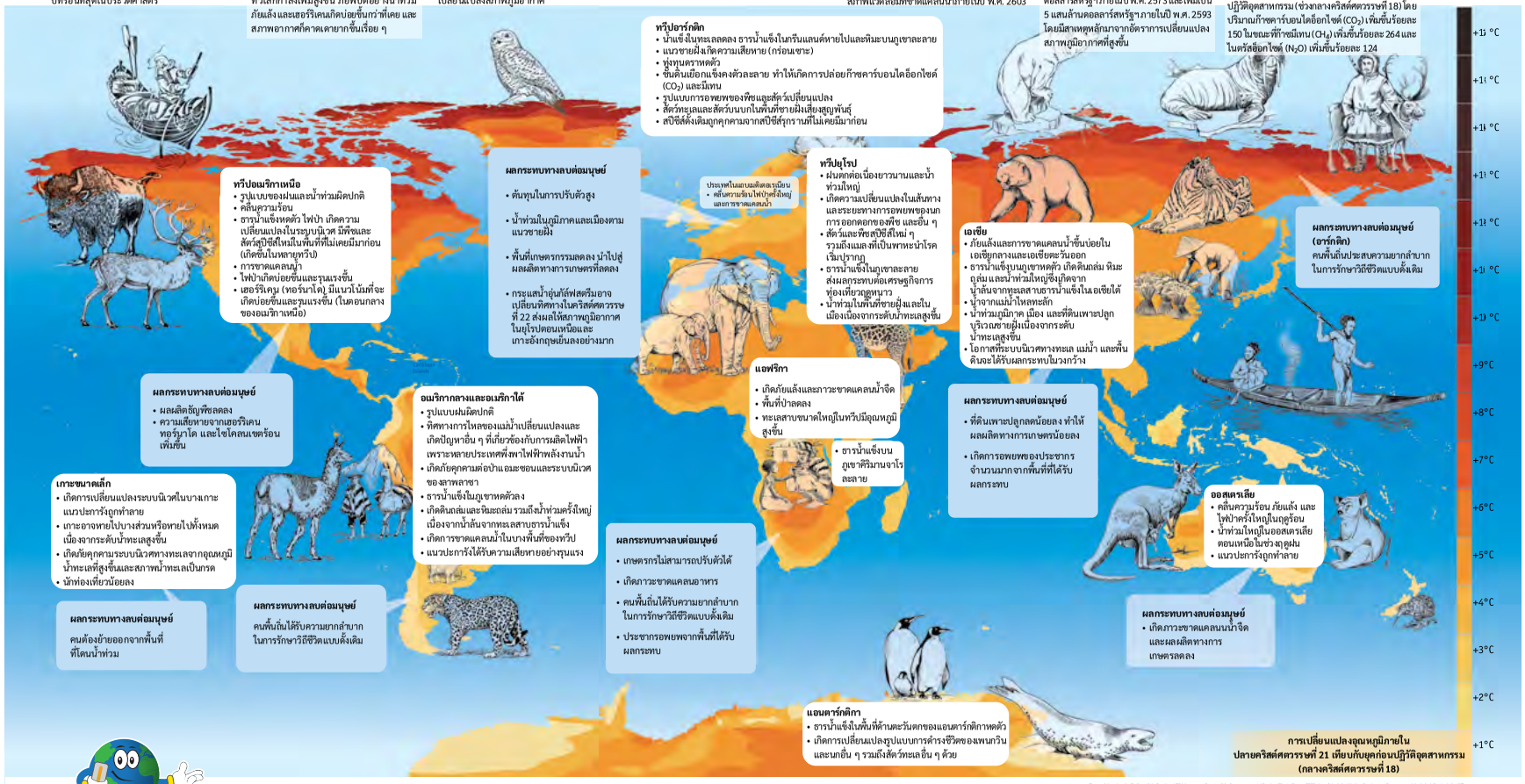


ผลการศึกษาล่าสุดจากรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจนำไปสู่ผลกระทบที่รุนแรงยิ่งขึ้นทั้งต่อมนุษย์และโลกธรรมชาติในอนาคต นักวิทยาศาสตร์สรุปว่า สำหรับทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก 0.1 องศาเซลเซียส ผลกระทบจะยิ่งทวีความรุนแรง และความเสี่ยงจะสูงขึ้นตามลำดับ (ภาพที่ 2.1) ด้วยเหตุนี้ เลขาธิการสหประชาชาติ (UN) นายอันโตนิโอ กูเตอร์เรส (António Guterres) จึงเรียกรายงานฉบับนี้ว่า ‘สัญญาณเตือนขั้นวิกฤตของมนุษยชาติ’ (a code red for humanity) ในทางกลับกัน ทุก ๆ 0.1 องศาเซลเซียส ที่สามารถป้องกันไม่ให้โลกร้อนขึ้นได้ ย่อมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจำกัดความเสียหายในอนาคต

ความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งประเมินโดยคณะกรรมการ IPCC และสรุปโดยสถาบันทรัพยากรโลก (World Resources Institute) (ภาพที่ 2.2) แสดงให้เห็นเช่นเดียวกันว่า แม้การจำกัดอุณหภูมิเฉลี่ยโลกไว้ที่ 1.5 องศาเซลเซียส ก็ยังไม่ปลอดภัยสำหรับทุกคน ตัวอย่างเช่น สัดส่วนของประชากรโลกที่เผชิญความเสี่ยงจากเหตุการณ์น้ำท่วมยังจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24 และจำนวนวันที่เกิดคลื่นความร้อนรุนแรงก็ยังจะเพิ่มขึ้นเป็น 58 วันต่อปีที่ระดับความร้อนนี้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์จะทวีความรุนแรงภายในสิ้นศตวรรษที่ 21 หากไม่พยายามอย่างเต็มที่ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ

ภาพที่ 2.1

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร

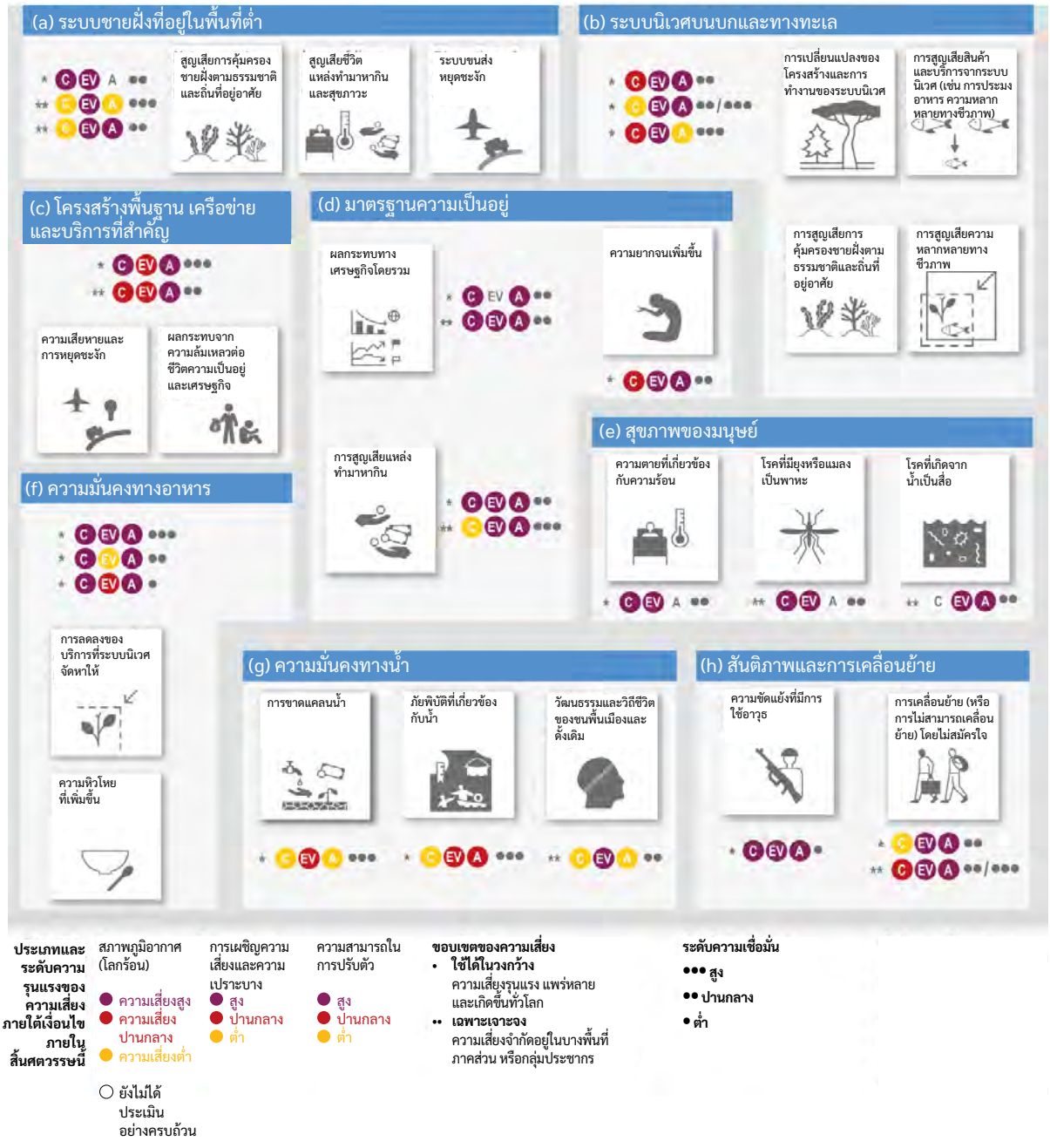
ผลกระทบเชิงลบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์จะทวีความรุนแรงภายในสิ้นศตวรรษที่ 21 หากไม่พยายามอย่างเต็มที่ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาพที่ 2.2 การเปรียบเทียบความเสี่ยงในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ ต่อระบบมนุษย์และระบบธรรมชาติ

	1.5 องศาเซลเซียส	2 องศาเซลเซียส	3 องศาเซลเซียส	1 องศาเซลเซียส เทียบกับ 2 องศาเซลเซียส	1.5 องศาเซลเซียส เทียบกับ 3 องศาเซลเซียส
การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ สัดส่วนสูงสุดของชนิดพันธุ์ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการสูญพันธุ์ในพื้นที่ป่าและที่ดิน	ร้อยละ 14	ร้อยละ 18	ร้อยละ 29	แย่ลง 1.3 เท่า	แย่ลง 2.1 เท่า
ภัยแล้ง ประชากรในพื้นที่แห้งแล้งที่เผชิญกับความเครียดเรื่องน้ำ ความร้อน และกระบวนการแปรสภาพเป็นทราย	950 ล้านคน	1,150 ล้านคน	1,290 ล้านคน	เพิ่มขึ้น 200 ล้านคน	เพิ่มขึ้น 340 ล้านคน
ความมั่นคงทางอาหาร ต้นทุนในการปรับตัวและความเสียหายที่ยังคงอยู่ต่อพืชผลหลัก	63,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ	80,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ	128,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ	เพิ่มขึ้น 17,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ	เพิ่มขึ้น 65,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ
ไฟป่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ในยุโรปแถบเมดิเตอร์เรเนียน	ร้อยละ 40-54	ร้อยละ 62-87	ร้อยละ 96-187	แย่ลง 1.6 เท่า	แย่ลง 3 เท่า
คลื่นความร้อนรุนแรง จำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดเกิน 35 องศาเซลเซียส (95 องศาฟาเรนไฮต์) ต่อปีเพิ่มขึ้น	45–58 วัน	52–68 วัน	66–87 วัน	แย่ลง 1.2 เท่า	แย่ลง 1.5 เท่า
คลื่นความร้อนรุนแรง จำนวนคลื่นความร้อนต่อปีที่เพิ่มขึ้นในภูมิภาคแอฟริกาตอนใต้	2–4 เท่า	4–8 เท่า	8–12 เท่า	แย่ลง 2 เท่า	แย่ลง 3.3 เท่า
ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกภายในปี พ.ศ. 2643	0.28–0.55 เมตร	0.33–0.61 เมตร	0.44–0.76 เมตร	แย่ลง 1.1 เท่า	แย่ลง 1.4 เท่า
อุทกภัย การเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลกที่เผชิญความเสี่ยงจากน้ำท่วม	ร้อยละ 24	ร้อยละ 30	ไม่มีข้อมูล	แย่ลง 1.3 เท่า	ไม่มีข้อมูล
แนวปะการัง การลดลงเพิ่มเติมของแนวปะการัง	ลดลง ร้อยละ 70–90	ลดลง ร้อยละ 99	ไม่มีข้อมูล	แย่ลง 1.2 เท่า	ไม่มีข้อมูล

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทุกวันนี้จะทำให้ความสามารถในการผลิตทางการเกษตรลดลง ทั้งยังทำให้เข้าถึงน้ำจืดยากขึ้น ทำให้ภัยแล้ง คลื่นความร้อน และไซโคลนเขตร้อนมีความรุนแรงขึ้น และทำให้สิ่งแวดล้อมชายฝั่งเปลี่ยนสภาพอย่างฉับพลันและรุนแรงในระดับที่ทำให้สังคมเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง องค์การ WMO กำหนดตัวบ่งชี้หลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้สี่ข้อ ได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล น้ำทะเลอุ่นขึ้น และสภาพน้ำทะเลเป็นกรด โดยทั้งสี่ปัจจัยมีความรุนแรงเป็นสถิติใหม่ในปี พ.ศ. 2565 นี่เป็นอีกหนึ่งสัญญาณที่ชัดเจนว่ากิจกรรมของมนุษย์กำลังก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อโลกทั้งใบ ทั้งบนพื้นดิน มหาสมุทร และชั้นบรรยากาศ โดยมีผลกระทบในระยะยาวที่รุนแรง หากไม่เริ่มทำอะไรสักอย่างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาจไม่สามารถแก้ไขผลกระทบทางลบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นกับสภาพแวดล้อมและมนุษย์ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 (ภาพที่ 2.3)

ภาพที่ 2.3 **ความเสี่ยงหลักต่อระบบธรรมชาติและมนุษย์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษ**



ประสบการณ์สอนว่า หากสำรวจว่าประชากรในอดีตปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความผิดปกติทางสภาพอากาศต่าง ๆ อย่างไร อาจพบแนวทางแก้ไขและรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบันและจะเกิดขึ้นในอนาคต มนุษยชาติจำเป็นต้องดำเนินมาตรการที่เหมาะสมเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัวต่อภาวะโลกร้อนที่เกิดจากมนุษย์ ซึ่งได้กลายเป็นสาเหตุสำคัญของวิกฤตสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน เมื่อดูจากหลักฐานผลกระทบที่เกิดขึ้นจนถึงตอนนี้ รวมถึงความเสี่ยงที่คาดการณ์ไว้ จำเป็นต้องดำเนินการพัฒนาเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate-resilient development action) ทั่วโลกอย่างเร่งด่วนกว่าที่เคย

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอมาตรการปรับตัวที่เป็นไปได้และมีประสิทธิภาพสำหรับแต่ละประเด็น ประเด็นที่กล่าวถึงในบทนี้ได้แก่มาตรการลดความเสี่ยงต่าง ๆ เช่น การคำนึงถึงผลกระทบและความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกระบวนการออกแบบและวางผังเมือง ที่อยู่อาศัย และโครงสร้างพื้นฐาน ทั้งในเขตเมืองและชนบท นอกจากนี้ บทนี้ยังกล่าวถึงมาตรการที่ช่วยปกป้องความหลากหลายทางชีวภาพและระบบนิเวศ ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศ และระบบนิเวศเองก็มีบทบาทสำคัญในการปรับตัวและบรรเทาผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ (ภาพที่ 2.4)

แม้ว่าทุกคนจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่กลุ่มประชากรที่ยากจนและถูกกีดกันทางสังคมในอดีตได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด นักวิทยาศาสตร์ระบุในรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC ว่า ปัจจุบันประชากร 3.3 พันล้านถึง 3.6 พันล้านคนอาศัยอยู่ในประเทศที่มีความเปราะบางสูงต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตอาร์กติก อเมริกากลางและอเมริกาใต้ หมู่เกาะขนาดเล็กที่กำลังพัฒนา เอเชียใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอฟริกาใต้ซาฮารา (sub-Saharan Africa) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยิ่งทำให้ความขัดแย้ง ความไม่เท่าเทียม และความท้าทายในด้านการจัดการความขัดแย้งและด้านการพัฒนาต่าง ๆ (เช่น ความยากจนและการขาดแคลนบริการขั้นพื้นฐาน เช่น น้ำสะอาด) มีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นในหลายประเทศในภูมิภาคเหล่านี้ อีกทั้งยังจำกัดความสามารถของชุมชนในการปรับตัว ตัวอย่างเช่น ในช่วงปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2563 ประเทศที่มีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสูงมีอัตราการเสียชีวิตจากพายุ น้ำท่วม และภัยแล้งมากกว่าประเทศที่มีความเปราะบางต่ำถึง 15 เท่า

เนื้อหาส่วนนี้จะสำรวจผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อหลายภูมิภาค สังคม และกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ พร้อมทั้งนำเสนอตัวอย่างของมาตรการการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศ ที่ช่วยบรรเทาและเตรียมพร้อมรับมือกับผลกระทบด้านลบที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



ภัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ ความเสี่ยง ผลกระทบ ตลอดจนความสามารถในการรับมือและการปรับตัว

ปัจจุบัน คณะกรรมการ IPCC ใช้คำว่า “ความสามารถในการรับมือ” (resilience) เพื่อหมายถึงความสามารถของระบบที่เชื่อมโยงสัมพันธ์กันระหว่างมนุษย์และธรรมชาติ ‘ในการรับมือกับเหตุการณ์ แนวโน้มที่เป็นอันตราย หรือความไม่สงบ โดยระบบดังกล่าวสามารถตอบสนองหรือปรับโครงสร้างใหม่ ในลักษณะที่ยังคงรักษาหน้าที่ อัตลักษณ์ และโครงสร้างที่สำคัญของตนเองไว้ได้’

ดังนั้น แนวคิดนี้จึงครอบคลุม **“การปรับตัว”** (adaptation) ซึ่งคณะกรรมการ IPCC ให้นิยามว่าเป็นกระบวนการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้น และผลกระทบของสภาวะดังกล่าว เพื่อบรรเทาความเสียหายหรือใช้ประโยชน์จากโอกาสต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ตัวอย่างของมาตรการปรับตัว ได้แก่ การสร้างอาคารที่ทนทานต่อสภาพอากาศสุดขั้ว การสร้างเขื่อนเพื่อป้องกันน้ำท่วม การพัฒนาสายพันธุ์พืชที่ทนต่อภัยแล้ง เป็นต้น

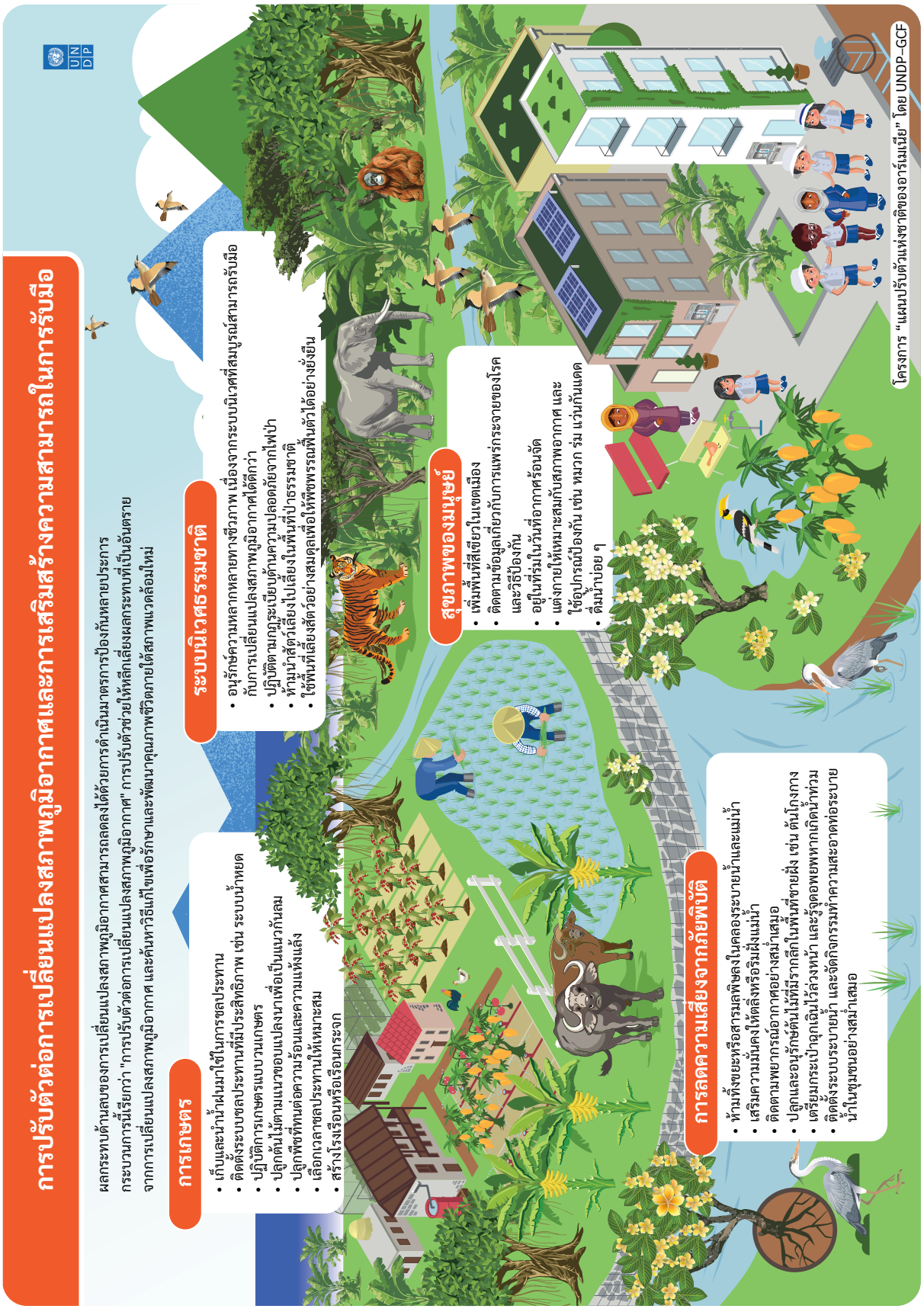
คณะกรรมการ IPCC ยังใช้แนวคิด “ความเสี่ยง” (risks) อย่างกว้างขวางในบริบทของผลกระทบด้านลบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อมนุษย์หรือระบบนิเวศ โดยตระหนักถึงคุณค่าและเป้าหมายอันหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับระบบเหล่านี้ ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความเสี่ยงอาจเกิดขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงอาจเกิดจากการตอบสนองของมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วย

“ผลกระทบ” (impacts) หมายถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงจากความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบธรรมชาติและมนุษย์ โดยทั่วไป ผลกระทบหมายถึง ผลต่อชีวิต ความเป็นอยู่ สุขภาพ และความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ ระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต ทรัพย์สินทางเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม บริการต่าง ๆ รวมถึงบริการทางระบบนิเวศ (ecosystem services) ไปจนถึงโครงสร้างพื้นฐาน

“ภัย” (hazards) หมายถึง ผลกระทบด้านลบจากเหตุการณ์หรือแนวโน้มทางสิ่งแวดล้อมทั้งที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือที่เกิดจากมนุษย์ ซึ่งอาจทำให้สูญเสียชีวิต ได้รับบาดเจ็บ หรือส่งผลกระทบต่อสุขภาพ รวมถึงก่อให้เกิดความเสียหายและการสูญเสียทรัพย์สิน โครงสร้างพื้นฐาน แหล่งทำมาหากิน การให้บริการ ระบบนิเวศ และทรัพยากรสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 2.4 จะปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสร้างความพร้อมในการรับมือได้อย่างไร



2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสภาพอากาศอย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ตั้งข้อสังเกตว่าในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา สภาพอากาศทั่วโลกมีความรุนแรงขึ้นอย่างมาก อาจได้ยินข่าวเกี่ยวกับภัยธรรมชาติครั้งแล้วครั้งเล่า เช่น พายุเฮอริเคนพลังทำลายล้างสูงในฟิลิปปินส์ ภัยแล้งที่สาหัสอย่างไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในออสเตรเลีย น้ำท่วมรุนแรงในยุโรป ไฟป่าครั้งใหญ่จากคลื่นความร้อนและภัยแล้งที่ยาวนานในแคนาดา กรีซ และฮาวาย ไปจนถึงหิมะที่ตกเป็นครั้งแรกในรอบศตวรรษในกรุงไคโรและอเล็กซานเดรีย ประเทศอียิปต์ อุณหภูมิสูงขึ้นทำลายสถิติใหม่ทุกวัน ผู้คนในยุโรปต้องเผชิญกับฤดูร้อนที่ร้อนจัด และฤดูหนาวที่อุณหภูมิลดฮวบลงอย่างฉับพลันจากมากกว่าศูนย์องศาไปแตะ -20 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2566 ประเทศไทยเผชิญกับวันที่ร้อนที่สุดในประวัติศาสตร์ที่อุณหภูมิ 45.4 องศาเซลเซียส และหนึ่งเดือนต่อมา อุณหภูมิที่ประเทศลาวก็พุ่งสูงถึง 43.5 องศาเซลเซียส ติดต่อกันสองวัน อีกทั้งอุณหภูมิที่ประเทศเวียดนามก็สูงขึ้นเป็นสถิติใหม่ที่ 44.2 องศาเซลเซียส นักวิทยาศาสตร์เรียกสภาพอากาศที่ผิดปกติเหล่านี้ว่า ความผิดปกติของสภาพอากาศ (weather anomalies) ตัวอย่างของสภาพอากาศผิดปกติที่พบได้บ่อยที่สุดในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบอบอุ่น (temperate climate) ในซีกโลกเหนือได้แก่ ช่วงอากาศหนาวผิดปกติในฤดูร้อน หรือการละลายของหิมะที่ยาวนานผิดปกติในฤดูหนาว เมื่อความแปรปรวนของสภาพอากาศ ก่อให้เกิดภัยคุกคามต่อสุขภาพ ชีวิต และกิจกรรมทางเศรษฐกิจของผู้คน เรียกปรากฏการณ์เหล่านี้ว่า **“ปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว”** (extreme weather phenomena)

ความแปรปรวนของสภาพอากาศ (weather anomalies) หมายถึง สภาพอากาศที่แตกต่างไปจากสภาพอากาศ ‘ปกติ’ ของฤดูกาล เดือน หรือวันนั้น ๆ ของปี โดยคำว่า ‘ปกติ’ ในที่นี้หมายถึงค่าเฉลี่ยของสภาพอากาศในภูมิภาคนั้น ๆ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ซึ่งมักอ้างอิงจากปี พ.ศ. 2504-2533

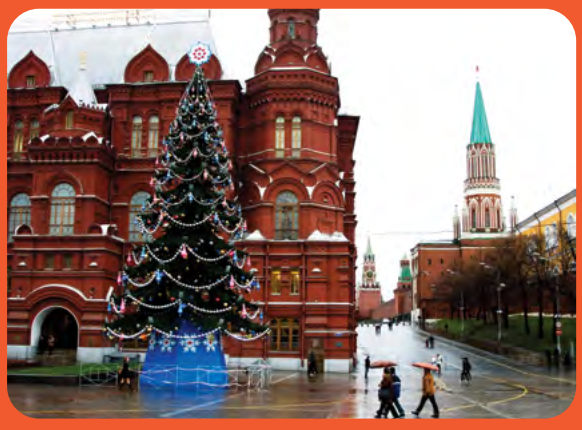
ปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว (extreme weather phenomena) หมายถึง กระบวนการและเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ หรือในแหล่งน้ำผิวดิน (inland waters) และมหาสมุทร โดยผลกระทบของเหตุการณ์ดังกล่าวอาจนำไปสู่การทำลายชีวิตมนุษย์ สัตว์ และพืช รวมถึงสร้างความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อเศรษฐกิจ

ตัวอย่างของปรากฏการณ์อากาศสุดขั้ว ได้แก่ คลื่นความร้อนหรือสภาพอากาศหนาวจัดที่ยาวนาน ลมแรงจัด พายุเฮอริเคน พายุโซนร้อน (ไต้ฝุ่น) พายุฝุ่น ฝนตกหนัก หิมะตกหนัก พายุหมุนหรือทอร์นาโด น้ำท่วม ภัยแล้ง หิมะถล่ม ดินถล่ม และอื่น ๆ อีกมากมาย

หมายเหตุ: แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และสึนามิ ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศและสภาพอากาศ ดังนั้นจึงไม่ถือเป็นปรากฏการณ์ทางสภาพอากาศ!

ภาพที่ 2.1.1 **การที่ฝนตกแทนที่จะมีหิมะตกกลายเป็นเรื่องปกติของกรุงมอสโคว ในช่วงเดือนธันวาคม**





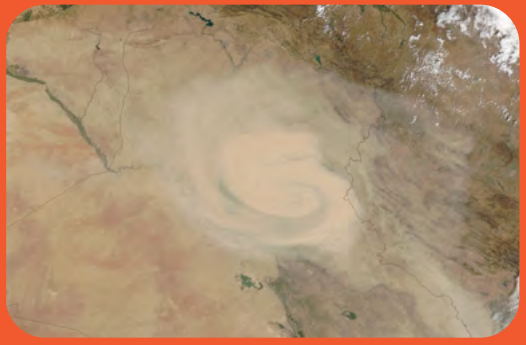
พายุทรายและพายุฝุ่นขนาดใหญ่ในตะวันออกกลาง ปี พ.ศ. 2565

พายุทรายและพายุฝุ่นขนาดใหญ่ หมายถึงพายุที่เกิดจากกระแสลมแรงในพื้นที่ที่มีดินแล้ง ซึ่งพัดมวลสารจำนวนมากจากพื้นดินขึ้นไปในชั้นบรรยากาศ อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย (United Nations Convention to Combat Desertification: UNCCD) ระบุว่า มีฝุ่นและทรายเข้าสู่ชั้นบรรยากาศประมาณสองพันล้านตันต่อปี พายุทรายและพายุฝุ่นเกิดขึ้นบ่อยในพื้นที่ทะเลทรายและบริเวณที่มีดินแล้ง ในตะวันออกกลางและพื้นที่แห้งแล้งอื่น ๆ พายุเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้สองรูปแบบ ได้แก่ 'ฮาบูบ' (Haboob เป็นคำในภาษาอาหรับ หมายถึง ลมพัดกระโชก) เป็นพายุที่เกิดจากแนวปะทะพายุ (storm front) โดยมักปรากฏเป็นกำแพงทรายและฝุ่นเคลื่อนที่ไปทั่วภูมิประเทศ อย่างไรก็ตาม ฮาบูบมักคงอยู่ไม่ยาวนานนักคล้ายกับพายุฝนฟ้าคะนอง ในทางกลับกัน มีพายุฝุ่นอีกประเภทที่กินเวลานานและครอบคลุมพื้นที่กว้าง โดยอาจเกิดต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวัน ในอิรัก พายุประเภทนี้มักเกิดจากลมตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งพัดแรงพัดต่อเนื่อง เรียกว่า 'ชามาล' (Shamal เป็นคำในภาษาอาหรับ หมายถึง ทิศเหนือ) การสร้างเขื่อนจำนวนมาก การบริหารจัดการน้ำที่ผิดพลาด ภาวะความแห้งแล้งรุนแรง ภาวะพื้นที่กลายเป็นทะเลทราย และสาเหตุอื่น ๆ ล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์อันน่าสะพรึงกลัวนี้

ในเดือนเมษายนและมิถุนายน ปี พ.ศ. 2565 อิรักและประเทศอื่น ๆ ในอ่าวเปอร์เซียต้องเผชิญกับท้องฟ้าสีส้มน่าหวาดสยองราวกับวันสิ้นโลก หลังพายุฝุ่นและทรายพัดกระหน่ำปกคลุมท้องฟ้า พายุเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบมากมาย เช่น การปิดท่าเรือ สนามบิน ถนน และโรงเรียน การยกเลิกเที่ยวบิน มีผู้ป่วยหลายพันคนต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากปัญหาทางเดินหายใจ พายุฝุ่นเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อผู้ป่วยโรคหอบหืด และยังสามารถนำพาเชื้อโรคได้อีกด้วย นอกจากนี้ พายุฝุ่นยังส่งผลเสียต่อการเกษตร โดยพัดพาเอาดินที่อุดมไปด้วยสารอาหารออกไป ทำให้ผลผลิตลดลง

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พายุทรายและพายุฝุ่นเกิดขึ้นบ่อยขึ้นในตะวันออกกลางและพื้นที่แห้งแล้งอื่น ๆ ทั่วโลก เช่น แอฟริกาเหนือ จีนตอนเหนือ มองโกเลีย คาซัคสถาน ออสเตรเลีย ตอนกลางของสหรัฐอเมริกา ตามข้อมูลวิจัยจากมหาวิทยาลัยอ็อกซ์ฟอร์ด ประเทศมอริเตเนียซึ่งมีพื้นที่ร้อยละ 90 ปกคลุมโดยทะเลทรายซาฮารานั้น เคยเผชิญกับพายุฝุ่นเพียงสองครั้งต่อปีในช่วงต้นคริสต์ทศวรรษ 1960 ก่อนจะเพิ่มขึ้นเป็น 80 ครั้งต่อปีในปัจจุบัน

นักวิทยาศาสตร์ระบุว่า พายุฝุ่นที่เกิดบ่อยขึ้นเป็นผลมาจากวิธีการเกษตรที่ไม่ยั่งยืน เช่น การปล่อยให้ปศุสัตว์กินหญ้ามากเกินไป และการทำลายชั้นดินชีวภาพ ทั้งยังเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไปจนถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นและภัยแล้งที่รุนแรงขึ้นทั้งในระดับโลกและระดับท้องถิ่น ขณะนี้เป็นที่ยอมรับแล้วว่า พายุทรายและพายุฝุ่นเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่ได้มีผลกระทบเพียงแค่ในพื้นที่แห้งแล้งเท่านั้น หากแต่มีผลในระดับโลก และส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ปรากฏการณ์นี้ส่งผลกระทบต่อทุกคนไม่ว่าจะเป็น ผู้ชาย ผู้หญิง เด็กชาย หรือเด็กหญิง แต่ผลกระทบที่แต่ละคนได้รับอาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับบทบาททางเพศสภาพในพื้นที่การผลิต เศรษฐกิจ การทำงาน ครอบครัว และสังคมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ พายุทรายและพายุฝุ่นอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตสำหรับผู้ที่มีปัญหาสุขภาพ พายุเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเสื่อมโทรมของดิน ทั้งนี้ แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน และแนวคิดเรื่องความเป็นกลางทางความเสื่อมโทรมของที่ดิน (land degradation neutrality หรือ LDN)

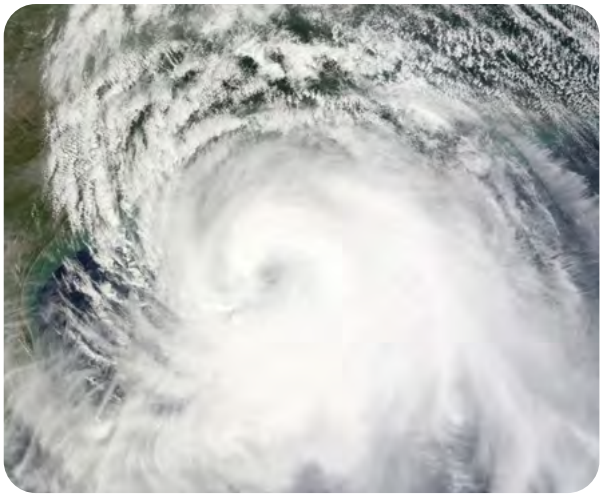


ภาพที่ 2.1.2

ภาพถ่ายดาวเทียมจับภาพพายุฝุ่นในประเทศอิรัก
วันที่ 7 ถึง 9 เมษายน พ.ศ. 2565

คำถามคือ เกิดอะไรขึ้นกับสภาพอากาศในโลกในตอนนี้ และสิ่งที่เกิดขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไร

ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ชี้ว่า รูปแบบสภาพอากาศที่ผิดปกติและเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสิ่งนี้อาจเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น น้ำจากมหาสมุทร ทะเลสาบ และแม่น้ำจะระเหยมากขึ้น ไอน้ำในบรรยากาศก็จะสูงขึ้น เป็นผลให้ฝนตกหนักในบางพื้นที่ นอกจากนี้ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงขึ้นยังก่อให้เกิดพายุโซนร้อนที่มีความอันตรายอย่างสูง (ไต้ฝุ่น) ด้วยความถี่ที่สูงขึ้นและความรุนแรงที่มากขึ้นกว่าในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ผ่านมา





ตามที่อาจคาดเดาได้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก็ทำให้เกิดคลื่นความร้อนบ่อยขึ้นด้วย

คลื่นความร้อน (HEAT WAVE)

หมายถึง ช่วงเวลาที่มีอากาศร้อนจัดติดต่อกันอย่างน้อย 5 วัน โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันสูงกว่าค่าปกติของช่วงเวลานั้นอย่างน้อย 5 องศาเซลเซียส





การศึกษาล่าสุดที่ตีพิมพ์ในวารสาร *Nature* ระบุว่าเหตุการณ์อากาศร้อนจัดที่เคยเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวใน 1,000 วันตอนนี้เกิดขึ้นทุก ๆ 200-250 วัน อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ทั่วโลก บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะเผชิญกับสภาพอากาศที่รุนแรงขึ้น โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนที่มีโครงสร้างพื้นฐานอ่อนแอ จำนวนวันที่อากาศร้อนจัดอาจเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เท่า ในขณะที่จำนวนวันที่ฝนตกหนักอาจเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า ทั้งนี้ ในพื้นที่ที่แห้งแล้งอยู่แล้ว เช่น แถบเมดิเตอร์เรเนียน แอฟริกาเหนือ ชิลี ตะวันออกกลาง และออสเตรเลีย ความเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้งและการขาดแคลนน้ำจืดจะสูงยิ่งขึ้นไปอีก

อีกหนึ่งการศึกษาที่ตีพิมพ์ในวารสารเดียวกันสรุปว่า ปัจจุบันกำลังเข้าสู่ยุคของอากาศร้อนจัด ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องยาวนานในไซบีเรียและออสเตรเลียในปี พ.ศ. 2563 จะไม่มีทางเกิดขึ้นได้ แต่แรกหากโลกไม่ได้กำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่ในขณะนี้ คลื่นความร้อนในไซบีเรียนำไปสู่ไฟป่าครั้งใหญ่ (ซึ่งปล่อยก๊าซ CO_2 กว่า 56 ล้านตันสู่ชั้นบรรยากาศ) อีกทั้งยังทำให้โครงสร้างพื้นฐานในภูมิภาคยังพังทลายจากการละลายของดินเยือกแข็ง (permafrost) ซึ่งนำไปสู่การประกาศภาวะฉุกเฉินในที่สุด ในออสเตรเลียเองก็มีการประกาศภาวะฉุกเฉินหลังเกิดไฟป่าครั้งใหญ่ ซึ่งเกิดจากสภาพอากาศร้อนจัดเป็นประวัติการณ์ในฤดูร้อนช่วงปลายปี พ.ศ. 2562 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ถูกเรียกว่าฤดูร้อนสีดำ (Black Summer)

นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวิเคราะห์สถิติอุณหภูมิสูงสุดในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิของซีกโลกใต้ในปี พ.ศ. 2566 และสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้มีโอกาศที่อุณหภูมิจะสูงเป็นประวัติการณ์มากขึ้นถึง 100 เท่า

อย่างไรก็ตาม ต้องไม่ลืมว่าสภาพอากาศผิดปกติไม่ได้เป็นสัญญาณของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเสมอไป ตัวอย่างเช่น ฤดูหนาวที่หนาวจัดเพียงปีเดียวไม่ได้หมายความว่าโลกกำลังเย็นลง จำเป็นต้องเก็บข้อมูลระยะยาว (อย่างน้อย 10 ปีขึ้นไป) เพื่อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือไม่

สภาพอากาศผิดปกติสามารถสร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อเศรษฐกิจโลก และอาจทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก

ตัวอย่างเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงในช่วงไม่นานนี้

วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2566 พายุแดเนียล (Daniel) ทำให้เกิดฝนตกกระหน่ำถล่มพื้นที่ฝั่งตะวันออกของลิเบีย เมืองท่าเดอร์นา (Derna) ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด เขื่อนเก่าสองแห่งพังถล่มทำให้ย่านที่อยู่อาศัยถูกน้ำกวาดหายไปทั้งเมือง กลายเป็นหายนะครั้งมโหฬาร ที่ทำการองค์การระหว่างประเทศเพื่อการโยกย้ายถิ่นฐาน (The International Organization for Migration: IOM) ณ ประเทศลิเบียกล่าวว่ามีประชาชนกว่า 30,000 คนไร้ที่อยู่อาศัย และอัตราผู้เสียชีวิตก็พุ่งขึ้นสูงกว่า 11,300 คนอย่างรวดเร็ว

สาเหตุหลักที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก คือการขาดระบบเฝ้าระวังเขื่อนและการออกคำสั่งอพยพ แม้ทางการจะทราบเส้นทางการเคลื่อนตัวของพายุแดเนียลอยู่แล้วก็ตาม เมื่อรัฐมีความสามารถประสานงานบรรเทาภัยพิบัติไม่เพียงพอก็ยิ่งทำให้สถานการณ์เลวร้ายลงไปอีก

ภาพที่ 2.1.3

วันพุธที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2566 เมืองเดอร์นา ลิเบีย เกิดน้ำท่วมจากฝนตกหนัก ทำให้มีผู้เสียชีวิตหลายพันคน และพัดพาบ้านเรือนทั้งเมืองลงทะเล



ภัยพิบัติในลิเบียเกิดขึ้นหลังจากเหตุการณ์น้ำท่วมร้ายแรงทั่วโลกในเดือนกันยายน พ.ศ. 2566 ทั้งในประเทศจีน บราซิล ไปจนถึงกรีซ

พายุไซโคลนเขตร้อนส่งผลกระทบรุนแรงต่อประเทศด้อยพัฒนาและขาดการเตรียมพร้อม เช่น เมียนมา บังกลาเทศ อินเดีย ฟิลิปปินส์ และฮอนดูรัส อัตราการเสียชีวิตในประเทศเหล่านี้จึงสูงมากในเหตุการณ์ที่ผ่านมา ประเทศที่ขาดทรัพยากรและเสถียรภาพทางการเมืองที่จำเป็นในการเตรียมพร้อมรับมือภัยพิบัติทางธรรมชาติได้อย่างเพียงพอ มักได้รับความเสียหายมหาศาลต่อทั้งประชากรและเศรษฐกิจของประเทศ

เหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงในเอเชีย ปี พ.ศ. 2566

อุณหภูมิที่เพิ่มสูงทำให้เกิดคลื่นความร้อนรุนแรงบ่อยขึ้นและกินเวลานานขึ้นในเอเชียตะวันออก เอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2565 จีนเผชิญกับคลื่นความร้อนยาวนาน กว่า 60 วัน เหตุการณ์คลื่นความร้อนในปี พ.ศ. 2565 ร่วมกับการหมุนเวียนอากาศที่ผิดปกติในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าขัดข้อง โรงงานต้องปิดชั่วคราว ผลผลิตทางการเกษตรเสียหาย และมีจำนวนผู้ป่วยโรคลมแดดเพิ่มขึ้นในภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงใต้ของจีน ในปี พ.ศ. 2566 เกิดคลื่นความร้อนในประเทศ จีน ไทย เวียดนาม และลาว ทำให้อุณหภูมิสูงสุดเป็นประวัติการณ์ โดยสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส

ภูมิภาคดังกล่าวกำลังเผชิญกับฝนตกหนักบ่อยขึ้น ทำให้ความเสี่ยงน้ำท่วมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แนวโน้มปริมาณฝนตกที่เพิ่มขึ้นอย่างสุดขั้วนี้เกิดขึ้นทั่วภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คณะกรรมการ IPCC รายงานว่าปริมาณฝนมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-8 ภายในปี พ.ศ. 2643 แม้โดยรวมจะมีฝนเพิ่มขึ้นในช่วงมรสุมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่ก็มีความแตกต่างกันไปรูปแบบสภาพอากาศที่เจอ บางพื้นที่ยังคงเผชิญกับภัยแล้งหรือฝนที่ไม่ตกตามฤดูกาล เช่นฝนตกในช่วงหน้าแล้ง เกิดน้ำท่วมขึ้นเป็นประจำในทวีปเอเชียเขตมรสุม ส่งผลกระทบต่อประชาชนหลายล้านคนต่อปี แม้จะยังไม่มีแบบแผนชัดเจนว่าแล้วเกิดพายุไซโคลนเขตร้อนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ขึ้นกี่ครั้งโดยเฉลี่ย แต่บางพื้นที่เช่นฟิลิปปินส์และเวียดนามก็กำลังเผชิญกับพายุไซโคลนที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

เดือนเมษายน พ.ศ. 2567 ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น บังกลาเทศ อินเดีย ฟิลิปปินส์ และไทยได้ประสบกับคลื่นความร้อนรุนแรงต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อการศึกษา และสร้างข้อกังวลทางสาธารณสุข กรุงมะนิลาต้องสั่งงดชั้นเรียนแบบตัวต่อตัวเนื่องจากอากาศร้อนจัด ในขณะที่บางจังหวัดในฟิลิปปินส์ก็เผชิญกับภาวะแห้งแล้ง

อินโดนีเซีย ลาว ไทย และเวียดนามเกิดน้ำท่วมใหญ่หลายครั้งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา

- ในปี พ.ศ. 2563 เกิดเหตุน้ำท่วมรุนแรงในพื้นที่ภาคกลางของเวียดนาม โดยเกิดพายุและไต้ฝุ่นพัดถล่ม 9 ลูกติดต่อกันในเวลาไม่กี่สัปดาห์ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมและดินถล่ม สร้างความเสียหายแก่บ้านเรือนกว่า 375,000 หลัง และคร่าชีวิตประชาชนหลายร้อยคน รวมทั้งปศุสัตว์และสัตว์ปีกหลายล้านตัว ไซโคลนซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกันลูกแล้วลูกเล่า เป็นผลจากปริมาณน้ำฝนที่มากผิดปกติในช่วงไม่กี่สัปดาห์ก่อน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่ภาวะลานีญาที่รุนแรงขึ้น เป็นผลมาจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ





- ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 ไต้ฝุ่นยางี (Yagi) ทำให้เกิดฝนตกหนัก น้ำท่วม และดินถล่มในสี่จังหวัดทางภาคเหนือของลาว ได้แก่ พงสาลี บ่อแก้ว อุดมไซ และหลวงน้ำทา ซึ่งหลวงน้ำทาเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด โดยมีประชาชนกว่า 40,000 คนใน 20 หมู่บ้านได้รับผลกระทบ ฝนตกหนักทำให้แม่น้ำล้นตลิ่ง ท่วมชุมชนทั้งเมือง และทำให้เกิดกระแสน้ำพัดพาบ้านเรือนและทรัพย์สินสูญหายไป ไต้ฝุ่นยางียังส่งผลให้เกิดน้ำท่วมใหญ่ในไทย เมียนมา และเวียดนามอีกด้วย
- ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่ที่ภาคใต้ของไทยและมาเลเซีย ส่งผลกระทบต่อประชาชนมากกว่า 1.5 ล้านคน และมีผู้เสียชีวิต 27 ราย ปริมาณน้ำฝนเทียบเท่ากับปริมาณที่ตกในระยะเวลาหกเดือนตกลงมาในเวลาเพียงห้าวัน ทำให้เกิดความเสียหายอย่างหนักต่อนาข้าว โครงสร้างพื้นฐานสาธารณะ และที่อยู่อาศัยทั่วบริเวณที่ได้รับผลกระทบ
- ระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 ที่ราบสูงตอนกลางของเวียดนาม ซึ่งเป็นแหล่งผลิตกาแฟหลักของประเทศ เผชิญกับภัยแล้งรุนแรงที่สุดในรอบเกือบสิบปี อากาศร้อนจัดทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการผลิตกาแฟ โดยคาดการณ์ว่าผลผลิตกาแฟอาจลดลงร้อยละ 10-16 ในฤดูกาลถัดไป

เหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงในแอฟริกาในปี พ.ศ. 2566

แม้ว่าน้ำท่วมใหญ่ในลิเบียปี พ.ศ. 2567 จะกลายเป็นข่าวใหญ่ระดับโลกเนื่องจากมีผู้เสียชีวิตเป็นจำนวนมาก แต่ยังมีเหตุการณ์ภัยพิบัติรุนแรงอีกมากมายในแอฟริกาที่ไม่ได้รับความสนใจจากสื่อต่างประเทศ การวิเคราะห์ข้อมูลภัยพิบัติรายงานด้านมนุษยธรรม และข่าวท้องถิ่นโดยสถาบันวิจัย Carbon Brief ช่วยให้เห็นภาพรวมที่สมบูรณ์ขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของสภาพอากาศสุดขั้วในแอฟริกาในปีพ.ศ. 2567 จนถึงปัจจุบัน

มีรายงานว่ามีประชากรอย่างน้อย 15,700 คนเสียชีวิตจากภัยพิบัติทางสภาพอากาศรุนแรงในแอฟริกาในปี พ.ศ. 2567 และประชาชนกว่า 34 ล้านคนได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศสุดขั้ว ตัวอย่างเช่น:

- ในเดือนพฤษภาคม มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 3,000 คนจากน้ำท่วมฉับพลันในสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโกและรวันดา นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถประเมินบทบาทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อภัยพิบัตินี้ได้ เนื่องจากไม่มีสถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่สามารถบันทึกข้อมูลในภูมิภาคนี้
- ในเดือนกุมภาพันธ์ ไซโคลนเขตร้อนเฟรดดี้ ซึ่งเป็นพายุไซโคลนที่มีอายุยาวนานที่สุดในประวัติศาสตร์ ได้ทำให้เกิดน้ำท่วมและโคลนถล่มในมาดากัสการ์ โมซัมบิก มอริเชียส มาลาวี เรอูนียง และซิมบับเว มีผู้เสียชีวิตอย่างน้อย 860 คน
- ประชากรมากกว่า 29 ล้านคนยังคงเผชิญกับภัยแล้งที่รุนแรงต่อเนื่องในเอธิโอเปีย โซมาเลีย เคนยา จิบูตี มอริเตเนีย และไนเจอร์
- หลายประเทศในแอฟริกาตอนใต้ต้องเผชิญกับคลื่นความร้อนในช่วงฤดูหนาวเป็นเวลาหลายเดือน ทำให้ผู้คนต้องอยู่ในสภาพอากาศคล้ายฤดูร้อนตลอดทั้งปี

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสภาพอากาศสุดขั้วอย่างไร

หลังวิเคราะห์เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วทั้งหมดในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาร่วมกับข้อมูลใหม่ล่าสุด องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐฯ (National Aeronautics and Space Administration: NASA) ยืนยันว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดสภาพอากาศสุดขั้วขึ้นทั่วทั้งโลก คลื่นความร้อนที่ทำลายสถิติบนบกและในมหาสมุทร ฝนตกหนักผิดปกติ น้ำท่วมครั้งใหญ่ ภัยแล้งที่ยาวนานหลายปี ไฟป่ารุนแรง และน้ำท่วมหนักจากพายุเฮอริเคนล้วนเกิดขึ้นบ่อยขึ้นและรุนแรงขึ้น โครงการภารกิจดาวเทียมของ นาซา รวมถึงระบบดาวเทียมสำรวจโลก (Earth System Observatory: ESO) มีบทบาทสำคัญในการติดตามและตอบสนองต่อเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว โดยให้ข้อมูลและคำอธิบายสำหรับแต่ละเหตุการณ์ (ภาพที่ 2.1.4)

ภาพที่ 2.1.4 ปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



ความร้อนสุดขั้ว: ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 ความถี่และความรุนแรงของอากาศร้อนสุดขั้วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยมนุษย์ ตัวอย่างความร้อนสุดขั้วนั้นรวมถึงอุณหภูมิที่สูงและคลื่นความร้อนที่เป็นอันตราย เหตุการณ์เหล่านี้จะทวีความรุนแรงและเกิดบ่อยขึ้นเมื่ออุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น

ไฟป่า: สภาพอากาศที่ร้อนและแห้งแล้งเพิ่มความเสี่ยงของไฟป่า กิ่งไม้ใบไม้ให้แห้งเป็นเหมือนเชื้อเพลิงทำให้ไฟป่าลุกลามอย่างต่อเนื่องเมื่อเกิดขึ้น ด้วยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก ไฟป่าอาจเกิดบ่อยและรุนแรงขึ้นในบางภูมิภาค ซึ่งสร้างความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ภัยแล้ง: เมื่อโลกร้อนขึ้น บางพื้นที่ที่แล้งอยู่แล้วจะยิ่งแห้งแล้งมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้น้ำระเหยจากพื้นผิวมากขึ้นกลายเป็นไอน้ำในอากาศ ด้วยความที่อากาศอุ่นสามารถกักเก็บไอน้ำได้มากกว่า จึงเกิดวงจรที่ทำให้โลกร้อนยิ่งขึ้น และน้ำระเหยมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีความชื้นที่ผิวโลกน้อยลง ก็จะเกิดภัยแล้งบ่อยและรุนแรงขึ้นได้

พายุหมุนเขตร้อน: เมื่อมหาสมุทรที่ร้อนขึ้นและความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น พายุหมุนเขตร้อนจึงสามารถทำให้เกิดฝนตกหนักและต่อเนื่องได้มากขึ้น พายุเฮอริเคน ไต้ฝุ่น และพายุหมุนเขตร้อนยังเพิ่มความเสี่ยงของน้ำท่วมชายฝั่ง เนื่องจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นนำไปสู่คลื่นพายุซัดฝั่งที่รุนแรงขึ้น นอกจากนี้ พายุที่เกิดขึ้นยังมีโอกาสมากขึ้นที่จะรุนแรงขึ้นอย่างรวดเร็วอีกด้วย

ฝนตกหนัก: เมื่ออุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ชั้นบรรยากาศที่ร้อนสามารถกักเก็บไอน้ำเอาไว้ได้มาก ซึ่งน้ำที่เก็บกักไว้เป็นจำนวนมากนี้จะทำให้เกิดฝนตกหนัก หิมะตกหนัก และหยาดน้ำฟ้าประเภทอื่น ๆ ที่เกิดจากพายุ ในปัจจุบัน ฝนตกหนักขึ้นจนกลายเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นเป็นประจำ และจะยิ่งตกหนักและบ่อยยิ่งขึ้นไปเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิโลกที่เพิ่มขึ้น

น้ำท่วม: การเพิ่มขึ้นของไอน้ำในบรรยากาศทำให้บางพื้นที่ที่มีฝนตกชุกอยู่แล้วยิ่งมีฝนเพิ่มขึ้นอีก ปริมาณน้ำฝนที่มากเกินขีดความสามารถของระบบระบายน้ำตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น อาจนำไปสู่น้ำท่วมที่สร้างความเสียหายได้อย่างมาก อีกทั้งระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นก็จะทำให้น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งรุนแรงขึ้นด้วย

น้ำท่วมจากน้ำขึ้นสูง: เมื่ออุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้น การอุ่นขึ้นของมหาสมุทรและการละลายของน้ำแข็งบนแผ่นดินทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำขึ้นสูงกว่าปกติ และเพิ่มความเสี่ยงของน้ำท่วมแม้ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นแล้วในเมืองชายฝั่ง เช่น ไมอามีและกรุงเทพฯ

คลื่นความร้อนในมหาสมุทร: ภาวะโลกร้อนสามารถทำให้เกิดคลื่นความร้อนในมหาสมุทรได้ ปะการังและสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิดไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และอาจตายลงเมื่อเผชิญกับคลื่นความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวัน เช่นเดียวกับคลื่นความร้อนบนบก คลื่นความร้อนในมหาสมุทรมีแนวโน้มจะเกิดบ่อยและรุนแรงขึ้นเมื่อโลกร้อนขึ้น

ผลกระทบที่เกิดร่วมกัน: เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วหลายประเภทสามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้ ในบางพื้นที่ คลื่นความร้อนและภัยแล้งเกิดขึ้นพร้อมกันบ่อยขึ้น และแนวโน้มนี้มีแนวโน้มจะดำเนินต่อไปเมื่อโลกร้อนขึ้น เช่นเดียวกับภัยน้ำท่วม ซึ่งอาจทวีความรุนแรงจากฝนตกหนักและระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น และจะเพิ่มความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายตามแนวชายฝั่ง

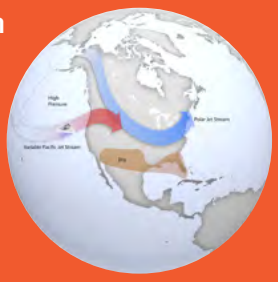
เอลนีโญและลานีญา

เอลนีโญและลานีญาเป็นปรากฏการณ์ทางภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อรูปแบบสภาพอากาศทั่วโลก รวมถึงในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความกดอากาศในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน

เอลนีโญ



ลานีญา



เอลนีโญเป็นช่วงร้อน โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางและตะวันออกจะสูงกว่าค่าเฉลี่ยอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงนี้รบกวนระบบการหมุนเวียนในชั้นบรรยากาศ และมักนำไปสู่สภาพอากาศที่แห้งแล้งขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ระหว่างเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ประเทศอย่างอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และมาเลเซียอาจเผชิญกับภัยแล้ง การขาดแคลนน้ำ และไฟป่าที่รุนแรง ตัวอย่างเช่น เอลนีโญในปี พ.ศ. 2558-2559 ทำให้เกิดภัยแล้งรุนแรงและไฟป่าครั้งใหญ่ในอินโดนีเซีย ส่งผลให้มลพิษทางอากาศอยู่ในระดับอันตรายทั่วเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในเวียดนาม การบริหารจัดการน้ำที่ไม่เพียงพอทำให้เกิดภัยแล้งรุนแรง ซึ่งสร้างความเสียหายแก่พื้นที่ปลูกข้าวกว่า 160,000 เฮกตาร์ในเขตชายฝั่ง

ในทางตรงกันข้าม ลานีญาเป็นช่วงเย็น โดยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางและตะวันออกจะเย็นกว่าปกติ โดยทั่วไป ลานีญาจะทำให้เอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีสภาพอากาศที่ชื้นขึ้น ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงของน้ำท่วม โดยเฉพาะในประเทศอย่างฟิลิปปินส์และไทย ปรากฏการณ์ลานีญาในปี พ.ศ. 2553-2554 ทำให้เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่ในประเทศไทย ส่งผลให้ประชาชนหลายล้านคนต้องอพยพ และสร้างความเสียหายต่อผลผลิตทางการเกษตรและโครงสร้างพื้นฐาน

สาเหตุของเอลนีโญและลานีญาเกี่ยวข้องกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระแสน้ำในมหาสมุทรและรูปแบบของชั้นบรรยากาศ ปรากฏการณ์เหล่านี้มีอิทธิพลต่อกระแสลมและรูปแบบการพาความร้อนในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งส่งผลต่อระบบสภาพอากาศทั่วโลก นอกจากนี้ ปรากฏการณ์ทั้งสองยังสามารถทำให้เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วอื่น ๆ เช่น พายุไต้ฝุ่นทวีความรุนแรงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบมากเป็นพิเศษต่อภูมิภาคนี้

คณะกรรมการ IPCC คาดการณ์ว่า เอลนีโญและลานีญาจะเกิดถี่ขึ้นและรุนแรงขึ้น อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น การทำความเข้าใจและเตรียมพร้อมรับมือกับผลกระทบของเอลนีโญและลานีญาจึงมีความสำคัญต่อความสามารถในการปรับตัวของประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และของทั้งโลก

สามารถคาดการณ์สภาพอากาศสุดขั้วล่วงหน้าได้หรือไม่

น่าเสียดายที่ในหลายกรณี การคาดการณ์ปรากฏการณ์สภาพอากาศสุดขั้วล่วงหน้าทำได้จำกัด โดยทั่วไป ขีดจำกัดของการพยากรณ์อากาศสามารถทำได้ล่วงหน้าสูงสุดประมาณ 14 วัน เนื่องจากชั้นบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงโดยสิ้นเชิงในทุกสองสัปดาห์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถติดตามการพัดของกระแสลมได้นานกว่านั้น ตัวอย่างของการพยากรณ์ในระดับระยะยาว อาจทำได้เพียงระบุว่า ‘ฤดูหนาวปีนี้จะเย็นกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 1 องศาเซลเซียส’

การพยากรณ์ระยะสั้นมีความแม่นยำมากกว่า ความแม่นยำของการพยากรณ์อากาศอาจแตกต่างกันไปตามเทคโนโลยีและวิธีการที่สำนักงานอุตุนิยมวิทยาและผู้ให้บริการพยากรณ์อากาศใช้ ตัวอย่างเช่น การพยากรณ์อากาศสำหรับวันพรุ่งนี้โดยหน่วยงานอุตุนิยมวิทยายุโรปมีความถูกต้องร้อยละ 96 การพยากรณ์สำหรับวันมะรืนนี้มีความถูกต้องร้อยละ 93 และการพยากรณ์ล่วงหน้าสามวันมีความแม่นยำร้อยละ 90 อีกตัวอย่างในเอเชียได้แก่ การพยากรณ์พายุล่วงหน้าห้าวันและพยากรณ์ฝนตกล่วงหน้าสามวันของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาเวียดนามมีความแม่นยำร้อยละ 80-90 ในประเทศจีน การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของวันพรุ่งนี้มีความแม่นยำประมาณร้อยละ 86 การพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายวันมีความแม่นยำร้อยละ 83 ในขณะที่การพยากรณ์พายุฝนมีความแม่นยำประมาณร้อยละ 91 ในปัจจุบัน การออกคำเตือนล่วงหน้าสำหรับเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงสามารถทำได้เพียงประกาศในภาพกว้างเท่านั้น ตัวอย่างเช่น สามารถคาดการณ์ได้ว่าอุณหภูมิสุดขั้ว ซึ่งก่อนหน้านี้เคยเกิดขึ้นในยูเรเชียตอนเหนือทุก 20 ปี จะเกิดบ่อยขึ้นสามเท่า (นั่นคือ กลายเป็นเกิดขึ้นทุก ๆ 7 ปี) ภายในกลางคริสต์ศตวรรษที่ 21 และอาจเกิดขึ้นทุก 3-5 ปีภายในปลายคริสต์ศตวรรษ ทำให้กลายเป็นปรากฏการณ์ที่พบได้เกือบปกติ

เรื่องเล่าพื้นบ้านเกี่ยวกับสภาพอากาศน่าเชื่อถือหรือไม่

เรื่องเล่าพื้นบ้านเกี่ยวกับสภาพอากาศเป็นตำนานพื้นบ้านที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์สภาพอากาศ แม้ว่าเรื่องเล่าเหล่านี้จะเป็นที่นิยม แต่ก็ไม่ได้ช่วยในการพยากรณ์อากาศจริง แม้กระทั่งในช่วงเวลาที่ปู่ย่าตายายยังหนุ่มสาว วิธีพื้นบ้านดั้งเดิมในการทำนายสภาพอากาศก็มักใช้ไม่ได้ผล และในปัจจุบัน ตำนานอากาศพื้นบ้านของบางพื้นที่ก็ได้สูญเสียความเชื่อมโยงกับพื้นที่นั้น ๆ ไปแล้ว แม้ในอดีตจะเคยมีมูลความจริงอยู่ ตัวอย่างเช่น ในภาษาอังกฤษมีคำกล่าวว่า “Ash leaf before the oak, then we will have a summer soak; oak leaf before the ash, the summer comes without a splash.” (ถ้าใบแอชผลิใบก่อนใบโอ๊ก ฤดูร้อนจะชื้นแฉะ แต่ถ้าใบโอ๊กผลิใบก่อนใบแอช ฤดูร้อนจะไม่ค่อยมีฝน) ในอดีต คำกล่าวนี้อาจเป็นจริงในบางพื้นที่ของสหราชอาณาจักร แต่เมื่อผู้คนเริ่มย้ายถิ่นฐานภายในประเทศและไปต่างประเทศโดยนำคำกล่าวนี้ไปด้วย ก็อาจส่งผลให้เกิดความสับสนขึ้นได้ ดังนั้น เรื่องเล่าพื้นบ้านเกี่ยวกับสภาพอากาศจึงอาจไม่สามารถใช้ได้เหมือนในอดีตอีกต่อไป

ควรทำอย่างไร จะรับมือกับสภาพอากาศสุดขั้วได้อย่างไร มนุษย์จะปรับตัวได้หรือไม่

องค์การสหประชาชาติ (UN) ได้แนะนำให้ใช้ระบบเตือนภัยล่วงหน้าเป็นองค์ประกอบสำคัญของการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจัดการความเสี่ยงด้านสภาพอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วและระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ระบบเหล่านี้สามารถช่วยชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชายฝั่ง พื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วม และผู้ที่พึ่งพาเกษตรกรรมในการรับมือกับน้ำท่วมและพายุไซโคลน เพื่อลดความเปราะบางต่อเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่ต้องเผชิญ นายอันโตนิโอ กูเตอร์เรส (António Guterres) เลขาธิการสหประชาชาติ ได้เรียกร้องให้ทุกคนบนโลกได้รับการปกป้องด้วยระบบเตือนภัยล่วงหน้าภายในปี พ.ศ. 2570 เขาได้เปิดตัวโครงการริเริ่ม ‘การเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับทุกคน’ (Early Warnings for All หรือ EW4All) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 ที่การประชุมรัฐภาคี กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP27) ณ เมืองชาร์มเอลชีค ประเทศอียิปต์ นอกจากนี้ องค์การสหประชาชาติยังได้เปิดตัวความร่วมมือ ‘ระบบความเสี่ยงสภาพภูมิอากาศและการเตือนภัยล่วงหน้า’ (Climate Risk and Early Warning Systems: CREWS) เพื่อช่วยเหลือประเทศที่มีความเสี่ยงสูงแต่ขาดแคลนระบบเตือนภัยล่วงหน้าในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านนี้ ในทำนองเดียวกัน องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) แนะนำให้ใช้ระบบเตือนภัยล่วงหน้าเพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของอัตราการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับคลื่นความร้อนและการระบาดของโรคที่เกิดจากสภาพอากาศสุดขั้ว

ไต้ฝุ่นยางีในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปี พ.ศ. 2567

ในเดือนกันยายน พ.ศ 2567 ไต้ฝุ่นยางี ซึ่งเป็นหนึ่งในไต้ฝุ่นที่มีความรุนแรงที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในรอบหลายทศวรรษ ได้พัดผ่านหลายประเทศในภูมิภาค รวมถึงฟิลิปปินส์ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และเวียดนาม พายุฝนที่ตกหนัก น้ำท่วมรุนแรง และดินถล่มทำให้ชีวิตผู้คนต้องหยุดชะงักและสร้างความเสียหายอย่างกว้างขวาง ในเวียดนาม ไต้ฝุ่นได้พัดเข้าฝั่งในจังหวัดทางตอนเหนือ ส่งผลให้มีการอพยพผู้คนหลายพันคน และเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงทั้งในบ้านเรือน โครงสร้างพื้นฐาน และที่ดินการเกษตร

หลังจากเหตุการณ์นี้ เวียดนามได้เร่งรัดการดำเนินการด้านการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อเสริมสร้างความยืดหยุ่นต่อเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว ด้วยการสนับสนุนจากองค์กรระหว่างประเทศและกองทุนด้านสภาพภูมิอากาศ ประเทศกำลังดำเนินมาตรการเฉพาะที่มุ่งเป้าไปยังการปกป้องชุมชนที่เปราะบาง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแนวโน้มเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมและพื้นที่ชายฝั่งที่ต่ำ



มาตรการปรับตัวสำคัญในเวียดนาม:

- **การฟื้นฟูระบบระบายน้ำธรรมชาติ:** มีโครงการกำลังดำเนินการฟื้นฟูป่าชายเลน ทำความสะอาดและขุดลอกคูระบายน้ำ รวมถึงฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำ เพื่อ ลดผลกระทบจากคลื่นพายุและฝนตกหนัก
- **การปรับปรุงบ้านเรือนที่เปราะบางให้ทนต่อสภาพอากาศสุดขั้ว:**

  ครัวเรือนได้รับการสนับสนุนผ่านการเงินระดับย่อยและความช่วยเหลือด้านเทคนิค เพื่อยกระดับโครงสร้างและใช้วัสดุก่อสร้างที่ทนทานต่อพายุ
- **การสร้างศูนย์หลบภัยพายุเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมและภัยพิบัติ:** ที่พักอาศัยเอนกประสงค์ที่ทนทานต่อสภาพอากาศในพื้นที่เสี่ยงกำลังก่อสร้าง เพื่อใช้เป็นที่หลบภัยในช่วงพายุและเป็นพื้นที่ชุมชนที่ใช้งานได้ในช่วงเวลาปกติ

มาตรการเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของกลยุทธ์การปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศที่กว้างขึ้นของเวียดนาม ซึ่งมุ่งลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติและเสริมสร้างความยืดหยุ่นในการเผชิญกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทวีความรุนแรงขึ้น



คุณไม่จำเป็นต้องเป็นนักวิทยาศาสตร์ นักอุตุนิยมวิทยา หรือเจ้าหน้าที่กู้ภัยเพื่อตอบคำถามเกี่ยวกับการรับมือกับสภาพอากาศสุดขั้ว คำตอบนั้นง่ายมาก คุณต้องเริ่มต้นที่ตัวเอง คุณต้องช่างสังเกตและต้องมีความใส่ใจกับสิ่งรอบตัว ความช่างสังเกตนั้นตรงไปตรงมา ติดตามข่าวสารทางวิทยาศาสตร์ล่าสุด และอย่ามองข้ามข้อเรียกร้องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเมื่อคุณวางแผนโครงการระยะยาว ตัวอย่างเช่น การพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยใหม่ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่เสี่ยงต่อดินถล่มหรือพื้นที่ที่เป็นทาง

น้ำไหล ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลของน้ำท่วมได้ การมีความใส่ใจเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่า จำเป็นต้องระมัดระวังพฤติกรรมและเริ่มเปลี่ยนนิสัยบางอย่าง เช่น ต้องเรียนรู้วิธีประหยัดพลังงานและการปฏิบัติตัวในสถานการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว ตัวอย่างเช่น ควรรู้วิธีปฐมพยาบาลเบื้องต้นให้กับผู้ที่เป็นลมแดดจากอากาศร้อน

วิธีเอาตัวรอดจากพายุหมุนเขตร้อน (ไต้ฝุ่น) พายุฝนฟ้าคะนอง ลมพายุหมุน หรือพายุทอร์นาโด

เมื่อได้ยินประกาศเตือนพายุ

- ปิดประตู หน้าต่าง ช่องระบายอากาศ และช่องทางที่ลมเข้าได้ทั้งหมด
- นำสิ่งของที่อาจถูกลมพัดปลิวออกจากขอบหน้าต่าง ระเบียง และพื้นที่เปิดโล่ง
- ปิดแก๊ส น้ำ และไฟฟ้า รวมถึงดับไฟในเตาไฟและเตาผิง
- เตรียมเสบียงอาหารและน้ำดื่มให้เพียงพอ
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีสิ่งของจำเป็นและเอกสารสำคัญพร้อม
- หาที่หลบภัย เช่น ชั้นใต้ดินหรืออาคารที่แข็งแรง

หากพายุหมุนเขตร้อน (ไต้ฝุ่น) พายุฝนฟ้าคะนอง หรือพายุทอร์นาโดเกิดขึ้นโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า:

a) หากคุณอยู่ในบ้าน:

- อยู่ห่างจากหน้าต่าง
- ให้อยู่ในบ้านและซ่อนตัวในที่ปลอดภัย (ชั้นใต้ดินหรือชั้นล่างของบ้านจะดีที่สุด)



b) หากคุณอยู่นอกอาคาร:

- รีบหาที่หลบภัย เช่น ทางเดินใต้ดิน ร้านค้า หรือบริเวณเฉลียงของอาคาร
- หาที่กำบังทางธรรมชาติ (เช่น ช่องเขา บ่อ คูน้ำ หรืออื่น ๆ) เข้าไปให้ลึกที่สุดแล้วนอนราบกับพื้น
- อยู่ห่างจาก ป้ายโฆษณา ป้ายรถเมล์ ต้นไม้ สะพาน สายไฟ
- ห้ามแตะต้องสายไฟที่โดนลมพัดขาดหลุดจากเสาโดยเด็ดขาด

อย่าออกจากที่หลบภัยทันทีหลังจากพายุผ่านไป เพราะอาจมีลมกระโชกแรงระลอกใหม่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด

คำถาม

1 พยากรณ์สภาพอากาศในเขตเมืองและชนบทได้ยากขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

2 สมมติว่าครอบครัวอยากจะฉลองเทศกาลปีใหม่กันกลางแจ้ง แต่จะทำอะไรก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อาจจะต้องอยู่แต่ข้างในถ้าอากาศไม่ดี ถ้าประมาณการคร่าว ๆ วันที่เท่าไหร่ถึงจะสามารถคาดการณ์สภาพอากาศเดือนธันวาคมได้

3 เหตุใดสภาพอากาศสุดขั้วจึงเป็นอันตรายต่อผู้คน

4 แผ่นดินไหวจัดเป็นเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วหรือไม่

5 เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่มนุษย์ประสบกันอยู่ทุกวันนี้ (เช่น ลมแรง น้ำท่วม คลื่นความร้อน เป็นต้น) เกิดขึ้นในอดีตด้วยหรือไม่

6 ควรใช้มาตรการในการปรับตัวแบบใดรับมือกับผลกระทบด้านภูมิอากาศจากสภาพอากาศสุดขั้ว





กิจกรรม

หาข้อมูลจากคุณครูวิชาภูมิศาสตร์ว่าลักษณะสำคัญ ๆ ของสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่อาศัยอยู่มีอะไรบ้าง

ฤดูร้อนล่าสุดเป็นอย่างไร ร้อนกว่าหรือเย็นกว่าปกติไหม



2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อพืชและสัตว์อย่างไร

ความหลากหลายทางชีวภาพคืออะไร

ความหลากหลายทางชีวภาพ

คือพืชและสัตว์ชนิดต่าง ๆ กลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราและจุลินทรีย์ทุกประเภทรวมทั้งสภาพแวดล้อม (ภูมิทัศน์) หลายรูปแบบและตัวแปรมากมายมหาศาลของยีนของสิ่งมีชีวิตที่คล้าย ๆ กัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าความหลากหลายทางชีวภาพก็คือความหลากหลายของรูปแบบและการปรากฏตัวของสิ่งมีชีวิตบนโลก

นักวิทยาศาสตร์จำแนกความหลากหลายทางชีวภาพออกเป็นสามประเภทหลักได้แก่:

- ความหลากหลายทางพันธุกรรม (ของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน)
- ความหลากหลายของชนิดหรือชนิดพันธุ์ (ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก)
- ความหลากหลายของภูมิทัศน์หรือระบบนิเวศ (ของสภาพแวดล้อมทุกรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่)

ความหลากหลายทางพันธุกรรมคืออะไร ตัวอย่างเช่นห่านทุกตัวในฝูงหนึ่งอาจดูเหมือนกันหมด แต่ที่จริงแล้วทุกตัวล้วนแตกต่างกันอยู่บ้าง ความหลากหลายทางพันธุกรรมทำให้เกิดชนิดพันธุ์ใหม่ ๆ ขึ้น นักชีววิทยาเชื่อว่าความแตกต่างทางพฤติกรรมและรูปลักษณ์อย่างกรณีของหมีสองชนิดพันธุ์นั้นอาจเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านไปหลายรุ่นอายุ และหลังจากที่ผ่านไปหลายปีเหลนโหลนของหมีเหล่านี้ก็มาตั้งถิ่นฐานในภูมิภาคใหม่ เปลี่ยนวิธีหาอาหารและเตรียมจำศีลวิธีใหม่ (หรือเลิกจำศีลไปเลย) นี่คือการเกิดสองชนิดพันธุ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้ก็คือหมีสีน้ำตาล (Brown Bear) และหมีควาย (Asian Black Bear)

ความหลากหลายทางพันธุกรรมทำให้เกิดชนิดพันธุ์ใหม่ ๆ ขึ้น นักชีววิทยาเชื่อว่าความแตกต่างทางพฤติกรรมและรูปลักษณ์อย่างกรณีของหมีสองชนิดพันธุ์นั้นอาจเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านไปหลายรุ่นอายุ และหลังจากที่ผ่านไปหลายปีเหลนโหลนของหมีเหล่านี้ก็มาตั้งถิ่นฐานในภูมิภาคใหม่ เปลี่ยนวิธีหาอาหารและเตรียมจำศีลวิธีใหม่ (หรือเลิกจำศีลไปเลย) นี่คือการเกิดสองชนิดพันธุ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้ก็คือหมีสีน้ำตาลและหมีควาย

หมีสีน้ำตาล



หมีควาย



ความแตกต่างระหว่างสัตว์ชนิดพันธุ์ต่าง ๆ และการจำแนกประเภทที่ใหญ่กว่านั้นอย่างไฟลัมและชั้นนั้นชัดเจน ไม่ต้องเป็นนักวิทยาศาสตร์ก็มองเห็นความแตกต่างระหว่างดอกแดนดิไลอันกับกล้วยกล้าย แมลงปอกับมดหรือกากับสุนัขจิ้งจอก แต่เหตุใดพืชและสัตว์เหล่านี้ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อีกหลายล้านชนิดพันธุ์ถึงแตกต่างกันมาก

ทุ่งหญ้าสะวันนาของแอฟริกาและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่



สิ่งมีชีวิตบนโลกแต่ละชนิดพันธุ์ต่างมีบทบาทเฉพาะของตัวเอง ที่ทุ่งหญ้าสะวันนาในอัฟริกาม้าลายกินปลายหญ้า ละมั่งและวัวกินหญ้าส่วนล่างลงมาในขณะที่เนื้อทรายจะแทะบริเวณโคนหญ้าและหมูป่าหน้าหูดจะขุดรากและหน่อหญ้าขึ้นมากิน อาหารจากพืชได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่และสัตว์ชนิดต่าง ๆ ก็ไม่ต้องแย่งอาหารกัน นั่นคือสัตว์ส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในบางบริเวณกินดีอยู่ดีและมีสุขภาพดี และระบบนิเวศโดยรวมก็จะมีความมั่นคงต่อไปเป็นเวลานาน ทั้งหมดก็เป็นเพราะความหลากหลายของชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

นักเดินทางผู้มีความใส่ใจสามารถมองเห็นความหลากหลายของระบบนิเวศได้ไม่ยากถ้าเห็นความแตกต่างระหว่างป่าอัลเดอร์กับเบิร์ชหรือแนวปะการังกับพืชชายเลน ความหลากหลายอันนับไม่ถ้วนของระบบนิเวศในธรรมชาตินั้นเปรียบเหมือนทิวทัศน์หลากสีสันที่วัฏจักรชีวิตวนเวียนไม่สิ้นสุด เว้นแต่ว่าทิวทัศน์นี้เองมีบทบาทสำคัญมากในวัฏจักรนี้ ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ได้สร้างสภาพความเป็นอยู่ให้สิ่งมีชีวิตจำนวนมหาศาล ให้แหล่งอาหารและน้ำ ที่พักอาศัยและเส้นทางในการย้ายถิ่นฐาน ตัวอย่างเช่นพืชบางชนิดในหุบเขาลึกที่เปียกชื้นสามารถทนต่อไฟป่าที่รุนแรงได้ หากแมลงบางชนิดเป็นจำนวนมากจะมาสร้างความเสียหายให้ไร่มันฝรั่ง พวกมันก็จะถูกยับยั้งโดยบริเวณซึ่งจะเย็นลงจนแข็งในช่วงฤดูหนาว สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติยิ่งมีความหลากหลายมากขึ้นเท่าไร สิ่งมีชีวิตชนิดพันธุ์ต่าง ๆ ก็มีโอกาสรอดชีวิตมากขึ้นเท่านั้นและระบบนิเวศก็จะยังคงอยู่ต่อไป

ชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวโลกอย่างไม่เท่ากัน ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ในธรรมชาติมีมากที่สุดบริเวณเส้นศูนย์สูตรและจะลดลงเมื่อเข้าใกล้ขั้วโลก ชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตมีความหลากหลายมากที่สุดในระบบนิเวศป่าดิบชื้นซึ่งครอบคลุมบริเวณประมาณร้อยละ 7 ของพื้นโลกแต่เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่เป็นที่รู้จักในปัจจุบันมากกว่าร้อยละ 90

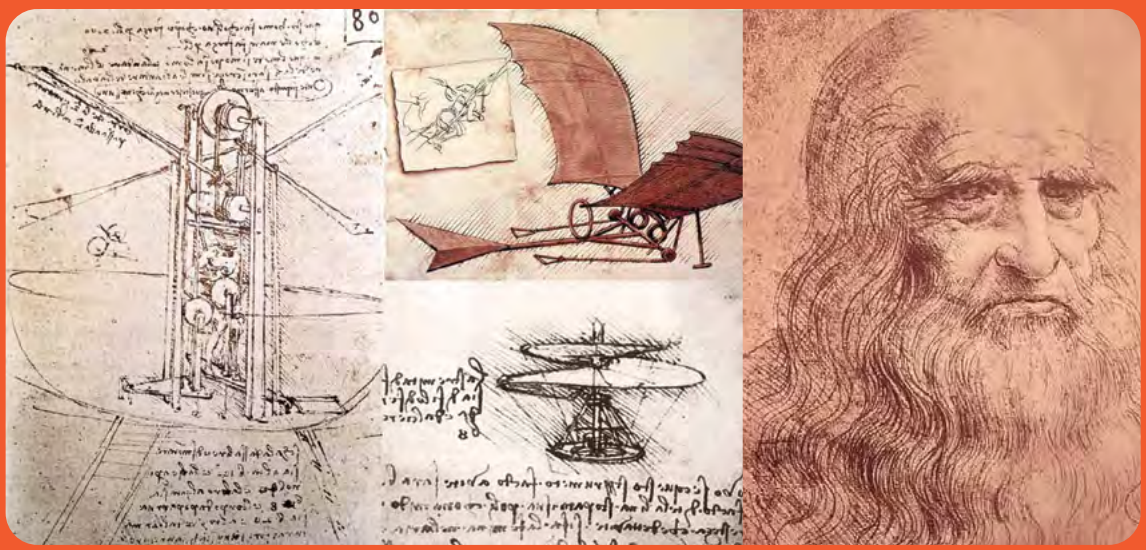


เหตุใดความหลากหลายทางชีวภาพจึงสำคัญนัก

อย่าลืมว่าตั้งแต่อดีตมาจนถึงเมื่อไม่นานนี้ (ในบริบททางประวัติศาสตร์) ทุกอย่างที่มนุษย์กิน ใช้สร้างที่พักอาศัยใช้เป็นยา ทำเครื่องนุ่งห่มและใช้ในการคมนาคมล้วนมาจากธรรมชาติทั้งสิ้น อาจจะบอกว่าใช่แต่ไม่ได้เป็นเช่นนั้นแล้ว แต่ก็อาจเข้าใจผิด ตัวอย่างเช่นนักวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ยังใช้เวลามากในการสำรวจป่าชื้นเพื่อค้นหาวัตถุดิบจากธรรมชาติเพื่อผลิตยาชนิดใหม่ ๆ พันธุ์พืชป่าเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างความหลากหลายของพืชผลแบบใหม่ ๆ ส่วนพวกวิศวกรก็ได้ ‘หยิบยืม’ นวัตกรรมจำนวนมากมาจากอาณาจักรของสัตว์ พืช กลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราและจุลินทรีย์

แต่นั่นก็ไม่ใช่บทบาทที่สำคัญที่สุดของความหลากหลายทางชีวภาพ ที่สำคัญที่สุดก็คือความหลากหลายทางชีวภาพช่วยสร้างถิ่นที่อยู่ให้ทุกสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ด้วย หมายความว่าอะไรกันแน่ เป็นเวลาหลายล้านปีแล้วซึ่งทุกสิ่งที่เติบโต วิ่ง ว่ายน้ำ คลาน และบินบนโลกได้ปรับตัวให้เข้ากับการประกอบตัวของชั้นบรรยากาศโลก ความเปลี่ยนแปลงของ ‘สูตรผสม’ ก๊าซนี้อาจเกิดขึ้นเพียงน้อยนิด แต่เมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศที่ใช้หายใจลดลงเพียงเล็กน้อย มนุษย์และสัตว์ชนิดอื่น ๆ ก็จะรู้สึกไม่สบายแล้ว ถ้าระดับออกซิเจนลดลงไปอีก ก็จะรู้สึกแย่ลงมาก แล้วอะไรที่ช่วยรักษาระดับออกซิเจนในชั้นบรรยากาศ พืชสีเขียว!

เทคโนโลยีชีวจักรกลช่วยแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมโดยใช้ความรู้เรื่องโครงสร้างและการทำงานของสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างเช่น การวางโครงสร้างตัวเรือแบบใหม่มาจากการศึกษาโครงสร้างผิวหนังปลาโลมาและได้ช่วยเพิ่มความเร็วเรือขึ้นร้อยละ 15-20 เลโอนาร์โด ดา วินชี (Leonardo da Vinci) ศิลปินและนักวิทยาศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่เป็นหนึ่งในผู้ริเริ่มการศึกษาด้านเทคโนโลยีชีวจักรกล เขาพยายามสร้าง ‘ออร์นิธอปเตอร์’ เครื่องบินที่ปีกกระพือได้เหมือนปีกนก



พืชและสัตว์ กลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราและจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมกันเป็นระบบที่ซับซ้อนและปรับเปลี่ยนอย่างละเอียด ลองจินตนาการได้ใช้เวลาสองปีเต็มกับเพื่อน ๆ อยู่ในยานอวกาศที่เดินทางไปดาวอังคารและกลับมายังโลก นึกถึงชิ้นส่วนต่าง ๆ อุปกรณ์และเครื่องมืออื่น ๆ ที่อยู่ในยานอวกาศ คิดว่าโลกจะเหมือนกับยานอวกาศไหม แต่ละ ‘ชิ้นส่วน’ ถูกสร้างขึ้นจากวิวัฒนาการนับล้านปี การทำงานของแต่ละชิ้นส่วนถูกปรับให้ทำงานร่วมกันอย่างกลมกลืนกับชิ้นส่วนอื่น ๆ อีกหลายพัน จะเกิดอะไรขึ้นถ้าความผิดพลาดของลูกเรือคนหนึ่งหรืออุกกาบาตสร้างความเสียหายให้อุปกรณ์หลายชิ้นในยานอวกาศ อาจเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ที่คล้ายกันได้อย่างน้อยก็สักพักหนึ่ง แต่ถ้าเกิดอุบัติเหตุอื่นในอวกาศอีกเล่า

ความหลากหลายทางชีววิทยาบนโลกก็คล้ายกัน ทุกสิ่งมีชีวิตต่างก็มีหน้าที่สำคัญ สิ่งมีชีวิตหนึ่งแปรรูปพลังงานจากดวงอาทิตย์ อีกหนึ่งใช้พลังงานที่แปรรูปแล้วนั้นเพื่อไล่ล่าหรือหลบหนีจากนักล่า อีกหนึ่งย่อยสลายไม้ตายหรือซากสัตว์ที่ตายแล้ว และอื่น ๆ ทุกสิ่งตั้งแต่ต้นเบาบับขนาดยักษ์ไปจนถึงไลเคนรอยคราบบนเปลือกไม้ขนาดเล็กที่สุด ตั้งแต่ปลาวาฬที่ทรงพลังที่สุดไปจนถึงแมงกะพรุนที่เบาที่สุดล้วนแล้วแต่เป็นองค์ประกอบสำคัญของชีวิตบนโลก นอกจากนั้นก็ยังมีสิ่งมีชีวิตที่ยังไม่ได้ค้นพบอีก

อาจจะมีไม่มากนัก แต่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก็จำเป็นเช่นกัน อาจจะพูดว่า “เคยมีช่วงเวลาหนึ่งในประวัติศาสตร์ของชีวิตบนโลกเมื่อกลุ่มสิ่งมีชีวิตทั้งกลุ่มสูญพันธุ์ไป เพราะฉะนั้นการสูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์หนึ่งก็ไม่ใช่หายนะ แม้แต่ของสิบหรือร้อยชนิดพันธุ์ก็...” แต่หยุดก่อน! คิดผิดแล้ว! ไม่รู้ว่ายานอวกาศสามารถทนต่อความสูญเสียได้มากแค่ไหน บางทีอาจเลยขีดจำกัดไปแล้วก็ได้ในประวัติศาสตร์สั้น ๆ ของมนุษยชาติ ธรรมชาติได้สูญเสียชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตไปแค่ร้อยหรือพัน แต่มากกว่านั้นอย่างไม่สามารถย้อนกลับให้เป็นเหมือนเดิมได้

อีกประเด็นที่สำคัญก็คือ อาจพิจารณาว่าความหลากหลายทางชีววิทยาเป็นเครื่องมือวัดความยั่งยืนและสุขภาวะของโลกธรรมชาติ ถ้ามีสิ่งมีชีวิตมากมายหลายชนิดพันธุ์ที่ต่างก็ทำหน้าที่ของตนเองอย่างเหมาะสมแล้ว ป่าฝนเขตร้อน แนวปะการังในมหาสมุทรหรือพื้นที่ชุ่มน้ำในป่าก็จะสามารถดำรงอยู่ต่อไปได้อีกยาวนาน

ตั้งแต่เริ่มต้นสมัยประวัติศาสตร์บทลงโทษที่รุนแรงที่สุดบทหนึ่งก็คือการคุมขังมนุษย์ไว้เป็นเวลานานในห้องเล็ก ๆ ผนังสีเทา ไม่สามารถมองเห็นท้องฟ้าหรือสื่อสารกับเพื่อนมนุษย์คนอื่น ๆ ได้

ถ้าโลกนี้มีพืชที่มีดอกสวยงามและกลิ่นหอมน้อยลง (หรือแม้แต่ดอกไม้ที่ไม่สะดุดตาและไม่มีกลิ่นก็ตาม) มีตัวเพียงพอนและการหมุนตัวอย่างรวดเร็วน้อยลง (หรือแม้แต่ตัวนิ่มที่ซุ่มซ่ามและเต่าที่เคลื่อนที่ช้า) แล้วโลกที่มนุษย์อยู่ร่วมกันนี้ก็จะกลายเป็นเหมือนห้องขังสีเทาที่น่าเบื่อมากขึ้นทุกที ๆ

ปัจจัยใดบ้างที่เป็นภัยคุกคามต่อความหลากหลายทางชีวภาพ

กิจกรรมของมนุษย์เป็นภัยคุกคามที่ใหญ่ที่สุดต่อการดำรงอยู่ของธรรมชาติที่ไม่ถูกรบกวนทั้งหมดในความหลากหลายทางชีวภาพ ทั้งโค่นป่า ไถทุ่งหญ้าสเตปป์ เผาทุ่งหญ้าสะวันนา ใช้น้ำจากหนองน้ำจนแห้งขอด ล่าสัตว์ จับปลาและทำให้แม่น้ำเป็นพิษ แน่นอนว่า เป้าหมายไม่ใช่เพื่อทำลายโลกธรรมชาติ มนุษย์ต้องการหาอาหารมาเลี้ยงประชากรที่กำลังเติบโต หาไม้มาใช้ทำสิ่งต่าง ๆ ผลิตพลังงาน เลี้ยงสัตว์ สร้างเมือง ถนน ค่ายทหาร หลุมฝังกลบขยะและอื่น ๆ อีกมากมาย ความหลากหลายทางชีวภาพมีความเปราะบางสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติ ตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ไฟป่าและการละลายของชั้นดินเยือกแข็งไปจนถึงการแห้งขอดของพื้นที่ชุ่มน้ำและความผันผวนของระดับน้ำทะเล ต้นเหตุของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ชัดเจนอยู่แล้ว

ฤดูร้อนที่ร้อนผิดปกติหนึ่งฤดูไม่ใช่หายนะ ตลอดวิวัฒนาการหลายพันปีของพืชและสัตว์ สิ่งมีชีวิตได้ปรับตัวตามความผันผวนระยะสั้นของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปในธรรมชาติ แต่สิ่งที่เป็นภัยคุกคามต่อความหลากหลายทางชีวภาพคือการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและไม่สามารถย้อนกลับได้ของสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ลองมาหาสาเหตุกัน

การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ตลอดช่วงเวลาทั้งหมดของชีวิตบนโลกที่เป็นที่รู้จักในทางวิทยาศาสตร์ (สามพันล้านปีแล้ว) มีหลายสิบช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างกะทันหัน ทำให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัด ห้าครั้งโดดเด่นและมักเรียกว่า ‘การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่’

หนึ่งในเหตุการณ์ที่น่าตื่นเต้นที่สุดเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 250 ล้านมาแล้ว ในขณะนั้นโลกยังไม่ได้มีพืชและสัตว์ที่คุ้นเคยในปัจจุบันแต่ก็มีความหลากหลายของสิ่งชีวิตมาก และแล้วนับว่าอย่างกะทันหันในเชิงธรณีวิทยา ในช่วงเวลาไม่กี่ล้านปีชนิดพันธุ์ของสัตว์และพืชเกือบทั้งหมดก็หายไป (ในขณะนั้นมีพืชน้อยชนิดพันธุ์กว่าสัตว์มากเพราะสิ่งมีชีวิตในมหาสมุทรและทะเลซึ่งส่วนใหญ่เป็นสัตว์นั้นมีความหลากหลายมากกว่าบนบก)

การหายไปของบางชนิดพันธุ์และการเกิดขึ้นของชนิดพันธุ์ใหม่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในประวัติศาสตร์ทางธรณีวิทยาของชีวมณฑลของโลก ไม่มีชนิดพันธุ์ใดที่จะคงอยู่ตลอดกาล การสูญพันธุ์ชดเชยด้วยการเกิดขึ้นของชนิดพันธุ์ใหม่ และจำนวนทั้งหมดของชนิดพันธุ์ก็ได้เพิ่มขึ้น การสูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์เป็นกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ไม่ได้เข้ามาแทรกแซง



สาเหตุลึกลับอะไรที่ทำให้บางชนิดพันธุ์สูญพันธุ์เกือบทั้งหมดและชนิดพันธุ์อื่น ๆ เกิดขึ้นใหม่ นักวิทยาศาสตร์มีเหตุผลหนักแน่นพอที่จะสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุหลักคือการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่บนพื้นผิวโลก เช่น การเลื่อนไหลของทวีปเหนือเปลือกโลก (ได้เรียนเรื่องนี้ในบทก่อนแล้ว) การเคลื่อนตัวของทวีปได้เปลี่ยนแปลงรูปแบบของโลกธรรมชาติในขณะนั้น รวมถึงตำแหน่งของเทือกเขาและระบบของกระแสน้ำในมหาสมุทร และ แน่นอนว่าได้เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอย่างมาก หลังจากยุคโบราณที่โลกเย็นลงก็มาถึงยุคที่สภาพภูมิอากาศเริ่มอุ่นขึ้น อากาศแห้งขึ้นและมีความผันผวนทางฤดูกาลมากขึ้น ระดับออกซิเจนในชั้นบรรยากาศพื้นผิวก็เปลี่ยนแปลงเช่นกัน ทั้งหมดนี้นำไปสู่การแทนที่ครั้งใหญ่ของบางชนิดพันธุ์ด้วยชนิดพันธุ์ใหม่ของสิ่งมีชีวิตตามที่ได้เห็น

การสูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่า แต่ไม่เคยมากเท่าครั้งแรกนี้อีกเลย เมื่อประมาณ 60 ล้านปีก่อน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของสภาพแวดล้อมบนโลก นำไปสู่การสูญพันธุ์ของไดโนเสาร์กลุ่มสุดท้าย ปรากฏการณ์นี้มาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งเร่งกระบวนการแทนที่สัตว์และพืชบางชนิดพันธุ์ด้วยชนิดพันธุ์ใหม่ กลุ่มสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น แอมโมไนต์ (หอยทะเลที่มีลักษณะคล้ายเขาแกะ) และเบเลมไนต์ (ซึ่งฟอสซิลมีลักษณะคล้ายหัวลูกศร) ก็สูญพันธุ์ตามไดโนเสาร์ไปด้วย เกือบครึ่งหนึ่งของสิ่งมีชีวิตในทะเลหายไปในช่วงเวลานั้น จำนวนสิ่งมีชีวิตบนบกที่หายไปไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด เพราะซากสิ่งมีชีวิตบนบกรักษาไว้ไม่ดีเท่า

แอมโมไนต์



เบเลมไนต์



เมื่อภูมิอากาศเริ่มเย็นลง ก็มีการก่อตัวของแผ่นน้ำแข็งขึ้นที่บริเวณขั้วโลก แผ่นน้ำแข็งขนาดใหญ่ที่ปัจจุบันอยู่ในเกาะกรีนแลนด์และทวีปแอนตาร์กติกานี้สามารถเห็นได้ในภาพถ่ายโลกจากอวกาศ ต้องใช้น้ำปริมาณในการสร้างแผ่นน้ำแข็งขนาดใหญ่เช่นนี้ มหาศาล จากไหน จากมหาสมุทรเท่านั้น เมื่อแผ่นน้ำแข็งก่อตัวขึ้น ระดับน้ำทะเลลดลง และสภาพความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่ง ในทะเลและบนบก ก็เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

ดังนั้นนอกจากผลกระทบด้านอื่น ๆ แล้วการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและในระยะแรก ๆ ทำให้แย่ลง หลังจากนั้นชีวิตบนโลกก็ค่อย ๆ ฟื้นตัว แต่ก็ไม่เคยกลับมาเหมือนเดิม ต้องใช้เวลาหลายล้านปีในการฟื้นฟู สิ่งมีชีวิตชนิดที่สูญพันธุ์ไปแล้วจะไม่มีวันกลับมาอีก อยากให้มนุษย์สูญพันธุ์ไปแบบเดียวกันหรือ

สัตว์ชนิดใดมีปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเร็วที่สุด

หากไม่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างรวดเร็วในวงกว้าง สิ่งมีชีวิตชนิดพันธุ์ที่อาศัยอยู่บนบก ในทะเลและแหล่งน้ำจืดจำนวนมากขึ้นจะถูกผลักไปสู่ความตายและการสูญพันธุ์ในที่สุด ตัวอย่างเช่นในโลกที่อุณหภูมิสูงขึ้น 3 องศาเซลเซียส ประมาณร้อยละ 80 ของชนิดพันธุ์สิ่งมีชีวิตในทะเลที่อาศัยอยู่ในบริเวณส่วนใหญ่ของมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนจะประสบกับสภาพอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่มากจนเป็นอันตราย

แน่นอนทุกอย่างที่ได้พูดคุยกันจนถึงตอนนี้เกิดขึ้นในอดีตที่ห่างไกล ไกลจนไม่สามารถจินตนาการได้เลย แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในยุคปัจจุบันเป็นอย่างไร ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของชีวิตพืชและสัตว์ป่าอย่างไร

ผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างกะทันหันได้ทำให้อัตราการสูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์ทั่วโลกสูงกว่าที่การสูญพันธุ์ตามธรรมชาติหลายเท่า

สัตว์เล็ก ๆ ที่มีวงจรชีวิตสั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก จึงตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้เร็วกว่า แน่นอนว่าสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ก็มีปฏิกิริยาเช่นกัน แต่ในกรณีของพวกนั้นใช้เวลานานกว่าจะเห็นผลกระทบ วัตถุประสงค์นักวิจัยคือเพื่อเรียนรู้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นวันนี้หรือจะเกิดขึ้นในเร็ว ๆ นี้ที่จะได้ทันเห็น

การเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยแต่ต่อเนื่องของอุณหภูมิประมาณ 1.5-2 องศาเซลเซียสในเขตภูเขาของประเทศสโลวาเกีย ก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่คาดคิด ผีเสื้อที่สวยงามและรักความอบอุ่นจากตระกูลหางนกนางแอ่นคือ พอเดอลิเรียสและมาคาอานได้กระจายออกไปนอกเขตป่า-ทุ่งหญ้าสเตปป์ที่เคยอยู่และเริ่มปรากฏให้เห็นในทุ่งหญ้าที่เย็นและชื้นขึ้น นอกจากนั้นยังเริ่มขยายพันธุ์สามครั้งต่อปีแทนที่จะเป็นสองครั้งเหมือนเมื่อก่อน

ผีเสื้อชนิดอื่นในสกุลอแรชเนียก่อนหน้านี้มีสีที่แตกต่างตามฤดูกาล คือ สีน้ำตาลในฤดูใบไม้ผลิ สีดำในฤดูร้อน และสีน้ำตาลอีกครั้งในฤดูใบไม้ร่วง แต่ตอนนี้กลับมีแต่สีดำตลอดทั้งปี

ในเขตภูเขาของประเทศสโลวาเกียนักชีววิทยาได้วิเคราะห์แนวโน้มสองประการที่ตรงข้ามกันในชีวิตวงจรของด้วงเจาะเปลือกไม้สนและหนอนผีเสื้อฤดูหนาว ด้วงได้ขยายพื้นที่อยู่อาศัยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในขณะที่หนอนผีเสื้อที่หิวโหยตอนนี้หาอาหารจากต้นไม้ที่ชอบน้อยลง ในทั้งสองกรณีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพฤติกรรมของแมลง

ผีเสื้อมาคาอาน



ด้วงเจาะเปลือกไม้สน



กบแคระลายเหลือง



กบแคระลายเหลืองเป็นกบตัวเล็กที่อาศัยอยู่ในป่าฝนเขตร้อนซึ่งมีการผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นในระหว่างวันและตลอดทั้งปีน้อยแต่ก็เกิดขึ้น นักวิทยาศาสตร์สนใจความแปลกประหลาดของความสัมพันธ์ระหว่างกบและเชื้อราปรสิตซึ่งเติบโตบนตัวกบพวกนี้ พบว่าปรสิตมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมน้อยกว่าตัวโฮสต์เองมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ปรสิตเป็นอันตรายต่อกบมากขึ้น มีผลกระทบต่อประชากรทั้งหมดของชนิดพันธุ์ที่เป็นโฮสต์

โคอาลา



ปัจจุบันโคอาลาพื้นเมืองของออสเตรเลียใกล้สูญพันธุ์เนื่องจากเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศอย่างไฟป่าและน้ำท่วม เหตุการณ์ที่ทำลายป่าที่โคอาลาอาศัยอยู่เหล่านี้เกิดบ่อยขึ้นและรุนแรงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนั้นโคอาลายังได้รับผลกระทบจากภัยแล้งซึ่งทำให้ขาดแคลนน้ำและอาหารที่จำเป็นในการดำรงชีวิต

ช้าง



ช้างเอเชียอาศัยอยู่ในระบบนิเวศหลากหลายรูปแบบและกินพืชพรรณนานาชนิด ซึ่งช่วยให้ปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายประการที่ทำให้ต้องเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ข้อกังวลที่ใหญ่ที่สุดประการหนึ่งก็คือการต้องพึ่งพาน้ำจืดปริมาณมากซึ่งมีความสำคัญต่อกิจกรรมประจำวัน การสืบพันธุ์ และการย้ายถิ่นของช้าง ความแห้งแล้งและรูปแบบฝนตกที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจลดการเข้าถึงน้ำและอาหาร ภัยคุกคามอื่น ๆ เช่น การสูญเสียถิ่นที่อยู่ ความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างและการลักลอบล่าช้าง

ฮิปโปแคระ



ฮิปโปแคระอย่างหมูเด้งซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศไทยและโด่งดังไปทั่วโลกกำลังใกล้สูญพันธุ์เนื่องจากการทำลายป่าซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ ป่าส่วนใหญ่ที่ฮิปโปแคระอาศัยอยู่ในทวีปแอฟริกาใต้ทะเลทรายซาฮารา ถิ่นกำเนิดได้หายไปเนื่องจากการทำเหมืองแร่ การตัดไม้และกิจกรรมการเกษตรเชิงอุตสาหกรรม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจทำให้สถานการณ์แย่ลงไปอีกเมื่อทำให้แล้งหนักขึ้นและบ่อยขึ้นในภูมิภาคนั้น

หมีขั้วโลก



มวลน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือที่ลดขนาดลงเป็นสัญญาณภาวะโลกร้อนที่ชัดเจนที่สุด หมีขั้วโลกต้องใช้น้ำแข็งเพื่อย้ายถิ่นและล่าแมวน้ำ น้ำแข็งยังจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับแมวน้ำด้วย เพราะถ้าไม่มีน้ำแข็งก็จะไม่มีที่เลี้ยงลูก หากทุ่งน้ำแข็งเริ่มหดตัวมากกว่าปกติทุกฤดูร้อนประชากรแมวน้ำก็จะลดลงด้วย หมีขั้วโลกที่หิวโหยจะกินซากแมวน้ำที่จับได้ทั้งหมดแทนที่จะกินเฉพาะชั้นไขมันของแมวน้ำก่อนหน้านี้เศษอาหารของหมีขั้วโลกเคยเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์อื่น ๆ ในทวีปอาร์กติกอย่างสุนัขจิ้งจอกอาร์กติกและนกหลายชนิด แต่ตอนนี้ไม่มีอะไรเหลือให้กินแล้ว!

กวางเรนเดียร์



เมื่ออากาศอุ่นขึ้นป่าในเขตชายขอบทางตอนเหนือของทวีปยูเรเซียจะค่อย ๆ ขยับเข้าไปในเขตทุนดราอย่างช้า ๆ แต่แน่นอนด้วยอัตราหลายสิบกิโลเมตรในแต่ละศตวรรษ สิ่งนี้ทำให้ที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของนกหลายชนิดเปลี่ยนแปลงไป ฤดูหนาวที่อบอุ่นในทวีปอาร์กติกยังส่งผลร้ายแรงต่อกวางเรนเดียร์ทั้งที่เลี้ยงในป่าและที่เลี้ยงไว้ตามที่อยู่อาศัย เนื่องจากน้ำแข็งและน้ำแข็งละลายในช่วงฤดูหนาว กวางเรนเดียร์จึงหาไลเคนอาหารหลักในช่วงฤดูหนาวได้ยากขึ้น

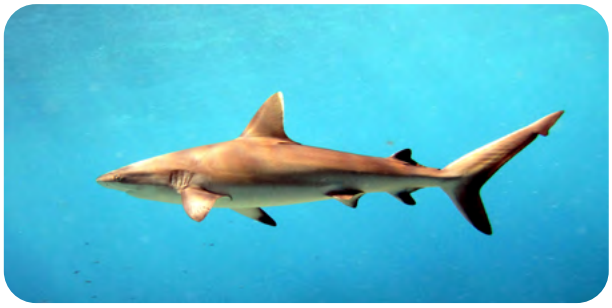
แนวปะการัง



ปะการังยังเป็นหนึ่งในสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรก ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง ปะการังเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวสูง น้ำที่อุ่นหรือเย็นเกินไป ขาดแสงและมีสิ่งสกปรกส่วนเกิน จะชะลอหรือหยุดการเจริญเติบโตของปะการัง ติ่งปะการังไม่สามารถเคลื่อนไหวได้และปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมได้ไม่ดีนัก จะต้องอยู่และตายในที่ที่เกิด สาหร่ายขนาดเล็กที่ดูดซับพลังงานจากแสงแดดมาให้ติ่งปะการังนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำเป็นอย่างมาก หลายแห่งตามแนวปะการังเกรตแบร์ริเออร์รีฟ ของออสเตรเลีย นักวิทยาศาสตร์กำลังเห็นการตายของสาหร่ายและการฟอกขาวของปะการังซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแนวปะการังตาย เนื่องจากคลื่นความร้อนในทะเลที่เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำอีกในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แนวปะการัง เกรตแบร์ริเออร์รีฟส่วนใหญ่มีสีขาวดูน่ากลัว ควันจากไฟป่าและไฟพื้นที่พรุที่รุนแรงในประเทศอินโดนีเซียมักนำไปสู่การปล่อยสารประกอบเหล็กสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการออกดอกอย่างรวดเร็วของสาหร่ายที่ผลิตสารที่เป็นพิษต่อปะการัง

อย่างไรก็ตามในช่วงที่ผ่านมามีนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ประสบความสำเร็จในการอนุรักษ์ปะการัง สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งออสเตรเลียกำลังขยายพันธุ์ปะการังที่มีสุขภาพดีจำนวนมากในสถานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อให้เข้าใจชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปะการังและนิเวศวิทยาลึกซึ้งยิ่งขึ้น สถาบันเก็บชิ้นส่วนปะการังจากแนวปะการัง ปะการังพวกนี้วางไข่และผสมพันธุ์ ตัวอ่อนจะถูกเลี้ยงในสถานเพาะเลี้ยงและเกาะตัวบนพื้นผิวที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ ปะการังที่เกาะตัวแล้วหรือเศษจากตัวที่โตเต็มที่ถูกวางไว้บนอุปกรณ์บนแนวปะการัง นักดำน้ำจะกลับไปที่แนวปะการังเพื่อระบุและทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมที่ปะการังสามารถอยู่รอดและเติบโตได้ดีที่สุด ความรู้นี้จะช่วยออกแบบและขยายระบบการเพาะเลี้ยงปะการังเพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิตตั้งแต่ต้นจนจบของปะการังบนแนวปะการังที่เสื่อมโทรม ตั้งแต่การวางไข่จนถึงการเกาะตัวและโตเต็มที่

ฉลาม



เมื่อขั้วโลกอุ่นขึ้น พื้นที่น้ำแข็งทะเลตามฤดูกาลก็ลดน้อยลง ด้านล่างของก้อนน้ำแข็งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พืชขนาดเล็กในมหาสมุทรที่เรียกว่าไฟโตแพลงก์ตอนซึ่งอยู่ที่จุดเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหาร รวมถึงกุ้งคริลล์ ปลา เพนกวิน และนกทะเลอื่น ๆ แมวน้ำ และปลาวาฬหลายสายพันธุ์ ถ้าไม่มีน้ำแข็งเพียงพอ ไฟโตแพลงก์ตอนจะไม่สามารถเติบโตและสืบพันธุ์ได้ในปริมาณที่เพียงพอ กุ้งคริลล์ไม่สามารถอยู่ในน้ำที่ขาดสารอาหารได้ และที่ของพวกมันจะถูกแทนที่ด้วยซาลป์ที่ใสเหมือนเจลลี่ ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตโบราณ ทำให้เกิดการหยุดชะงักของห่วงโซ่อาหารเนื่องจากสัตว์แทบจะไม่กินซัลป์ยกเว้นปลาบางชนิดและเต่าทะเล ดังนั้นปลาวาฬจึงไม่สามารถสะสมไขมันได้เพียงพอในช่วงฤดูหนาว และสัตว์อื่น ๆ ก็ไปจากแหล่งน้ำซึ่งไม่มีอาหารที่ต้องการเช่นกัน เป็นอีกครั้งหนึ่งที่ได้เข้าใจความสัมพันธ์อันซับซ้อนในธรรมชาติและสะท้อนออกมาในความหลากหลายทางชีวภาพ

เมื่อปะการังฟอกขาวเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสัตว์ทะเลที่พึ่งพาระบบนิเวศปะการังก็สูญเสียที่อยู่อาศัยไป ในกลุ่มนี้มีฉลามปะการังสีเทา สัตว์พื้นเมืองในน่านน้ำของประเทศในเอเชียอย่างกัมพูชา อินโดนีเซีย มาเลเซีย เมียนมา ปาปัวนิวกินี ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ ไทยและเวียดนาม

ญาติสนิทของกระเบนราหูเหล่านี้ใกล้สูญพันธุ์เนื่องจากการประมงและการจับสัตว์น้ำโดยไม่ได้ตั้งใจ อย่างไรก็ตามพวกมันยังต้องเผชิญภัยคุกคามจากการทำลายและความเสื่อมโทรมของที่อยู่อาศัยจากมลพิษและน้ำมันรั่วไหล การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของมหาสมุทรอีกด้วย

ในประเทศลาวและเวียดนามโลมาหัวบาตรที่อาศัยอยู่ในแม่น้ำโขงกำลังเผชิญภัยคุกคามจากระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการสร้างเขื่อน อุณหภูมิที่สูงขึ้นและการลดลงของน้ำจืดทำให้ความเค็มของแม่น้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของปลาโลมา จำนวนประชากรที่น้อยอยู่แล้วตอนนี้เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์มากขึ้นกว่าเดิม

กระเบนปีศาจ



โลมาหัวบาตร



ในทุ่งหญ้าสเตปป์ดาวเรียนทางตะวันออกของประเทศรัสเซีย ระหว่างทะเลสาบไบคาลและเทือกเขาคิงกันใหญ่ของมองโกเลีย นักวิทยาศาสตร์สังเกตเห็นว่าสภาพภูมิอากาศกำลังแล้งมากขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อน ทะเลสาบและแม่น้ำสายเล็ก ๆ กำลังหายไป แนวป่ากำลังแห้ง และพืชพรรณในเขตทุ่งหญ้าสเตปป์ก็ถูกแดดเผาไปตั้งแต่ช่วงต้นปี สัตว์ที่อาศัยอยู่ในทุ่งหญ้าสเตปป์พยายามทำทุกอย่างที่ทำได้เพื่อปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ตัวอ่อนและไข่ปลาหมกตัวลึกในโคลนก้นแหล่งน้ำ พวกนกอพยพไปที่อื่น เปลี่ยนเส้นทางการบินและสถานที่ทำรัง มีอาหารไม่เพียงพอสำหรับนกน้ำท้องถิ่นอย่างนกกาน้ำ นกยางโทน และนกนางนวล ห่านสวานไม่ทำรังในเขตนี้อีกต่อไปแล้ว หมาป่า สุนัขจิ้งจอก แบดเจอร์และแม้แต่กระเรียนต่างก็ย้ายออกไปเพื่อหาน้ำให้ได้มากขึ้น นกล่าเหยื่อซึ่งต้องการน้ำมากเพื่อย่อยอาหารที่เป็นเนื้อสัตว์อพยพไปยังเขตที่เหมาะสมกว่า กระต่ายโทไลพบว่าหญ้ามีไม่พอในช่วงฤดูร้อน ไม่เพียงแต่เพื่อกินเท่านั้น แต่ยังเพื่อหลบซ่อนจากนักล่าอีกด้วย ตัวมาร์มอตแทบาร์กันและกระรอกพื้นดินดาวเรียนซึ่งเป็นสัตว์พื้นเมืองในพื้นที่นี้ปรับตัวเข้ากับความแห้งแล้งได้ดี แต่กำลังพบว่าชีวิตในสภาพแวดล้อมใหม่เป็นเรื่องยาก เนื่องจากไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วพอที่จะหนีไฟไหม้หญ้าซึ่งเกิดขึ้นบ่อยขึ้นในช่วงฤดูร้อน หญ้าที่ถูกไฟไหม้ยังหมายถึงการขาดแคลนอาหารในฤดูหนาวสำหรับสัตว์เท้ากีบ ฝูงกวางและเกเซลล์จำนวนมากจึงต้องอพยพจากมองโกเลียไปยังรัสเซีย

กระต่ายโทไล



แหล่งที่ยังมีน้ำที่เหลืออยู่ไม่กี่แห่งในทุ่งหญ้าสเตปป์ดาวเรียนตอนนี้เต็มไปด้วยสัตว์ที่มองหาน้ำ ซึ่งยิ่งเพิ่มความเสี่ยงติดโรค เมื่อฤดูร้อนแห้งแล้งขึ้น ฤดูหนาวก็มีหิมะตกมากขึ้น มานุล (แมวป่าชนิดหนึ่ง) หาอาหารไม่ได้ เม่นดาวเรียนเกือบจะเป็นสัตว์ชนิดเดียวที่ได้รับประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ต้องการความอบอุ่นมากกว่าห้าเดือนเพื่อให้วงจรชีวิตสมบูรณ์ จึงกำลังขยายจำนวนในสภาพแวดล้อมใหม่

แมวป่ามานุล



ความพยายามในการอนุรักษ์ที่ไวต่อสภาพภูมิอากาศมีความสำคัญต่อสัตว์เหล่านี้ในขณะเดียวกันก็ป้องกันการสร้างความเสื่อมโทรมให้สิ่งแวดล้อมโดยน้ำมือมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่าและมลพิษ เป็นต้น ถิ่นอาศัยของสัตว์และแหล่งน้ำจืดต้องได้รับการอนุรักษ์ การแพร่กระจายของพืชพันธุ์ต่างถิ่นต้องควบคุมได้ นอกจากนี้การลดความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้างก็มีความสำคัญเช่นกัน

อุทยานแห่งชาติ: เรียนรู้การอนุรักษ์ธรรมชาติ

อุทยานแห่งชาติคืออะไร อุทยานแห่งชาติเป็นพื้นที่ที่ได้รับการคุ้มครอง นักท่องเที่ยวสามารถมาเยี่ยมชมได้ กิจกรรมต่าง ๆ จะถูกจำกัดโดยกฎที่ชัดเจน อุทยานแห่งชาติส่วนใหญ่สร้างขึ้นในสถานที่ที่มีลักษณะทางภูมิประเทศที่หลากหลาย (ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะตัว) มีสัตว์และพืชที่หายากหรือใกล้สูญพันธุ์และมีปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาหรือทางน้ำที่เป็นเอกลักษณ์ ให้ทั้งผู้ใหญ่และเด็กมาเยี่ยมชมเพื่อการเรียนรู้ปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลก อุทยานแห่งชาติสามารถใช้สร้างสถานเพาะพันธุ์พืชและสัตว์พันธุ์ที่หายาก

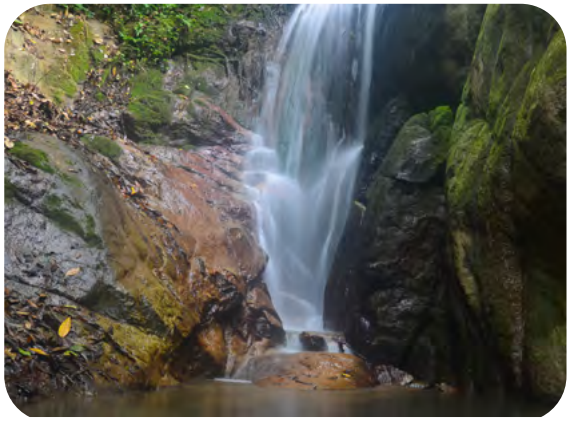
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่ออุทยานแห่งชาติหรือไม่ น่าเสียดายที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลกทำให้เกิดไฟป่า ภัยแล้ง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และปรากฏการณ์อื่น ๆ อีกมากมายที่ไม่สามารถหยุดยั้งได้เพียงแค่ประกาศให้พื้นที่นั้นเป็นอุทยานแห่งชาติ

ที่อุทยานแห่งชาติเอเวอร์เกลดส์ รัฐฟลอริดา (สหรัฐอเมริกา) สภาพแวดล้อมสำหรับพืชและสัตว์น้ำจืดแตกต่างกันไปตามการไหลเข้ามาของน้ำเค็มจากอ่าวฟลอริดาที่อยู่ใกล้เคียง กระบวนการที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ของพื้นที่คุ้มครองเข้าใจว่ากระบวนการเหล่านี้คุกคามการดำรงอยู่ของอุทยานแห่งชาติ และหน่วยงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาพร้อมกับหน่วยงานบริหารอุทยานแห่งชาติได้จัดตั้งอุทยานที่เป็นมิตรกับสภาพภูมิอากาศ โครงการนี้ช่วยให้เจ้าหน้าที่และผู้เยี่ยมชมอุทยานได้รู้จักสาเหตุและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และอธิบายสิ่งที่พวกเขาสามารถทำได้เพื่อช่วยแก้ปัญหาระดับโลกที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน (ไทย)



อุทยานแห่งชาติน้ำแอด-ภูเลย (สปป.ลาว)



อุทยานแห่งชาติฟองญา-แก่บ่าง (เวียดนาม)



อุทยานแห่งชาติทามันเนการา (มาเลย์เซีย)





อุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตนที่มีชื่อเสียงไปทั่วโลก ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2415 นับเป็นอุทยานแห่งชาติที่เก่าแก่ที่สุดในสหรัฐอเมริกา ที่นี่มีชื่อเสียงในด้านปรากฏการณ์ทางความร้อนใต้พิภพ เช่น น้ำพุร้อนที่พุ่งขึ้นจากพื้นดินและบ่อน้ำพุร้อนหลากสีสัน อุทยานแห่งนี้ยังเป็นถิ่นอาศัยของสัตว์ป่านานาชนิด เช่น กระทิง กวางเอลก์ หมาป่า และหมีกริซลี เยลโลว์สโตนยังได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกโดยองค์การยูเนสโก เนื่องจากความงดงามทางธรรมชาติและความสำคัญทางนิเวศวิทยา



แนวปะการังเกรตแบร์ริเออร์มีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด กำลังได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้รับการคุ้มครองเป็นส่วนหนึ่งของอุทยานแห่งชาติทางทะเลในออสเตรเลีย หนึ่งในเจ็ดสิ่งมหัศจรรย์ทางธรรมชาติของโลก และยังได้รับการขึ้นทะเบียนมรดกโลกโดยยูเนสโก เป็นโครงสร้างที่มีชีวิตเพียงแห่งเดียวบนโลกที่มองเห็นได้จากอวกาศ



อุทยานแห่งชาติโคโมโด ในอินโดนีเซีย มีชื่อเสียงในด้านความหลากหลายทางชีวภาพที่โดดเด่น ทั้งบนบกและใต้น้ำ ที่นี่เป็นเพียงแห่งเดียวในโลกที่สามารถพบมังกรโคโมโด—สัตว์เลื้อยคลานขนาดใหญ่ที่สุดที่ยังมีชีวิตอยู่—ในธรรมชาติ อุทยานแห่งนี้ยังปกป้องแนวปะการังที่มีสีสันสดใสและสิ่งมีชีวิตทางทะเลซึ่งเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกโดยองค์การยูเนสโกอีกด้วย



อุทยานแห่งชาตินามีบ-โนว์คลูท ประเทศนามิเบีย (ทางตะวันตกของทวีปแอฟริกา) มีชื่อเสียงในเรื่องเนินทรายสีส้มอันน่าทึ่งสูงที่สุดในโลก บางแห่งสูงกว่า 300 เมตรเหนือพื้นทะเลทราย อุทยานมีเขตอนุรักษ์พืชและสัตว์ป่าและธรรมชาติที่แปลกประหลาดที่สุดในโลก ครอบคลุมพื้นที่กว่า 49,000 ตารางกิโลเมตร มากกว่าพื้นที่ของสวิตเซอร์แลนด์ทั้งประเทศ

เขตสงวนพันธุ์สัตว์และพืชป่า: ธรรมชาติที่ปราศจากมนุษยชาติ

เขตสงวนพันธุ์สัตว์และพืชป่า (เขตสงวนชีวมณฑล) เป็นสถานที่ที่นักวิทยาศาสตร์สามารถติดตามและบันทึกการเปลี่ยนแปลงในโลกธรรมชาติ ในเขตสงวนพันธุ์สัตว์และพืชป่านั้น แม้แต่การเก็บผลเบอร์รี่และเห็ดหรือจับปลา ก็เป็นสิ่งต้องห้าม สถานที่เช่นนี้เหมาะสำหรับการฟื้นฟูจำนวนประชากรของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์ ซึ่งหลังจากนั้นจะสามารถปล่อยสู่พื้นที่ที่เหมาะสมนอกเขตสงวนได้

เขตสงวนชีวมณฑลมักกำหนดขึ้นในสถานที่ที่ธรรมชาติไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากอิทธิพลของมนุษย์ เพื่อปกป้องระบบนิเวศท้องถิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ รวมทั้งชนิดพันธุ์สัตว์และพืชที่หายาก และชุมชนสัตว์และพืช ตัวอย่างเช่น ระบบนิเวศที่ต้องได้รับการคุ้มครองในเขตป่าสนไทกาจะเป็นป่าสน ในขณะที่ในภูมิภาคเขตร้อนจะเป็นป่าฝนเขตร้อน การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมธรรมชาติในพื้นที่เหล่านี้มีความสำคัญระดับโลก

เขตสงวนชีวมณฑลมีอยู่ทุกทวีปทั่วโลก อาจเคยชมภาพยนตร์เกี่ยวกับพื้นที่แบบนี้ในทวีปแอฟริกา เขตสงวนชีวมณฑลเหล่านี้นี่เองที่ทำให้โลกธรรมชาติอันหลากหลายของทวีปแอฟริกาได้รับการสงวนรักษาไว้จนทุกวันนี้

เขตสงวนชีวมณฑลเบลเลอเวซเคอยา พูเชอ/ป่าบีอาเวอวีเซอ (ประเทศเบลารุสและโปแลนด์)



อุทยานแห่งชาติเอเวอร์เกลดส์ (สหรัฐอเมริกา)



เขตสงวนพันธุ์สัตว์และพืชป่า (เขตสงวนชีวมณฑล)
เป็นเขตคุ้มครองที่ห้ามมนุษย์ทำกิจกรรมต่าง ๆ เว้นแต่กิจกรรมทางวิทยาศาสตร์

เขตสงวนชีวมณฑลทุกแห่งอยู่ในโครงการมนุษย์กับชีวมณฑลของยูเนสโก ซึ่งสนับสนุนการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมระยะยาว ปัจจุบันในเขตสงวนหลายแห่งมีการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อชีวิตพืชและสัตว์ นักวิทยาศาสตร์ที่เขตสงวนชีวมณฑลคอเคเซียนทางตอนใต้ของรัสเซียพบว่า ป่าไม้บนเนินเขากำลังค่อย ๆ เคลื่อนแนวสูงขึ้นเมื่อสภาพภูมิอากาศอุ่นขึ้น

อุทยานแห่งชาติไซออน ในรัฐยูทาห์ของสหรัฐอเมริกาเป็นตัวอย่างที่ดีของการบรรลุความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อม รถบัสประมาณ 20 คันที่ใช้เชื้อเพลิงที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำพานักท่องเที่ยวไปรอบ ๆ อุทยานแทนที่รถยนต์ประมาณ 5,000 คันที่นักท่องเที่ยวจะขับเที่ยวเอง ผลลัพธ์ที่ได้คือการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 'ศูนย์สีเขียว' ที่สร้างขึ้นในอุทยานเพื่อต้อนรับนักท่องเที่ยวใช้พลังงานเกือบหนึ่งในสามจากแสงอาทิตย์ ใช้แสงสว่างร้อยละ 80 จากแสงธรรมชาติในฤดูร้อนระบบปรับอากาศใช้เครื่องระเหยที่ประหยัดพลังงานพิเศษ ในฤดูหนาว ระบบทำความร้อนแบบแพสซีฟใช้กำแพงที่ทำจากวัสดุดูดซับความร้อน (หิน อิฐ) หันหน้าเข้าหาแสงแดดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บความร้อนให้เต็มที่





อุทยานธรรมชาติแนวปะการังตูบบาตาฮา ในประเทศฟิลิปปินส์กำลังสร้างสถานีลาดตระเวนและวิจัยแห่งใหม่ที่ทันสมัย โดยใช้พลังงานหมุนเวียนในการขับเคลื่อน ระบบดังกล่าวจะติดตั้งอยู่กลางทะเลซูลู และจะผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และกังหันลมขนาดเล็ก เพื่อทดแทนเครื่องปั่นไฟดีเซลแบบเดิม ซึ่งมีต้นทุนสูงและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลที่เปราะบาง ระบบพลังงานใหม่นี้ยังรวมถึงการเก็บน้ำฝนและแปลงปลูกผักเพื่อสนับสนุนการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืนของเจ้าหน้าที่ลาดตระเวน สถานีใหม่นี้จะเป็นฐานสำคัญในการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพทางทะเล และติดตามผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหนึ่งในพื้นที่อนุรักษ์ที่สำคัญที่สุดของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



เขตรักษาพันธุ์สัตว์และพืชป่าและพื้นที่ที่มีความสำคัญทางธรรมชาติอย่างยิ่ง

จุดประสงค์ของเขตรักษาพันธุ์สัตว์และพืชป่าคือการปกป้องสิ่งแวดล้อมธรรมชาติท้องถิ่นไม่ใช่ทั้งหมด แต่ปกป้องเพียงบางส่วนเท่านั้น ตัวอย่างเช่นเฉพาะพืชหรือเฉพาะสัตว์ หรือบางทีอาจเป็นลักษณะทางธรณีวิทยาบางอย่าง (หินหรือถ้ำ) ดังนั้น ข้อจำกัดเรื่องกิจกรรมของมนุษย์จึงหมายถึงกิจกรรมที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมส่วนที่ได้รับการคุ้มครองเท่านั้น

พื้นที่ที่มีความสำคัญทางธรรมชาติอย่างยิ่งคือพื้นที่ธรรมชาติและสถานที่สำคัญที่เป็นเอกลักษณ์หรือเป็นแบบฉบับซึ่งมีคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ วัฒนธรรม การศึกษาหรือสุขภาพเป็นพิเศษ อาจเป็นทะเลสาบ ต้นไม้ แหล่งธรณีวิทยาหรือสวนโบราณที่ได้รับการคุ้มครองโดยการห้ามกิจกรรมของมนุษย์บางประเภทที่อาจทำลายความสมบูรณ์

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่-ห้วยขาแข้งทางตะวันตกของประเทศไทยเป็นเขตอนุรักษ์ธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นทวีป ครอบคลุมพื้นที่กว่า 600,000 เฮกตาร์ อนุรักษ์ป่าไม้ (รวมทั้งป่าสะวันนาที่ใกล้สูญพันธุ์) น้ำตก ระบบแม่น้ำสองสายและพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นที่พักพิงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ร้อยละ 77 นกขนาดใหญ่

ร้อยละ 50 และสัตว์บกที่มีกระดูกสันหลังบกร้อยละ 33 ในภูมิภาคนี้รวมถึงชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามประมาณ 28 ชนิดและยังทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน แหล่งมรดกโลกยูเนสโกนี้ได้รับการคุ้มครองทางกฎหมายที่เข้มแข็งและได้รับงบสนับสนุนจากภาครัฐ แต่ผลการวิจัยในพื้นที่นี้แนะนำให้มีการจำกัดการเข้าถึงของการเกษตรวิถีใหม่ โครงการสร้างเขื่อนและการทำเหมืองแร่ใกล้พื้นที่นี้ซึ่งทำให้เกิดการล่าสัตว์และการตัดไม้ทำลายป่าในเขตกันชน

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่-ห้วยขาแข้ง (ประเทศไทย)



พื้นที่คุ้มครองช่วยแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างไร

อุทยานแห่งชาติ (รวมถึงพื้นที่คุ้มครองอื่น ๆ) มีบทบาทในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไร บทบาทสำคัญที่สุดคือการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น อุทยานบางแห่งส่งเสริมให้นักท่องเที่ยวใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงทางเลือก แทนการใช้รถยนต์ส่วนตัวที่ก่อมลพิษ พนักงานอุทยานเองก็เลือกใช้พาหนะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ อุทยานยังมีการใช้พลังงานจากลม แสงอาทิตย์ หรือพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่บริการนักท่องเที่ยว มีการใช้แสงธรรมชาติและหลอดไฟ LED ให้มากที่สุด และติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ในสำนักงาน

ของที่ระลึกที่นำเสนอแก่นักท่องเที่ยวผลิตจากวัสดุรีไซเคิล โรงอาหารของอุทยานเสิร์ฟอาหารที่ทำจากวัตถุดิบในท้องถิ่น (เพื่อลดระยะทางขนส่งอาหารและมลพิษที่ตามมา) และผลิตอย่างปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม อาคารสถานที่ต่าง ๆ ของอุทยานยังติดตั้งสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ นักท่องเที่ยวยังได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติตัวอย่างไรให้มีประสิทธิภาพทางสิ่งแวดล้อมสูงสุดและสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ คือความปรองดองระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติ

การเดินและทำกิจกรรมกลางแจ้งเป็นสิ่งที่หลายคนชื่นชอบ หากเป็นเช่นนั้น การเดินทางและการค้นพบสถานที่ใหม่ ๆ สามารถสร้างความเพลิดเพลินได้ไม่น้อย และอาจนำไปสู่การเป็นนักท่องเที่ยวเชิงนิเวศในอนาคต

นักท่องเที่ยวทั่วไปกับนักท่องเที่ยวเชิงนิเวศแตกต่างกันอย่างไร สิ่งที่ทำให้ทั้งสองแตกต่างกันก็คือทัศนคติต่อสิ่งแวดล้อม การท่องเที่ยวเชิงนิเวศเป็นแนวคิดใหม่ที่เกิดขึ้นเมื่อผู้คนเริ่มเข้าใจว่าธรรมชาติสำคัญกับมนุษย์มากเพียงใด มีวิธีการ

พักผ่อนกลางแจ้งหลายแบบ อาจจะขับรถเข้าไปในป่าหรือไปที่ริมทะเลสาบ เปิดเพลงเสียงดังเต็มที่ จุดไฟในที่ที่คิดว่าสวยที่สุด

จัดปิคนิคและทิ้งขยะไว้ แต่นักท่องเที่ยวคนอื่นยินดีปีนขึ้นยอดเขาเพียงเพื่อดูสัตว์ป่า ค้นหาพันธุ์พืชที่หายาก ฟังเสียงนกร้องเพลงหรือเพลิดเพลินกับพระอาทิตย์ตกและความเงียบสงบ เป้าหมายของพวกเขาคือการเห็นและได้ยินโลกธรรมชาติที่คนสมัยใหม่มีประสบการณ์ได้ยากมาก พวกเขาไม่ทิ้งขยะ ตรงกันข้ามพวกเขามักจะเก็บขยะของคนอื่นและปฏิบัติตามกฎทั้งหมดที่มีอยู่เพื่อปกป้องสิ่งแวดล้อม เป็นเรื่องน่าดีใจว่าจำนวนนักท่องเที่ยวเชิงนิเวศเพิ่มขึ้นทุกปี!

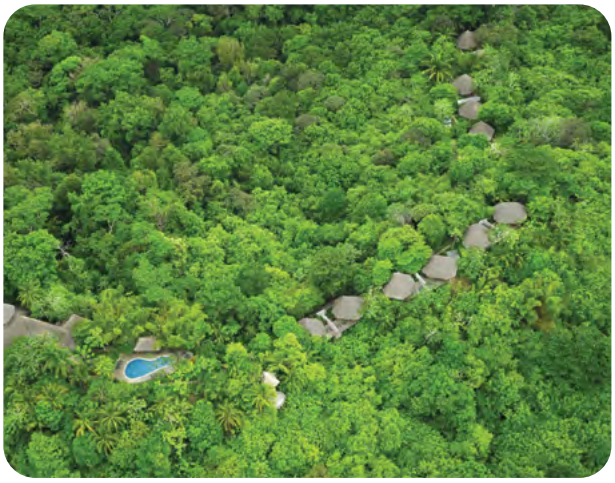


การท่องเที่ยวเชิงนิเวศเปิดโอกาสให้ผู้คนได้เห็นสิ่งแวดล้อมในสภาพธรรมชาติที่ยังไม่ถูกรบกวน เข้าใจว่ามันมีความหลากหลายเพียงใด เปราะบางต่อกิจกรรมของมนุษย์เพียงใด และได้ครุ่นคิดกับคำถามที่ว่า ‘ฉันจะทำอะไรให้กับโลกของฉันได้บ้าง’ นักท่องเที่ยวเชิงนิเวศศึกษากฎธรรมชาติและทำสิ่งต่าง ๆ ที่ช่วยในการรักษาและอนุรักษ์ธรรมชาติ พวกเขาพยายามลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนั้นบริษัททท่องเที่ยวเชิงนิเวศยังมอบรายได้ส่วนหนึ่งเพื่อสนับสนุนการปกป้องและการศึกษาสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อมธรรมชาติที่โดดเด่นเป็นพิเศษหลายแห่งอยู่ในที่ห่างไกล ในพื้นที่ชนบทที่ผู้คนค่อนข้างยากจน นอกจากนั้นยังอยู่ในพื้นที่อย่างป่าในทวีปอเมริกาใต้หรือเขตภูเขาตามแนวชายแดนระหว่างภาคเหนือของประเทศไทย เมียนมาและลาวซึ่งชนพื้นเมืองอาศัยอยู่ ดังนั้นนักท่องเที่ยวเชิงนิเวศมักจะได้เรียนรู้ไม่เฉพาะแต่เรื่องโลกธรรมชาติเท่านั้น แต่ยังได้เรียนรู้วัฒนธรรมมนุษย์ด้วย การท่องเที่ยวเชิงนิเวศยังช่วยสร้างโอกาสในการทำงานและแหล่งรายได้เพิ่มเติมให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคเหล่านี้

ด้วยเหตุนี้การท่องเที่ยวเชิงนิเวศจึงช่วยให้ผู้คนได้เห็นความงามและเอกลักษณ์ของธรรมชาติ เข้าใจว่าทุกสิ่งในโลกรอบตัวพวกเขาล้วนเชื่อมโยงกัน เรียนรู้ว่ามีชนิดพันธุ์ของสัตว์และพืชกี่ชนิดบนโลก และตระหนักถึงการที่สภาวะของสิ่งแวดล้อมขึ้นอยู่กับการกระทำของแต่ละคน ทั้งวัยรุ่น เด็กรวมทั้งผู้ใหญ่ด้วย

โรงแรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ประเทศคอสตาริกา





บัญชีแดง (the Red List) และหนังสือข้อมูลเล่มแดง (Red Data Book) คืออะไร มีไว้เพื่ออะไร

บัญชีแดง (the Red List) เป็นรายการสัตว์ พืชและสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราชนิดพันธุ์ที่หายากและใกล้สูญพันธุ์ สีแดงเตือนมนุษย์เรื่องความเสี่ยงที่มีต่อชนิดพันธุ์เหล่านี้ และความจำเป็นเร่งด่วนในการปกป้องและอนุรักษ์

รายการสิ่งมีชีวิตที่ต้องการการปกป้องทั่วโลกรวมอยู่ในหนังสือเล่มแดงนานาชาติ ต้นฉบับเก็บอยู่ที่เมืองมอร์เกส ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ หนังสือเล่มนี้เผยแพร่โดยสหภาพสากลเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (International Union for Conservation of Nature: IUCN) และพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2506 หนังสือที่แปลกประหลาดเล่มนี้ออกแบบมาให้เหมือนปฏิทินตั้งโต๊ะ และมีการเปลี่ยนแปลงตลอด เมื่อเวลาผ่านไปสถานการณ์ของชนิดพันธุ์ที่อยู่ในหนังสือเปลี่ยนแปลงไป ชื่อชนิดพันธุ์ของพืช สัตว์ และกลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราใหม่ ๆ ก็ถูกเพิ่มเข้ามา

แต่ละชนิดพันธุ์ที่อยู่ในหนังสือเล่มแดง (the Red Book) จะมีข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายตัว จำนวนประชากร ลักษณะของถิ่นที่อยู่ รายละเอียดอื่น ๆ และมาตรการที่จำเป็นในการอนุรักษ์ หน้าหนังสือมีสีต่างกัน หน้าที่อธิบายชนิดพันธุ์ที่สูญพันธุ์ไปแล้วจะเป็นสีดำ ตัวอย่างเช่นวัวทะเล ปลาตะเพียนแบนของไทย คอรีโฟมิสของบูเลอร์ กวางชอมเบิร์กและนกโดโด หน้าสีแดงจะเป็นชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์และหายากมาก (เช่น เสือดาวตะวันออกไกล ฮิปโปแคระอย่างหมูเด้ง ลิงกอริลลาผมดำ เสือ โลมาและลิ่นซุนดา) สัตว์ที่ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็วจะอยู่หน้าสีเหลือง (หมีขั้วโลก นกนางนวลสีชมพูและกาเซลล์ที่มีคอพอง) สัตว์และพืชที่พบได้ยากในธรรมชาติจะอยู่หน้าสีขาว ชนิดพันธุ์ที่ยังไม่ได้ศึกษามากพอเพราะอยู่ในที่ห่างไกลจะอยู่หน้าสีเทา ที่น่าพอใจที่สุดคือหน้าสีเขียวซึ่งบันทึกชนิดพันธุ์ที่ผู้คนประสบความสำเร็จในการช่วยเหลือให้รอดจากการสูญพันธุ์ แม้ว่าอาจยังคงอยู่ในภาวะเสี่ยงและต้องพยายามอนุรักษ์ไว้ก็ตาม (เช่น นกกระสาสีดำ จระเข้ฟิลิปปินส์ นกกระสาหน้าดำ เต่าดาวพม่า บีเวอร์ยูเรเซียและเอลค์ยูเรเซีย เป็นต้น)

แต่ละประเทศและภูมิภาคทั่วโลกก็สร้างรายชื่อชนิดพันธุ์ที่หายากและได้รับการคุ้มครองเองเช่นกัน

ก่อนที่ชนิดพันธุ์ใดจะถูกบรรจุในหนังสือเล่มแดง นักวิทยาศาสตร์จะทำการศึกษาพืช สัตว์และกลุ่มสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราที่เกี่ยวข้องอย่างจริงจัง ค้นหาสาเหตุที่คุกคามชนิดพันธุ์ อธิบายลักษณะที่อยู่และตัดสินใจว่าควรจะอนุรักษ์อย่างไร หนังสือเล่มแดงไม่ได้มีแต่ชนิดพันธุ์ที่หายากและเฉพาะถิ่น (ชนิดพันธุ์ที่พบเฉพาะในบริเวณหนึ่ง) แต่ยังมีพืชดอก ที่กินได้และใช้เป็นยาอีกมากมายหลายชนิด



สัตว์และพืชอาจต้องได้รับการปกป้องด้วยเหตุผลสองกลุ่ม คือ โดยตรงและโดยอ้อม มีเหตุผลโดยตรงเมื่อผู้คนทำลายสัตว์และพืชด้วยการล่าสัตว์ เก็บพืชสมุนไพร ตกปลาหรือเก็บสิ่งมีชีวิตในน้ำ เหตุผลโดยอ้อมเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนถิ่นที่อยู่ รวมถึงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก เหตุผลโดยอ้อมเหล่านี้อาจรวมถึงการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทำได้ยาก การแนะนำพืชชนิดพันธุ์ใหม่ (เมื่อ ‘ผู้มาใหม่’ เข้ามาแทนที่ชนิดพันธุ์ดั้งเดิมด้วยเหตุผลต่าง ๆ) และการทำลายพืชที่เป็นแหล่งอาหารของสัตว์

วิธีการปรับตัวที่อิงตามระบบนิเวศคืออะไร

วิธีการปรับตัวที่มีอยู่สามารถสร้างความยืดหยุ่นต่อความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศและในหลายกรณีก็สร้างประโยชน์ในการพัฒนาที่ยั่งยืนในวงกว้างไปพร้อมกันด้วย

หนึ่งในวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้คือการปรับตัวที่อิงตามระบบนิเวศซึ่งสามารถช่วยให้ชุมชนปรับตัวเข้ากับผลกระทบที่ส่งผลเสียหายต่อชีวิตและอาชีพของพวกเขาไปแล้ว ในขณะที่ยังคงปกป้องความหลากหลายทางชีวภาพ ปรับปรุงผลลัพธ์ด้านสุขภาพ เสริมสร้างความมั่นคงทางอาหาร สร้างประโยชน์ทางเศรษฐกิจและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน หลายมาตรการการปรับตัวที่อิงตามระบบนิเวศอย่างการปกป้อง การฟื้นฟูและการจัดการระบบนิเวศอย่างยั่งยืน รวมทั้งแนวทางการเกษตรที่ยั่งยืนกว่าอย่างการปลูกต้นไม้ในพื้นที่เพาะปลูกและการเพิ่มความหลากหลายของผลผลิตนั้น ปัจจุบันสามารถนำไปใช้ได้ด้วยต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ กุญแจสู่ความสำเร็จคือการให้ชุมชนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมและยืนยันว่าแผนกลยุทธ์ออกแบบมาให้จัดการปัญหาที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทั่วโลกจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ

ภาพที่ 2.2.1 การปรับตัวที่อิงตามระบบนิเวศซึ่งสามารถปกป้องชีวิตและการทำมาหากินได้



คำถาม

1 ระบบนิเวศประเภทใดในโลกใดที่มีความหลากหลายของสปีชีส์มากที่สุด

2 คำว่า “สาเหตุทางตรง” และ “สาเหตุทางอ้อม” ของการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตหมายถึงอะไร จงยกตัวอย่าง

3 การเริ่มต้นเล่าเรื่องในห้องเรียนเกี่ยวกับความสำคัญของความหลากหลายทางชีวภาพสามารถทำได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับกลุ่มเป้าหมาย เหตุผลแบบใดที่สามารถจูงใจเด็กนักเรียนได้มากที่สุด และเหตุผลแบบใดที่สามารถโน้มน้าวใจผู้ใหญ่ได้ดีที่สุด

4 ทำไมหนังสือเล่มแดง (the Red Book) และบัญชีแดง (the Red List) ถึงเป็นสีแดง คุณรู้จักพืช สัตว์ หรือเห็ดราที่ถูกขึ้นบัญชีไว้ในหนังสือแดงบ้างหรือไม่ และเหตุใดสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จึงตกอยู่ในสถานะใกล้สูญพันธุ์
มีวิธีใดที่สามารถช่วยในการอนุรักษ์สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ได้บ้าง
สีต่าง ๆ ที่ใช้ในหนังสือเล่มแดงมีอะไรบ้าง ทำไมหนังสือเล่มแดงถึงยาวขึ้นทุกครั้งที่มีการปรับปรุงเนื้อหา

5 ภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบต่อแนวปะการังอย่างไร

6 ใครที่สามารถเรียกได้ว่าเป็น ‘นักท่องเที่ยวเชิงนิเวศ’ อย่างแท้จริง

7 มาตรการการปรับตัวประเภทใดบ้างที่กล่าวถึงในบทนี้และบทอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความหลากหลายทางชีวภาพและระบบนิเวศ

8 ทางแก้ใดที่เป็นส่วนหนึ่งของการปรับตัวที่อิงตามระบบนิเวศ





กิจกรรม

ร่วมมือกันกับเพื่อนในชั้นเรียน จัดทำบัญชีแดงในรูปแบบของคุณเอง
เลือกสัตว์ พืชหรือสิ่งมีชีวิตจำพวกเห็ดราที่ควรได้รับการคุ้มครอง วาดภาพลงบนกระดาษสีที่กำหนด
พร้อมอธิบายเหตุผลว่าทำไมจึงเลือกสิ่งมีชีวิตนั้น



2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อป่าไม้อย่างไร

ป่าไม้คืออะไร

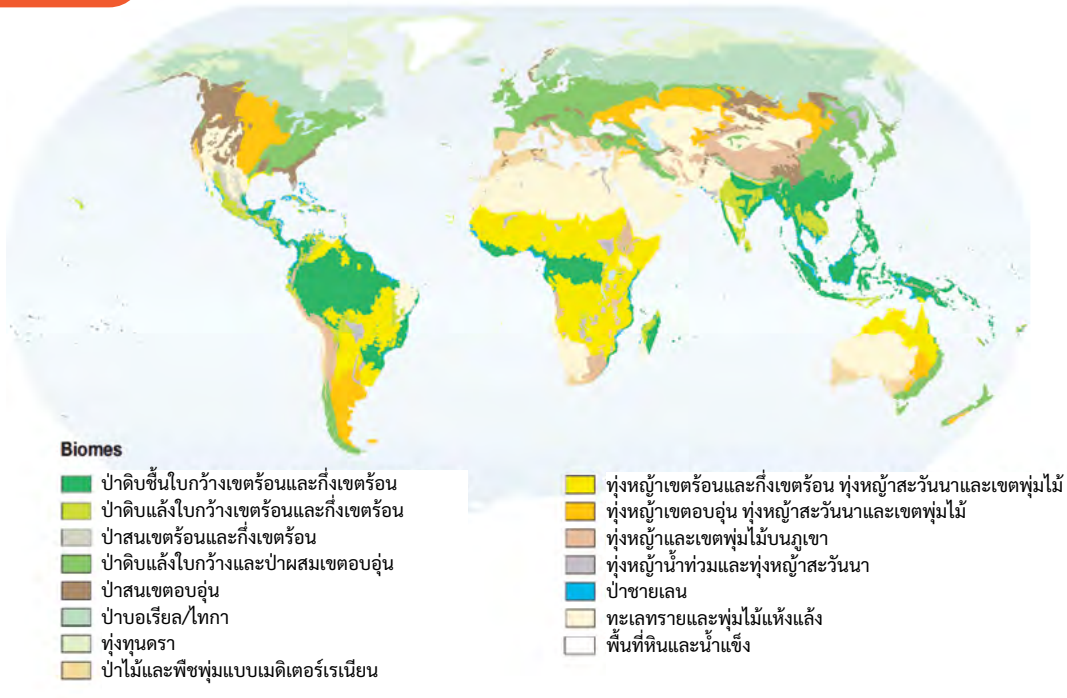
ถึงแม้ว่าคำว่า ‘ป่าไม้’ จะเป็นคำที่ใช้กันทั่วไป แต่ความหมายของคำนี้กลับไม่ได้ชัดเจนเสมอไป เพราะในความเป็นจริง ความหมายของป่าไม้มักขึ้นอยู่กับบริบทของแต่ละประเทศ ปัจจุบันมีคำจำกัดความของคำว่า ‘ป่าไม้’ มากถึง 800 แบบทั่วโลก อย่างไรก็ตาม แนวทางที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายที่สุดในการนิยามป่าไม้ ซึ่งองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization: FAO) ก็ใช้แนวทางนี้เช่นกัน คือการอ้างอิงตามตัวชี้วัดสำคัญอย่างเช่น 1) มีต้นไม้ที่สูงอย่างน้อย 5 เมตร 2) มีเรือนยอดปกคลุมอย่างน้อยร้อยละ 10 (สัดส่วนของพื้นดินที่ถูกเรือนยอดของต้นไม้บดบัง) และ 3) พื้นที่ป่าขั้นต่ำ 0.5 เฮกตาร์ ตามนิยามนี้ พบว่าทั่วโลกมีพื้นที่ป่าอยู่ไม่ถึง 4 พันล้านเฮกตาร์ หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่บนโลกทั้งหมด โดยพื้นที่ป่าราวครึ่งหนึ่งของทั้งหมดกระจุกตัวอยู่ในเพียงสามประเทศ ได้แก่ รัสเซีย แคนาดา และบราซิล

ประเภทของป่า

โดยทั่วไป ป่าไม้มักจะถูกจำแนกตามชนิดของต้นไม้หลัก ได้แก่ ไม้ใบกว้าง ไม้สน (ไม้ใบเข็ม) หรือไม้ผสม และลักษณะของใบ (ว่าเป็นไม้ไม่ผลัดใบหรือไม้ผลัดใบ) ไบโอมหลักของโลกแสดงไว้ในภาพที่ 2.3.1 และครอบคลุมประเภทของป่าดังต่อไปนี้:

- **ป่าบอเรียล** (ไทกา) โดยทั่วไปจะเป็นป่าไม่ผลัดใบและป่าสน.
- **ป่าเขตอบอุ่น** ได้แก่ ป่าใบกว้างผลัดใบ ป่าสนไม่ผลัดใบ และป่าผสมทั้งสองประเภท นอกจากนี้ ในเขตอบอุ่นบางแห่งยังมีป่าใบกว้างไม่ผลัดใบด้วย
- **ป่าเมดิเตอร์เรเนียน** โดยทั่วไปประกอบด้วยต้นไม้ใบกว้างไม่ผลัดใบและไม้สเคลอโรฟิลล์ คำว่า สเคลอโรฟิลล์ มีรากมาจากภาษากรีก แปลว่า “ใบแข็ง” เนื่องจากต้นไม้เหล่านี้มักจะมีใบเล็ก สีเข้ม และมีผิวเคลือบขี้ผึ้งเพื่อช่วยเก็บความชื้นในช่วงฤดูร้อนอันแห้งแล้ง ป่าสนก็พบได้ในเขตนี้เช่นกัน
- **ป่าเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน** ได้แก่ ป่าใบกว้างชื้น ป่าใบกว้างแห้ง และป่าสน

ภาพที่ 2.3.1 ไบโอมหลักของโลก



ป่าเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน

ป่าเขตร้อนตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งมีอากาศอบอุ่น ป่าเหล่านี้พบได้ในทวีปอเมริกากลางและอเมริกาใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกาตะวันตกและแอฟริกากลาง และออสเตรเลีย

ป่าเหล่านี้มีสภาพอากาศชื้นเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี การสร้างเรือนยอดที่หนาแน่นของต้นไม้ผลัดใบขนาดใหญ่ เช่น ต้นสัก ต้นนุ่น มะเดื่อ ฟิโลเดนดรอน มะฮอกกานี และโรสวูด ช่วยกักเก็บความร้อนจากแสงแดดและน้ำฝนไว้ได้มาก จึงทำให้เกิด “ฝนที่ตกเป็นนิจ” ในพื้นที่ป่า ต้นไม้เขตร้อนเหล่านี้อาจมีอายุหลายร้อยปี สูงประมาณ 75 เมตรขึ้นไป ป่าหนึ่งแห่งสามารถเป็นที่อยู่อาศัยของต้นไม้ได้หลายพันชนิด และคาดว่ามีต้นไม้ประมาณ 40,000 ถึง 53,000 ชนิดในป่าเขตร้อนทั่วโลก

เรือนยอดที่หนาทึบทำให้แสงแดดส่องไม่ถึงพื้นป่า ส่งผลให้เกิดสภาพแวดล้อมที่มืดและชื้น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด ในทางกลับกัน ผู้ย่อยสลาย เช่น เชื้อราและหนอน เจริญเติบโตได้ดีจากใบไม้ ผลไม้ และเมล็ดพืชที่ร่วงหล่นจากต้นไม้สู่พื้นป่า ผลไม้เขตร้อนหลายชนิดเติบโตในป่าเหล่านี้ เช่น มะเฟืองและผลเบอร์รี่อาซาอิในอเมริกาใต้ อะโวคาโดในอเมริกากลาง กล้วยและมะม่วงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตลอดจนโกโก้ ถั่ว และวานิลลาก็เติบโตในพื้นที่ป่าฝนเขตร้อนเช่นกัน

ป่าฝนเขตร้อนที่ถูกคุกคามโดยแรงกดดันจากมนุษย์เรียกว่า “จุดรวมความหลากหลายทางชีวภาพระดับโลก” เนื่องจากภัยคุกคามอย่างใหญ่หลวงต่อบทบาทสำคัญของป่าฝนในการควบคุมน้ำและสภาพอากาศ รวมถึงการปกป้องแหล่งอาหารและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม นก และแมลงหลายพันสายพันธุ์ที่อาศัยอยู่ในป่า

ป่าเขตร้อนในประเทศไทย



เพราะเหตุใดป่าจึงขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

ชีวิตของป่าและการกระจายทางภูมิศาสตร์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน มีเพียงบางแห่งบนโลกเท่านั้นที่สภาพอากาศเหมาะสมต่อการเติบโตของป่า ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งของแนวป่าทางเหนือสุดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายปี หากอากาศหนาวเกินไป ป่าไทกาจะถูกแทนที่ด้วยทุ่งทุนดรา อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิอากาศโดยเฉพาะบนที่ราบ จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น ขอบเขตของป่าและทุ่งทุนดราจึงกลายเป็นเขตเปลี่ยนผ่าน ซึ่งมีพื้นที่ทั้งทุ่งทุนดราและป่า เรียกเขตเปลี่ยนผ่านนี้ว่า ป่า-ทุ่งทุนดรา (ภาพที่ 2.3.2)

แนวป่าเขตอบอุ่นทางตอนใต้ ซึ่งป่าเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้า (สเตปป์) และกึ่งทะเลทรายจะถูกกำหนดโดยปริมาณน้ำฝน ในสภาพอากาศร้อน พืชและต้นไม้จะสูญเสียความชื้นจากใบอยู่ต่อเนื่องเพื่อรักษาความเย็น หากฝนตกน้อยในฤดูร้อน ความชื้นในดินจะมีไม่มากนัก และต้นไม้จะดึงน้ำขึ้นไปยอดไม้ได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากอากาศอบอุ่นและมีปริมาณน้ำฝนจำกัด พืชล้มลุกจึงได้เปรียบ และภูมิทัศน์จึงกลายเป็นทุ่งหญ้าสเตปป์

ความสูงต่ำของพื้นที่ คุณภาพของดิน แหล่งน้ำ และกิจกรรมของมนุษย์ก็มีบทบาทในการกำหนดด้วยเช่นกัน พื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มลดลงในภูมิภาคที่ที่ดินส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในกิจกรรมทางเศรษฐกิจ

ภาพที่ 2.3.2 ป่าทุ่งทุนดรา



ป่าไม้ในเขตภูมิอากาศอบอุ่นและกึ่งอาร์กติก

ป่าบอเรียล (ไทกา) มีต้นสนเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ไพน์ สปรูซ ลาร์ช เฟอร์ และซีดาร์ ที่น่าสนใจคือ ป่าดังกล่าวในยุโรปและไซบีเรียตะวันตกประกอบด้วยต้นสนและสปรูซเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ในไซบีเรียกลางและตะวันออกต้นสนส่วนใหญ่เป็นต้นลาร์ช สาเหตุมาจากชั้นดินเยือกแข็งคงตัวในเขตไซบีเรียอันกว้างใหญ่ ซึ่งทำให้พื้นที่เหล่านี้เหมาะเป็นพิเศษสำหรับต้นลาร์ช

ความแตกต่างของสภาพอุณหภูมิ (อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อน เวลาที่เกิดและเวลาที่หิมะละลาย) เป็นเหตุผลที่ควรแบ่งเขตไทกาออกเป็นไทกาเหนือ กลาง และใต้ ต้นไม้ที่โตเต็มวัยในป่าไทกาเหนือไม่สูง โดยสูงได้ 10-20 เมตร ในขณะที่ไทกาใต้ อาจสูงถึง 50 เมตร (ภาพที่ 2.3.3) ไทกาตอนกลางอยู่ระหว่างภาคเหนือและภาคใต้ ไม่เพียงแต่ทางภูมิศาสตร์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ด้วย โดยต้นไม้จะเติบโตได้สูงถึง 20-25 เมตร

พื้นที่ทางตอนใต้ของป่าไทกาเป็นเขตป่าผลัดใบในเขตอบอุ่น (ภาพที่ 2.3.4) โดยมีต้นโอ๊ก ฮอร์นบีม และเอล์มเป็นไม้หลัก ต้นไม้เหล่านี้มักเรียกกันว่าไม้เนื้อแข็งผลัดใบ (เนื่องจากไม้ค่อนข้างแข็ง) ทางตอนใต้ของป่าผลัดใบในยุโรปตะวันออกและเอเชียกลาง เป็นจุดเริ่มต้นของทุ่งหญ้า (เรียกอีกอย่างว่า “ทุ่งหญ้าสเตปป์”) และเขตเปลี่ยนผ่านนี้เรียกว่าป่าสเตปป์ อย่างไรก็ตาม ไม่มีเขตป่าผลัดใบในไซบีเรียตะวันตกและบริเวณตอนกลางของอเมริกาเหนือ (ภาพที่ 2.3.1) ที่ซึ่งป่าไทกาจะถูกแทนที่ด้วยทุ่งหญ้าทันทีเนื่องจากสภาพอากาศแบบภาคพื้นทวีปของภูมิภาคนี้มีฝนตกน้อย ดังนั้นพื้นดินจึงแห้งแล้งมาก และป่าผลัดใบซึ่งต้องการความชื้นมากจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้

ภาพที่ 2.3.3 ป่าไทกาตอนใต้



ภาพที่ 2.3.4 ป่าผลัดใบ



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อป่าไม้หรือไม่

ป่าไม้ได้รับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศที่ร้อนขึ้นในปัจจุบันหรือไม่ คำตอบคือ ส่งผลกระทบอย่างแน่นอน

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะมีผลกระทบต่อต้นไม้และองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ในวงกว้างแตกต่างกันไป เมื่อสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงต่อไป ต้นไม้จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ หรืออพยพโยกย้ายไปยังสถานที่ที่เหมาะสมกว่า

ต้นไม้มีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมาก เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้น และรูปแบบฝนที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม เพราะต้นไม้แต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้จึงมีผลมากต่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของต้นไม้ ตัวอย่างเช่น ต้นไม้ที่อยู่ในพื้นที่อากาศเย็นจะไวต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเกินระดับที่ต้นไม้จะทนได้ ต้นไม้อาจหยุดกระบวนการควบคุมน้ำ เช่น การปล่อยไอน้ำผ่านใบ เพื่อรักษาทรัพยากร ต้นไม้บางสายพันธุ์เริ่มอพยพไปยังพื้นที่สูง เพื่อหาสภาพแวดล้อมที่เย็นกว่าและเหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตาม ต้นไม้ที่เติบโตในพื้นที่สูงอยู่แล้วจะต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่เลวร้าย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ต้นไม้อาจพบว่าแหล่งที่อยู่อาศัยไม่เหมาะสมและเสี่ยงต่อการตาย งานวิจัยระบุว่าต้นไม้ประมาณ 1,000 สายพันธุ์ทั่วโลก รวมถึงสัก ต้นโอ๊ก ต้นสน และยูคาลิปตัส มีความเสี่ยงต่อสุขภาพหรือการทำงานที่ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำฝนที่ลดลง ด้านบวกก็คือ อุณหภูมิที่อุ่นขึ้นอาจทำให้ระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นไม้บางชนิด เช่น ต้นโอ๊กและต้นบีช ยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตาม สิ่งนี้ยังอาจทำให้ต้นไม้เสี่ยงต่อความเครียดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ เช่น น้ำค้างแข็งและความเสียหายจากสัตว์กินพืช

ภาพที่ 2.3.5 ภัยแล้งในป่าเขตร้อน



ภัยแล้งสร้างสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายสำหรับต้นไม้ ทำให้ต้นไม้ขาดน้ำที่จำเป็นต่อการดำรงอยู่ (ภาพที่ 2.3.5) ภัยแล้งที่ยาวนานยังทำให้การผลิตน้ำยางลดลง ซึ่งโดยปกติแล้วจะทำหน้าที่ขับไล่แมลง ทำให้ต้นไม้เสี่ยงต่อโรคมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปัญหานี้รุนแรงขึ้นอีก เนื่องจากแมลงระบาดบ่อยขึ้นและรุนแรงขึ้น ศัตรูพืชที่ทำลายล้าง เช่น ด้วงเปลือกไม้และหนอนเจาะยอดต้นสน สามารถทำให้ต้นไม้ที่เครียดจากภัยแล้งอ่อนแอลงหรืออาจถึงตายได้ (ภาพที่ 2.3.6) ปัจจัยรวมเหล่านี้คุกคามสุขภาพของต้นไม้และระบบนิเวศของป่าอย่างมากในโลกที่ร้อนขึ้น

ภาพที่ 2.3.6 ไม้ที่ได้รับความเสียจากด้วงเจาะเปลือกไม้



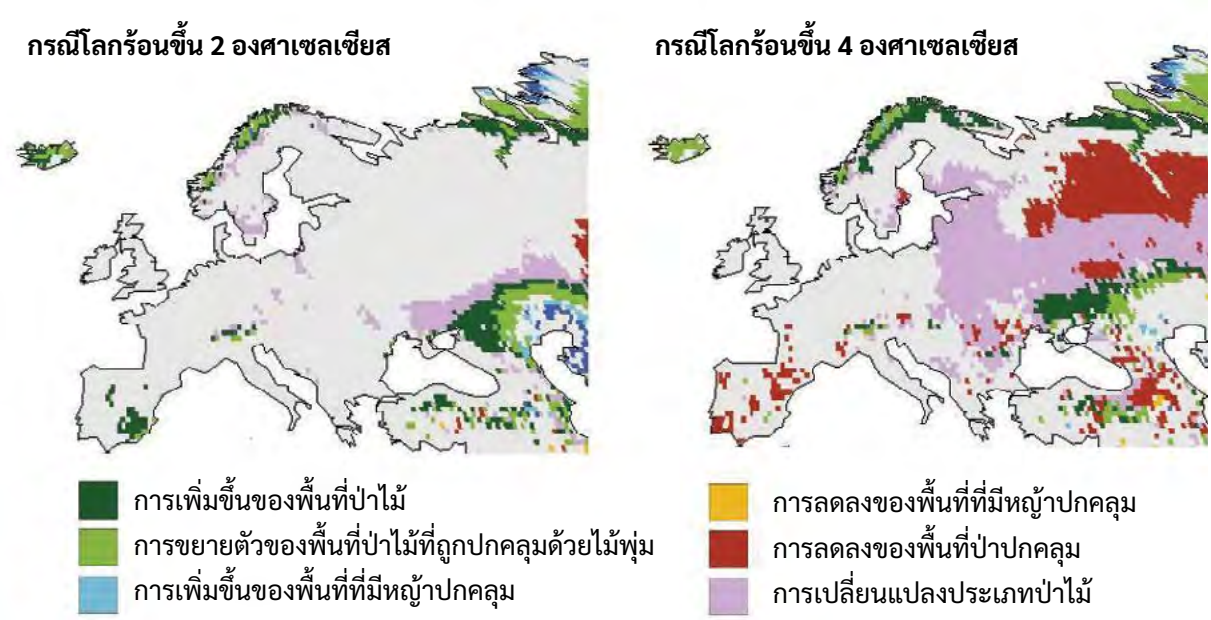
ความร้อนส่งผลให้พืชในอเมริกาใต้ขยับสู่พื้นที่สูงบนเขา

ต้นไม้และพุ่มไม้ในพื้นที่ภูเขาของอเมริกาใต้กำลังหนีความร้อนที่ไม่อาจทนได้ในพื้นที่ราบ โดยการเคลื่อนตัวขึ้นไปตามไหล่เขาซึ่งอากาศเย็นกว่า ซึ่งช่วยให้ต้นไม้สามารถอยู่รอดได้ ในเทือกเขาแอนดีส ต้นไม้เคลื่อนตัวขึ้นภูเขาโดยเฉลี่ยปีละ 2.5-3.5 เมตร ซึ่งถือเป็นความสำเร็จครั้งสำคัญสำหรับพืช ซึ่งตามธรรมชาติแล้วไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ยกเว้นการสืบพันธุ์ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเทือกเขาแอนดีสกำลังเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ต้นไม้จึงต้องไต่ระดับสูงขึ้นไปมากกว่า 6 เมตรต่อปี เพื่อให้ได้อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดำรงอยู่

จากพืชทั้งหมด 38 ชนิดที่นักวิทยาศาสตร์กำลังติดตามอยู่ พบว่า พืชในสกุลเชฟเฟลเลอรา (Schefflera) เป็นชนิดที่กำลังอพยพขึ้นที่สูงได้เร็วที่สุด โดยเคลื่อนที่ขึ้นไปเฉลี่ยปีละประมาณ 30 เมตร ในขณะที่ต้นมะเดื่อ (fig tree) มีแนวโน้มว่าจะไม่สามารถอยู่รอดในพื้นที่เหล่านี้ได้ภายในปี พ.ศ. 2643 หากอุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้น 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากมันเคลื่อนขึ้นที่สูงได้เพียงปีละ 1.5 เมตรเท่านั้น แบบจำลองภูมิอากาศยังชี้ว่า พืชในเขตร้อนมากกว่าร้อยละ 50 อาจสูญพันธุ์ได้ในอนาคต

การพยากรณ์ส่วนใหญ่ชี้ว่าป่า ในบริเวณตอนเหนือของยูเรเซียและอเมริกาเหนือจะได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนมากกว่าป่าในภูมิภาคอื่นของโลก เนื่องจากขอบเขตทางเหนือและใต้ของป่าถูกแทนที่ หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส พื้นที่ป่าไทกาในยุโรปจะขยายตัวและแผ่เข้าไปในเขตทุนดรา อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 4 องศาเซลเซียส ขอบเขตป่าทางตอนใต้จะถอยร่นไปทางเหนือ ซึ่งผลกระทบจากการถอยร่นนี้จะรุนแรงกว่าการขยายตัวเข้าไปในเขตทุนดรา (ภาพที่ 2.3.7)

ภาพที่ 2.3.7 การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้ในยุโรปภายในปี พ.ศ. 2643 ภายใต้สมมติฐานว่าอุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส



การตัดไม้ทำลายป่าซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อเกือบทุกพื้นที่ในยุโรปตะวันออกและไซบีเรียตะวันตก การพยากรณ์ลักษณะนี้น่าเป็นห่วง เพราะชี้ให้เห็นว่าการสูญเสียพื้นที่ป่าอาจเป็นหนึ่งในผลกระทบที่ร้ายแรงที่สุดของภาวะโลกร้อน

การทำลายป่าด้วยไฟ ศัตรูพืช และสภาพอากาศที่เลวร้าย

ภัยคุกคามสำคัญอีกประการหนึ่งต่อป่าซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือ ไฟป่าขนาดใหญ่และการระบาดของศัตรูพืชที่เพิ่มขึ้นจากสภาพอากาศร้อนจัดในฤดูร้อน ความร้อนและสภาพอากาศที่เลวร้ายอื่น ๆ มักเป็นสาเหตุโดยตรงของการทำลายป่า

ไฟป่ามักเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาป่าเพื่อใช้พื้นที่เพาะปลูก สำนักงานลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNDRR) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2566 พื้นที่ป่าในอินโดนีเซียกว่า 1.16 ล้านเฮกตาร์ถูกไฟไหม้ โดยร้อยละ 98 มีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์

เมื่อไฟลามเข้าไปในป่าสน มักจะลุกลามไปถึงเรือนยอดของต้นไม้ เข็มสนและกิ่งขนาดเล็กของต้นสนและต้นสนชนิดต่าง ๆ มีสารเรซินในปริมาณสูง ทำให้ต้นไม้ที่ยังมีชีวิตติดไฟได้ง่าย ไฟที่ลุกลามไปยังเรือนยอดนับว่าเป็นประเภทไฟป่าที่อันตรายและรุนแรงมากที่สุด และอาจส่งผลให้ป่าทำลายจนหมดสิ้น (ภาพที่ 2.3.8)

ไฟป่าก่อให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อป่าไม้ ต้นไม้จำนวนมากต้องตายลง การเจริญเติบโตของต้นไม้ถูกจำกัด ความหลากหลายของพรรณไม้ในป่าลดลง ขณะที่แมลงและศัตรูพืชที่เป็นอันตรายแพร่กระจายได้ง่าย เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าก็เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ไม้แห้งเร็วขึ้น ช่วงอากาศร้อนของปีที่อาจมาพร้อมกับไฟป่า ก็ยาวนานขึ้นเช่นกัน

คาดว่าความรุนแรงและความถี่ของไฟป่าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและรูปแบบฝนที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อป่าในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เช่นกัน เป็นผลให้แรงกดดันจากไฟป่าที่มนุษย์ก่อขึ้นในป่ายิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ไฟป่าไม่เพียงแต่ทำลายระบบนิเวศที่สำคัญของป่า แต่ยังปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมากสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งยิ่งซ้ำเติมปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ภาพที่ 2.3.8 ไฟป่า



ภาพที่ 2.3.9 ต้นไม้ถูกทำลายด้วยพายุไต้ฝุ่น



ฤดูร้อนที่อากาศร้อนผิดปกติในปี พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2555 ในบริเวณตอนกลางของรัสเซียฝั่งยุโรป ส่งผลให้ต้นสนที่คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมากอ่อนแอลง ต้นไม้ที่อ่อนแอเช่นนี้ตกเป็นเหยื่อของแมลงหลายชนิดที่สามารถอาศัยอยู่ใต้เปลือกไม้ได้อย่างง่ายดาย ในปีที่อุณหภูมิและความชื้นอยู่ในระดับปกติ จำนวนประชากรของแมลงเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยสัตว์ชนิดอื่น (เช่น แมลงและนกที่เป็นผู้ล่า) แต่ถ้าจำนวนประชากรของแมลงเปลือกไม้มีมากเกินไป ป่าอาจตายได้เป็นบริเวณกว้างได้!

ต้นไม้ที่เหี่ยวเฉาจะสูญเสียใบก่อน จากนั้นจึงสูญเสียเปลือก เชื้อราต่าง ๆ ที่โจมตีไม้จะไปทำลายราก ซึ่งในที่สุดแล้วจะไม่สามารถพยุงต้นไม้ได้ ลมแรงสามารถพัดต้นไม้ล้มลงทีละต้นได้ (ภาพที่ 2.3.9) ในระยะแรก นกและกระรอกจะพากันหนีออกจากป่าไป เนื่องจากไม่สามารถเก็บเกี่ยวเปลือกไม้ได้อีกต่อไป จากนั้นตัวมาร์เทนจึงย้ายไปที่อื่นเพื่อหาเหยื่อที่ดีกว่า พื้นป่าสีเขียวที่เคยปกคลุมด้วยดอกลิลลี่แห่งหุบเขาและหญ้าเปรี้ยว ซึ่งเติบโตได้ดีภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ จะถูกแทนที่ด้วยพืชจำพวกหญ้ากก พุ่มไม้ราสเบอร์รี่ และพืชมีหนาม กล่าวโดยสรุปคือ พันธุ์ไม้ทั้งหมดเปลี่ยนไป

อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ว่าทุกสิ่งจะสูญสิ้นไป พันธุ์ไม้ที่หายไปสามารถฟื้นกลับมาได้ เช่นเดียวกับสิ่งที่เกิดขึ้นหลังไฟไหม้ครั้งใหญ่ ป่าสนสามารถฟื้นตัวได้อย่างสมบูรณ์ภายในหนึ่งหรือสองศตวรรษ ตราบเท่าที่ไม่เกิดเหตุการณ์ซ้ำซ้อนในพื้นที่อื่น ๆ ที่ยังมีพืชอาศัยอยู่ และหากไม่มีอุณหภูมิที่ผันผวนผิดปกติ

ล่าสุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ไฟป่าได้ทำลายพื้นที่ป่าของรัสเซียไปแล้วกว่า 18.16 ล้านเฮกตาร์ ซึ่งถือเป็นสถิติสูงสุดนับตั้งแต่เริ่มมีการติดตามไฟป่าโดยใช้ดาวเทียมในปี พ.ศ. 2544 โดยสถิติก่อนหน้านี้เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2555 เมื่อไฟป่าได้เผาผลาญพื้นที่ป่าไปแล้ว 18.11 ล้านเฮกตาร์

สภาพอากาศที่รุนแรงประเภทอื่น ๆ เช่น น้ำท่วมและพายุไต้ฝุ่น ก็สามารถทำลายป่าได้เช่นกัน โดยพัดต้นไม้ให้ล้มลง (ภาพที่ 2.3.9) ฝนตกหนักและน้ำท่วมอาจก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรง เช่น การชะล้างหน้าดิน หรือทำให้ต้นไม้ตายจากการที่น้ำขังเป็นเวลานาน

ความเสียหายอย่างรุนแรงของป่าไม้ในเวียดนามหลังพายุไต้ฝุ่นยางีถล่ม

ในปี พ.ศ. 2566 จังหวัดกว๋างนิญของเวียดนามต้องเผชิญกับความเสียหายอย่างหนักจากพายุไต้ฝุ่นยางี ลมกระโชกแรงและฝนตกหนักจากพายุได้เปลี่ยนพื้นที่ป่าที่เขียวขจีมากกว่า 117,600 เฮกตาร์ ให้กลายเป็นความรกร้าง ส่งผลกระทบรุนแรงต่อภาคป่าไม้ของภูมิภาค

พื้นที่ป่าปลูกได้รับความเสียหายมากที่สุด ต้นไม้ที่มีอายุระหว่าง 1–5 ปีถูกทำลายจนหมดสิ้น แทบไม่สามารถกู้คืนได้ ส่วนป่าที่มีอายุมากกว่านั้นสามารถกู้คืนมูลค่าการลงทุนได้เพียงประมาณร้อยละ 40 เท่านั้น

การฟื้นฟูพื้นที่คาดว่าจะใช้เวลาอย่างน้อย 2 ปี และการฟื้นตัวทางระบบนิเวศอย่างเต็มรูปแบบอาจต้องใช้เวลาหลายสิบปี เหตุการณ์ครั้งนี้สะท้อนให้เห็นถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากพายุรุนแรงต่อพื้นที่ป่าไม้ และความจำเป็นเร่งด่วนในการจัดการป่าไม้อย่างยืดหยุ่นและยั่งยืนในเวียดนาม

ภาพที่ 2.3.10 **ต้นไม้เขียวขจีที่มีอายุนับ 10 ปีถูกพายุโค่นล้ม**



ประวัติศาสตร์ของยุคน้ำแข็ง ร่วมกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการพยากรณ์ในปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่าป่าไม้และระบบนิเวศธรรมชาติอื่น ๆ สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายได้ แต่การปรับตัวนี้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการอพยพ นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงขอบเขตของพื้นที่ธรรมชาติและประเภทพืชพรรณ ในช่วงยุคน้ำแข็งนั้น ป่าไม้จะเหลือรอดอยู่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างเล็ก ในขณะที่ผืนดินขนาดใหญ่ของยูเรเซียจะปกคลุมไปด้วยทุ่งทุนดราและทุ่งทุนดราสเตปป์ เมื่อสภาพอากาศอบอุ่นขึ้น ป่าไม้ก็กลับมามีสถานะเป็นพืชพรรณหลักอีกครั้ง อย่างไรก็ตาม สภาพอากาศในปัจจุบันที่อุ่นขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไป กำลังเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณอย่างรวดเร็ว ทำให้ป่าไม้แห้งเป็นบริเวณกว้าง และมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดไฟป่า

ดังนั้น จึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องไม่ปล่อยให้ภาวะโลกร้อนทวีความรุนแรงขึ้น และควรดำเนินมาตรการเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดำเนินไปอย่างช้า ๆ และมีเสถียรภาพ

ป่าไม้ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศอย่างไร

ทุกวันนี้มีความเข้าใจแล้วว่าสภาพอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อป่าไม้ได้อย่างไร อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์นี้ยังดำเนินไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ป่าไม้เองก็ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศเช่นกัน

ตัวอย่างเช่น ผืนป่าเขียวขจีจะเปลี่ยนการสะท้อนของแสงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่โลกดูดซับ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นที่ที่มีป่าไม้กับพื้นที่ที่ไม่มีป่าไม้จะเห็นได้ชัดเจนเป็นพิเศษในฤดูหนาว แสงอาทิตย์จะสะท้อนจากที่ราบที่ไม่มีต้นไม้ปกคลุมไปด้วยหิมะ ในขณะที่พื้นที่มืดของป่าไทกาจะสะท้อนแสงน้อยกว่าและดูดซับแสงอาทิตย์มากกว่า

ป่าไม้ช่วยรักษาความชื้นในดินและส่งผลต่อการระเหย ทำให้สภาพอากาศในภูมิภาคอุ่นขึ้นและชื้นขึ้น

หิมะจะปกคลุมอยู่ในป่านานขึ้น ซึ่งช่วยลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วในฤดูใบไม้ผลิ และลดความเสี่ยงของน้ำท่วมในแม่น้ำในช่วงฤดูดังกล่าว

สิ่งที่ทำให้ป่าไม้มีความสำคัญต่อสภาพอากาศเป็นพิเศษก็คือวัฏจักรคาร์บอน คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศ และกักเก็บคาร์บอนในรูปของสารอินทรีย์ต่าง ๆ

อาจเป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าพืชสีเขียวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตออกซิเจน กระบวนการนี้เรียกว่าการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ป่าไม้ประกอบด้วยพืชสีเขียวจำนวนมาก (ต้นไม้ พุ่มไม้ และหญ้า) จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในชั้นบรรยากาศของโลก มักมีการกล่าวถึงคำว่า ‘ปอดสีเขียวของโลก’ ทางโทรทัศน์และหนังสือพิมพ์ เพื่ออธิบายถึงป่าไม้ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการปล่อยออกซิเจนเป็นสองด้านของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นอาจคิดว่าป่าไม้สามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศได้ทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงแล้ว เรื่องนี้ไม่ง่ายอย่างที่คิด หากต้องการเข้าใจกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างป่ากับบรรยากาศจำเป็นต้องเข้าใจว่าป่ากักเก็บคาร์บอนได้อย่างไร คาร์บอนเป็นธาตุที่จับกับออกซิเจนจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และพบได้ในสารอินทรีย์ทุกชนิด ตัวอย่างเช่น ไม้แห้งมีน้ำหนักเกือบครึ่งหนึ่งเป็นคาร์บอน



แหล่งกักเก็บคาร์บอนคืออะไร

ทุกส่วนของระบบนิเวศที่มีอินทรียวัตถุในปริมาณมากจะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน นักวิทยาศาสตร์เรียกแหล่งกักเก็บดังกล่าวว่า **'แหล่งกักเก็บคาร์บอน'** แหล่งกักเก็บคาร์บอนสามารถทำได้สองอย่าง คือ ดูดซับหรือปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศ ระบบนิเวศของป่ามีแหล่งกักเก็บคาร์บอนหลัก 4 แหล่ง ได้แก่:

1. มวลชีวภาพหรือชีวมวล (น้ำหนักของพืชที่มีชีวิต)
2. ไม้ที่ตายแล้ว
3. เศษซากพืชที่ร่วงหล่น (ใบไม้และกิ่งไม้ที่ร่วงบนพื้นป่า)
4. อินทรียวัตถุในดิน ในหลายประเทศ ยังมีแหล่งกักเก็บคาร์บอนขนาดเล็กเพิ่มติมที่เรียกว่าผลิตภัณฑ์จากไม้ที่เก็บเกี่ยว

แหล่งรวมของชีวมวลพืช (phytomass pool) ประกอบด้วยพืชที่มีชีวิต ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ราก ใบ และเข็มของต้นไม้และพุ่มไม้ รวมถึงใบและรากของหญ้าและมอส (ภาพที่ 2.3.11) โดยทั่วไป ลำต้นของต้นไม้จะมีสัดส่วนของชีวมวลพืชมากที่สุด แต่มอสก็เป็นส่วนประกอบหลักเช่นกันในป่าสนไทกาและป่าพรุทางตอนเหนือ

แอ่งไม้ตาย (dead wool pool) ประกอบด้วยต้นไม้และรากไม้ที่ตายแล้ว การตายของต้นไม้ในป่าเรียกว่า 'ไดแบ็ก (dieback) หรือการแห้งตายจากปลายยอดหรือปลายกิ่งของต้นไม้ และเกิดขึ้นตามธรรมชาติเมื่อต้นไม้ที่กำลังเติบโตแข่งขันกันรับแสงแดด ต้นไม้ที่เล็กกว่ามักถูกต้นไม้ใหญ่บดบังแสง และค่อย ๆ เหี่ยวเฉาลงเนื่องจากได้รับแสงไม่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์แสง นี่จึงเป็นเหตุที่ป่าไม้ที่ยังอายุน้อยมีความหนาแน่นมากกว่าป่าไม้ที่แก่แล้ว อย่างไรก็ตาม การสึกกร่อนยังสามารถเกิดขึ้นได้ในสถานการณ์อื่น ๆ อีกด้วย เช่น ไฟป่า ภัยแล้ง แมลงศัตรูพืชในป่า และมลพิษที่มนุษย์สร้างขึ้น ในป่าที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ แอ่งคาร์บอนในไม้ที่ตายแล้วอาจมากกว่าแอ่งในไม้ที่มีชีวิต

เศษซากพืชที่ร่วงหล่น (Litterfall) ประกอบด้วยวัสดุพืชขนาดเล็กที่ตกลงมาบนผิวดิน (ภาพที่ 2.3.13) โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยใบไม้แห้ง เข็มสน กิ่งไม้แห้งขนาดเล็ก กลีบดอก กรวย และเศษซากพืชอื่น ๆ ที่ร่วงหล่นจากต้นไม้ที่มีชีวิต ในป่าผลัดใบ การเติมเต็มของแอ่งเศษซากพืชจะเกิดขึ้นอย่างเข้มข้นที่สุดในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ส่วนในป่าบอเรียล เศษซากพืชจะร่วงหล่นลงมาอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

ภาพที่ 2.3.11

เนื้อไม้ในลำต้นของต้นไม้เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของแหล่งสะสมคาร์บอนในชีวมวลพืช



ภาพที่ 2.3.12

ต้นไม้ที่ตายแล้วเป็นส่วนหนึ่งของแหล่งคาร์บอนในไม้ที่ตายแล้ว



ภาพที่ 2.3.13

แหล่งคาร์บอนจากเศษซากพืชขยายตัวในฤดูใบไม้ร่วงเมื่อใบไม้ร่วงหล่น



แหล่งดิน (Soil pool) ในป่ามีคาร์บอนในปริมาณมาก ดินประกอบด้วยแร่ธาตุและอินทรียวัตถุ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง **'ฮิวมัส'** ซึ่งเป็นสารสีเข้มที่เกิดจากการย่อยสลายอย่างช้า ๆ ของเศษซากพืช (เช่น เศษซากพืชที่ร่วงหล่น ไม้ตาย และรากที่ตายแล้ว) คาร์บอนคิดเป็นร้อยละ 58 ของส่วนประกอบของฮิวมัส ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าคาร์บอนในมวลพืช ยิ่งดินมีสีเข้มมากเท่าใด ก็ยิ่งแสดงว่ามีคาร์บอนสะสมอยู่มากเท่านั้น (ภาพที่ 2.3.14)

คาร์บอนที่เก็บไว้ในผลิตภัณฑ์จากไม้มักเรียกกันว่า **แหล่งกักเก็บคาร์บอนจากผลิตภัณฑ์ไม้** ผลิตภัณฑ์จากไม้บางประเภท เช่น เฟอร์นิเจอร์ไม้คุณภาพสูงและอาคารโครงสร้างไม้ สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ยาวนานกว่าการปล่อยต้นไม้ทิ้งไว้ในป่า ผลิตภัณฑ์ไม้จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยกักเก็บคาร์บอนจากป่าไม้ ขณะที่การเก็บเกี่ยวไม้ช่วยเปิดพื้นที่ให้ต้นไม้รุ่นใหม่เติบโตทดแทน

ในป่าบอเรียล คาร์บอนในชีวมวลพืชคิดเป็นร้อยละ 21 ในไม้ตายร้อยละ 4 ในเศษซากพืชที่ร่วงหล่นร้อยละ 3 และในดินร้อยละ 72 ดังนั้น คาร์บอนในป่าเหล่านี้จึงกระจุกตัวอยู่ในดินเป็นหลัก

สัดส่วนนี้ค่อนข้างแตกต่างกันในป่าเขตร้อนซึ่งอินทรียวัตถุที่มีชีวิตและที่ตายแล้วคิดเป็นร้อยละ 50 ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมด

เพราะเหตุใดจึงมีความแตกต่างกันมากเช่นนี้ ในป่าไทกา การสลายตัวของพืชที่ตายแล้วเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากต้องอาศัยการย่อยสลายโดยเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งใช้เวลาหลายสิบปีกว่าลำต้นของต้นไม้ใหญ่ที่ตายแล้วจะย่อยสลายหมด ด้วยเหตุนี้ ป่าจึงสะสมอินทรียวัตถุที่ตายแล้วไว้จำนวนมาก ได้แก่ ไม้ตาย เศษซากพืชที่ร่วงหล่น และฮิวมัสในดิน ในทางตรงกันข้าม ป่าเขตร้อนมีสัตว์ โดยเฉพาะปลวก ซึ่งกินเศษซากพืชและไม้ตายเป็นส่วนใหญ่ ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นเร็วขึ้น และส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุที่ตายแล้วลดลง จึงส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในระบบนิเวศ

ภาพที่ 2.3.14

หากดินมีสีเข้มแสดงว่ามีปริมาณคาร์บอนสูง



งบประมาณคาร์บอน

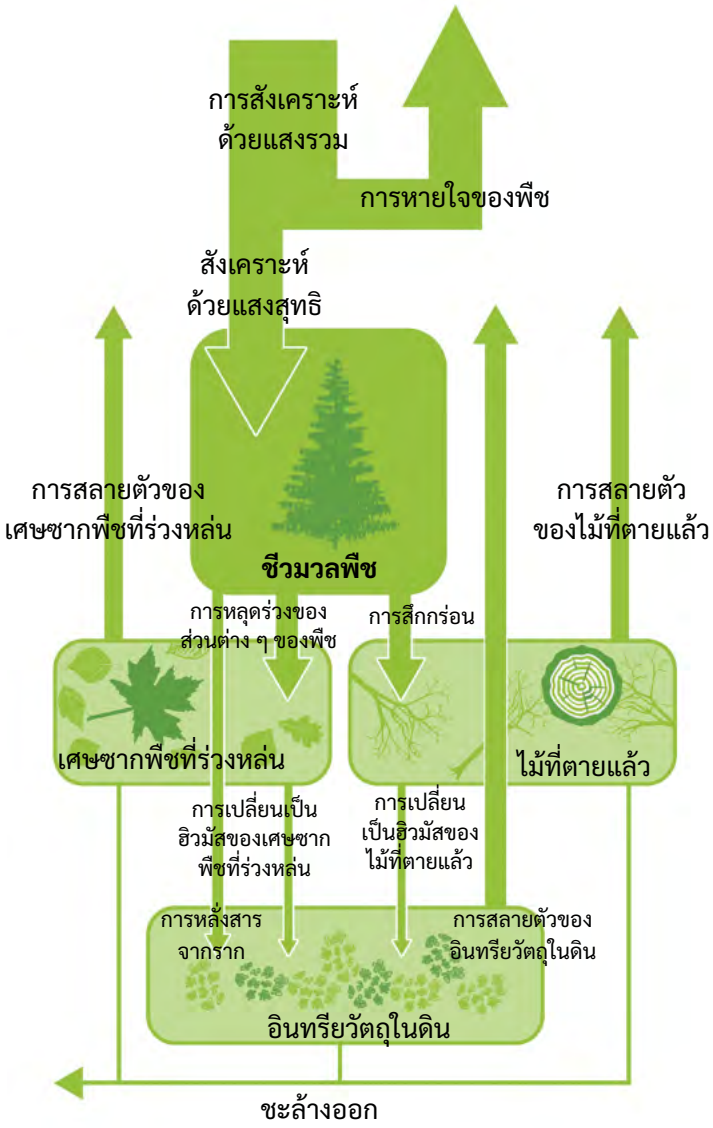
เมื่อเข้าใจแหล่งกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้แล้ว ประเด็นต่อไปคือการพิจารณาว่าแหล่งกักเก็บเหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันและต่อชั้นบรรยากาศในลักษณะใด (ภาพที่ 2.3.15) นักวิทยาศาสตร์เรียกระบบการเชื่อมโยงนี้ว่า **“งบประมาณคาร์บอน”** เพราะมันเปรียบได้กับงบประมาณทางการเงินของประเทศ บริษัท หรือครอบครัว ที่รายรับจะต้องสอดคล้องกับส่วนที่ออกไป (รายจ่าย)

‘รายรับ’ เพียงรายการเดียวในระบบนิเวศของป่าคือการสังเคราะห์ด้วยแสง ผลรวมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้จะสร้างสารอินทรีย์ขึ้นมา โดยผู้บริโภครายแรกของสารนี้คือพืชเอง ซึ่งจะใช้ไปเกือบครึ่งหนึ่งในกระบวนการหายใจ และปล่อยคาร์บอนกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนที่เหลือเรียกว่า “การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ” ซึ่งจะเข้าสู่แหล่งสะสมของมวลพืช

สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในป่าบริโภคสิ่งมีชีวิตจากพืช เช่น หนอนผีเสื้อและแมลงที่กินใบไม้ นกและสัตว์ฟันแทะที่กินผลไม้และเมล็ดพืช และสัตว์มีกีบที่กินหญ้าและกิ่งไม้อ่อน

ภาพที่ 2.3.15

งบประมาณคาร์บอน (Carbon budget) ของระบบนิเวศป่าไม้





ในป่าไทกาและป่าเขตอบอุ่น พืชส่วนใหญ่จะตายไปตามธรรมชาติ (เช่น เมื่อพืชเหี่ยวเฉาและตาย หรือเมื่อมีการผลัดใบและกิ่ง) จากนั้นเชื้อราและแบคทีเรียจะย่อยสลายพืชเหล่านั้น (ภาพที่ 2.3.16) กระบวนการนี้ช่วยเติมเต็มแหล่งกักเก็บคาร์บอนในไม้ที่ตายแล้วและแหล่งกักเก็บคาร์บอนในเศษซากพืชที่ร่วงหล่น

เมื่อเชื้อราและแบคทีเรียหายใจ คาร์บอนจากกระบวนการทำให้เป็น**ฮิวมัส**ของเศษซากพืชที่ร่วงหล่น และสารอินทรีย์ที่หลั่งออกจากราก จะจับตัวกับออกซิเจนและกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อไม้ที่ตายแล้วและเศษซากพืชที่ร่วงหล่นเริ่มย่อยสลาย ส่วนหนึ่งของแหล่งกักเก็บเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นฮิวมัสและกลายเป็นส่วนเติมเต็มของแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดิน (กระบวนการนี้เรียกว่า การทำให้เป็นฮิวมัส) คาร์บอนยังเข้าสู่ดินจากพืชที่ยังมีชีวิตในรูปของสารอินทรีย์ที่หลั่งออกมาจากราก

อินทรียวัตถุในดินจะถูกย่อยสลายโดยเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งกระบวนการนี้จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่ชั้นบรรยากาศ คาร์บอนบางส่วนอาจถูกชะล้างออกจากระบบนิเวศโดยน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน อาจเคยเห็นใบไม้ในฤดูใบไม้ร่วงถูกพัดพาไปตามลำธารในป่า

ป่าที่มีต้นไม้ใหญ่และมีอายุมากจำนวนมาก จะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศในปริมาณเท่า ๆ กับเมื่อปล่อยกลับออกมา แหล่งกักเก็บคาร์บอนในป่าประเภทนี้จึงมีความคงอยู่ เปรียบเสมือนสระว่ายน้ำ เต็มไปด้วยน้ำและไม่สามารถดูดซับน้ำเพิ่มได้อีก โดยในกรณีนี้สิ่งที่เต็มคือคาร์บอน ไม่ใช่น้ำ อย่างไรก็ตาม นั่นไม่ได้หมายความว่าป่าที่โตเต็มที่จะไม่มีบทบาทในการควบคุมองค์ประกอบของก๊าซในชั้นบรรยากาศ ประเด็นก็คือ ป่าเหล่านี้จะไม่ดูดซับอีกต่อไป แต่กลายเป็นแหล่งกักเก็บที่คงคาร์บอนไว้ในรูปแบบที่ไม่สามารถก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้อีก

งบประมาณคาร์บอนของป่าที่กำลังเติบโต จะแตกต่างจากป่าที่โตเต็มที่ ป่าที่กำลังจะเติบโตจะสะสมคาร์บอน และดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศ โดยคาร์บอนจะสะสมในแหล่งกักเก็บต่าง ๆ ดังนั้น ป่าที่กำลังเจริญเติบโตจึงสมควรได้รับการเรียกว่า ‘ปอดสีเขียว’ ของโลก

ภาพที่ 2.3.16 **เชื้อราทินเดอร์ย่อยสลายไม้ที่ตายแล้วและปล่อยคาร์บอนกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ**



ความแตกต่างในผลกระทบของป่าไม้ต่อบรรยากาศ

จากเนื้อหาที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ป่าไม้ที่ยังอายุน้อยและอยู่ในระยะเจริญเติบโตมีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ซึ่งสามารถชดเชยการปล่อยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันได้บางส่วน ป่าไม้ที่เติบโตเต็มที่จะกักเก็บคาร์บอนในปริมาณมหาศาลในรูปแบบที่ผูกมัดซึ่งจะป้องกันไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ก่อตัวขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจก ดังนั้น หากมีความต้องการจะใช้ป่าไม้เป็นกลไกในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จำเป็นต้องดำเนินการสองแนวทางหลัก ได้แก่ (1) ปลูกป่าใหม่ในพื้นที่ที่เดิมไม่มีป่า และ (2) ดูแลรักษาป่าที่มีอยู่ในปัจจุบันอย่างเหมาะสม

ในประเทศที่พัฒนาแล้วซึ่งมีเศรษฐกิจในระดับก้าวหน้า (เช่น สหรัฐอเมริกา ประเทศในสหภาพยุโรป แคนาดา รัสเซีย และอื่น ๆ) มีป่าไม้ที่ยังใหม่จำนวนมากที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศได้ และมีความเสี่ยงต่ำกว่าที่จะถูกทำลายเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรม หลายประเทศยังสนับสนุนให้เจ้าของที่ดินปลูกป่าด้วย

เนื่องจากป่าในเขตอบอุ่นสามารถเติบโตและดูดซับคาร์บอนได้ต่อเนื่องเป็นเวลาหลายสิบปีหรือแม้กระทั่งหลายร้อยปี ทำให้คาร์บอนถูกสะสมไว้ในระบบนิเวศ ปัจจุบันการฟื้นฟูป่าไม้เกิดขึ้นในพื้นที่ที่เคยสูญเสียป่าไม้ไปมากในช่วงยุคอุตสาหกรรมของคริสต์ศตวรรษก่อน ตัวอย่างที่ชัดเจนคือการฟื้นฟูป่าสนตามแนวชายฝั่งแปซิฟิกของแคนาดา

ในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ผ่านมา พื้นที่นี้ปกคลุมไปด้วยป่าสนขนาดใหญ่ เช่น ต้นสนดักลาสและต้นซีดาร์แดง ซึ่งบางต้นสูงถึง 80-90 เมตร แต่เมื่อถึงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 ป่าเหล่านี้ก็ถูกโค่น และยังสามารถพบเห็นตอไม้ขนาดใหญ่ของต้นไม้ที่ถูกโค่น ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 เมตรอยู่จนปัจจุบัน (ภาพที่ 2.3.17) นับตั้งแต่นั้นมา กฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดของแคนาดาได้ช่วยฟื้นฟูป่าในพื้นที่ตัดไม้ที่เคยมีการตัดไม้

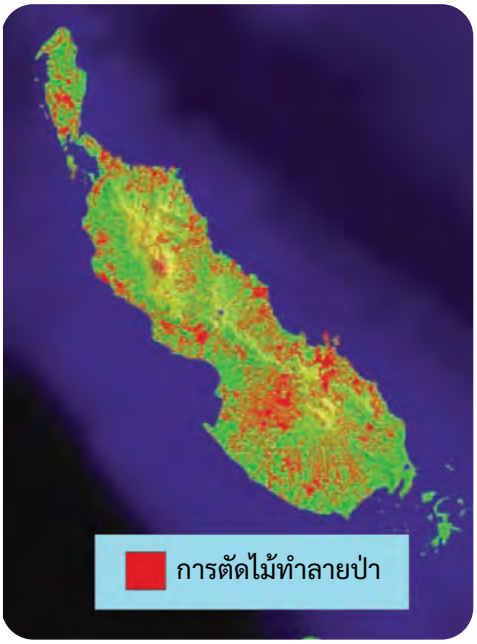
ภาพที่ 2.3.17

ตอไม้ยักษ์นี้ในป่าทางตะวันตกของแคนาดา (บริติชโคลัมเบีย) เป็นหลักฐานของการตัดไม้แบบเข้มข้นในช่วงครึ่งแรกของคริสต์ศตวรรษที่ 20



ภาพที่ 2.3.18

การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้บนเกาะบูเกนวิลล์ (ปาปัวนิวกินี พ.ศ. 2515-2545)



สำหรับประเทศกำลังพัฒนานั้นสถานการณ์จะแตกต่างไปมาก โดยเฉพาะในอเมริกาใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และโอเชียเนีย ด้วยจำนวนประชากรและเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้น ประเทศเหล่านี้จึงต้องการพื้นที่มากขึ้นสำหรับการเกษตร โรงงาน เมือง และถนน พื้นที่เหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากการทำลายป่าเขตร้อน และไม่ได้มีการปลูกป่าทดแทนที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ชาวบ้านที่อาศัยอยู่ใกล้เขตอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติดงหัวสาวรายงานว่าในปี พ.ศ. 2565 มีการตัดต้นไม้และเผาที่ดินเพื่อเตรียมปลูกมันสำปะหลัง (ภาพที่ 2.3.19)

การตัดไม้ทำลายป่าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากในบางพื้นที่เขตร้อน โดยเฉพาะในปาปัวนิวกินี ซึ่งมีการตัดไม้ทำลายป่าในวงกว้าง และเกิดขึ้นในอัตราร้อยละ 1.4 ของพื้นที่ป่าฝนเขตร้อนที่สูญเสียไปในแต่ละปี การตัดไม้อย่างผิดกฎหมายเป็นสาเหตุหลักของการทำลายป่า คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 70-80 ของการส่งออกไม้ทั้งหมด ระหว่างปี พ.ศ. 2515-2545 ประเทศดังกล่าวนี้สูญเสียพื้นที่ป่าไปมากกว่า 5 ล้านเฮกตาร์ เป็นรองเพียงบราซิลและอินโดนีเซียเท่านั้นในบรรดาประเทศเขตร้อน (ภาพที่ 2.3.18) ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการตัดไม้ทำลายป่าในปาปัวนิวกินีเพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่าในช่วงเวลา 30 ปีนี้ อย่างไรก็ตาม ด้วยความพยายามในการอนุรักษ์ป่าฝน อัตราการตัดไม้ทำลายป่าจึงลดลง เหลือเฉลี่ยร้อยละ 0.5 ต่อปี

ประมาณร้อยละ 10 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศในปัจจุบันจากกิจกรรมของมนุษย์นั้นมาจากการทำลายป่าเขตร้อน โครงการของสหประชาชาติว่าด้วยการลดการปล่อยก๊าซจากการทำลายป่าและการเสื่อมโทรมของป่า (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation: REDD+) ถือเป็นก้าวหนึ่งสู่การจัดตั้งระบบระดับโลกเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการทำลายป่าในประเทศกำลังพัฒนา ในขณะเดียวกันก็มีโครงการระหว่างประเทศในลักษณะทวิภาคีเพื่ออนุรักษ์ป่าเขตร้อนก็กำลังได้รับการจัดตั้งขึ้น เช่น ข้อตกลงระหว่างบราซิลและนอร์เวย์ และระหว่างออสเตรเลียและอินโดนีเซีย ประเทศกำลังพัฒนาบางประเทศ เช่น จีน อินเดีย และคอสตาริกา ก็มีโครงการของตนเองในการเพิ่มพื้นที่ป่าของตน อย่างไรก็ตาม กล่าวโดยรวมแล้ว การปล่อยคาร์บอนอย่างรวดเร็วจากการทำลายป่าเขตร้อนยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่น่ากังวล

ภาพที่ 2.3.19 การบุกรุกแผ้วถางพื้นที่ป่าที่ได้รับการคุ้มครองใน สปป.ลาว



การหายไปของป่าเขตร้อน

ป่าฝนเขตร้อนเป็นหนึ่งในระบบนิเวศที่สำคัญที่สุดในโลก ระบบนิเวศของป่าเขตร้อนอุดมไปด้วยความหลากหลายของสายพันธุ์ เป็นแหล่งไม้ อาหาร และวัตถุดิบสำหรับยารักษาโรค นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการควบคุมสภาพภูมิอากาศของโลก การหายไปของป่าเขตร้อนนำไปสู่การสูญเสียดินชั้นบนที่อุดมสมบูรณ์ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และการรบกวนสมดุลทางระบบนิเวศในพื้นที่ขนาดใหญ่ของโลก

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความพยายามหลายรูปแบบ ป่าเขตร้อนก็ยังคงหายไปอย่างรวดเร็วในภูมิภาคอเมริกาใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และแอฟริกา โดยพื้นที่ป่าไม้ประมาณ 3.6 ล้านเฮกตาร์ในอเมริกาใต้ และ 3.4 ล้านเฮกตาร์ในแอฟริกาสูญหายไประหว่างปี พ.ศ. 2548-2553 ในขณะที่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พื้นที่ป่าลดลงถึง 32 ล้านเฮกตาร์ระหว่างปี พ.ศ. 2533-2553 ในปัจจุบันป่าฝนเขตร้อนปกคลุมพื้นผิวโลกเพียงร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับเมื่อร้อยปีก่อนซึ่งปกคลุมร้อยละ 12 ซึ่งแปลว่า มีพื้นที่ป่าไม้ที่กว้างใหญ่กว่าทั้งประเทศอังกฤษ (130,000 ตารางกิโลเมตร) ถูกตัดหรือเผาทุกปี

พัฒนาการที่น่ายินดีก็คือ การตัดไม้ทำลายป่ามีแนวโน้มลดลง และพื้นที่ป่ารวมเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ความริเริ่มของรัฐบาลและการระงับการใช้ทรัพยากรระหว่างประเทศประสบความสำเร็จในการลดการตัดไม้ทำลายป่าในแอมะซอนระหว่างปี พ.ศ. 2547-2558 ขณะเดียวกัน พื้นที่ป่าเริ่มฟื้นตัวในยุโรป ยูเรเซีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอเมริกาเหนือ อย่างไรก็ตาม การรักษาอัตราการตัดไม้ทำลายป่าให้อยู่ในระดับต่ำยังคงเป็นเรื่องท้าทาย โดยเฉพาะเมื่ออัตราการตัดไม้ในแอมะซอนและพื้นที่อื่น ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงสี่ปีที่ผ่านมา

สาเหตุหลักประการหนึ่งของการตัดไม้ทำลายป่าคือการแปลงพื้นที่ป่าเป็นที่ดินเพื่อการเกษตร เพื่อตอบสนองความต้องการอาหารของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น ป่าฝนเขตร้อนมักถูกแทนที่ด้วยสวนเกษตรเพื่อผลิตน้ำมันปาล์ม ถั่วเหลือง โกโก้ ยางพารา และกาแฟ รวมถึงใช้เป็นพื้นที่เลี้ยงปศุสัตว์ การทำเหมืองที่ไม่ได้รับการควบคุมยังเป็นภัยคุกคามอีกประการหนึ่งต่อป่าฝนเขตร้อนในอเมริกาใต้ ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียป่าเขตร้อน ทำลายพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุดในโลก ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์หลากหลายชนิด เช่น เสือจากัวร์ สลอธ อุรังอุตัง นกทูแคน และลีเมอร์ การทำลายป่าในระดับใหญ่เช่นนี้อาจส่งผลกระทบต่อทั้งโลกและไม่สามารถย้อนกลับได้ หากมีการตัดต้นไม้เพียงในพื้นที่ขนาดเล็ก ป่าอาจฟื้นตัวได้ภายในไม่กี่ปี แต่หากตัดต้นไม้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ป่าอาจไม่กลับมาอีกเลย เนื่องจากฝนตกหนักจะชะล้างสารอาหารที่จำเป็นออกจากดิน และแสงแดดจะเผาผิวหน้าดินจนเหลือเพียงวัชพืชเท่านั้นที่สามารถเติบโตได้



จะทำอย่างไรเพื่อรักษาป่าไม้ไว้ได้บ้าง ประการแรก ประเทศกำลังพัฒนาที่มีพื้นที่ป่าดิบชื้นขนาดใหญ่ (โดยเฉพาะเปรู เอกวาดอร์ และอินโดนีเซีย) รวมทั้งบราซิล จะต้องได้รับการสนับสนุนให้ดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการตัดไม้ทำลายป่า มิฉะนั้น การทำลายต้นไม้จะยังคงดำเนินต่อไปเพื่อการทำเหมืองและการผลิตอาหาร

แรงจูงใจและข้อกำหนดทางเศรษฐกิจสามารถมีบทบาทช่วยลดการตัดไม้ทำลายป่าและป้องกันการสูญเสียพื้นที่ป่า บราซิลเคยประสบความสำเร็จอย่างมากในการลดการตัดไม้ทำลายป่าในแอมะซอนในช่วงปลายคริสต์ทศวรรษที่ 2000 และต้นคริสต์ทศวรรษที่ 2010 ความสำเร็จนี้ส่วนหนึ่งมาจากการออกกฎหมายสิ่งแวดล้อม ฉบับรหัสป่าไม้ใหม่ การปรับปรุงระบบตรวจสอบการตัดไม้ผิดกฎหมายแบบใช้ไฟเผา และการชะลอการขยายพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองในพื้นที่แอมะซอน อย่างไรก็ตาม หลังจากนั้น อัตราการตัดไม้ในป่าฝนเขตร้อนที่ใหญ่ที่สุดในโลกก็กลับมาสูงขึ้นอีกครั้งเนื่องจากขาดการบังคับใช้กฎหมายอย่างเข้มงวด ในทำนองเดียวกัน ความสำเร็จล่าสุดของอินโดนีเซียในการชะลอการตัดไม้ทำลายป่าผ่านการระงับการขยายสวนปาล์มน้ำมันก็ยังคงเปราะบางด้วยเหตุผลเดียวกัน กล่าวคือ แรงจูงใจทางเศรษฐกิจในการแผ้วถางป่ายังคงไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีจัดการสมดุลคาร์บอนของป่าและการช่วยให้ป่าไม้ปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สมดุลคาร์บอนของป่าขึ้นอยู่กับเหตุหลายปัจจัย โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดได้แก่กิจกรรมของมนุษย์ ภัยพิบัติต่าง ๆ (เช่น ไฟป่า การระบาดของศัตรูพืช ฯลฯ) ละการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม สมดุลคาร์บอนของป่าไม้สามารถจัดการได้ หากลดการตัดไม้เพื่อการใช้สอยและวัตถุประสงค์อื่น ๆ ป่าไม้ก็จะสามารถดูดซับคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศได้มากขึ้น

โครงการหนึ่งทางตะวันออกไกลของรัสเซียมีเป้าหมายเพื่อยุติการตัดไม้ขนาดใหญ่ในป่าซีดาร์และป่าผลัดใบในลุ่มแม่น้ำบิกิน โดยอนุญาตให้เฉพาะผู้อยู่อาศัยในท้องถิ่นเท่านั้นที่จะตัดไม้ได้ (ภาพที่ 2.3.20) โครงการนี้สนับสนุนให้ผู้อยู่อาศัยพัฒนารูปแบบการจัดการป่าแบบดั้งเดิม ซึ่งรวมถึงการเก็บถั่วสน เบอร์รี่ เห็ด เฟิร์น และสมุนไพร

โครงการในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) มีเป้าหมายที่จะยุติการตัดไม้ทำลายป่าและปรับปรุงการจัดการป่าไม้ในประเทศ โดยเน้นที่พื้นที่เขตเทือกเขาอันนัมตอนกลางในจังหวัดสาละวันและเซกองและบางส่วนของเวียดนาม พื้นที่ดังกล่าวเป็นป่าที่ยังคงความสมบูรณ์มากที่สุดแห่งหนึ่งของเอเชีย ซึ่งมีความหลากหลายทางชีวภาพเฉพาะถิ่นสูง โดยมีเขตคุ้มครองแห่งชาติเซสาปเป็นจุดเน้นหลักของโครงการในลาว โครงการนี้ยังส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อให้ชุมชนที่พึ่งพาป่าได้รับประโยชน์อย่างยั่งยืนอีกด้วย

นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องลดความเสียหายที่เกิดจากไฟป่า ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากมนุษย์ เช่น การไม่ดับไฟปิกนิกให้สนิท การทิ้งก้นบุหรี่ลงบนเศษใบไม้แห้งหรือไลเคน และการจุดไฟเผาหญ้าแห้ง (ภาพที่ 2.3.21) ซึ่งเป็นการกระทำที่กำหนดให้เป็น ‘การประมาทเลินเล่อกับไฟ’ ทุกคนต่างเคยได้รับคำเตือนให้ปกป้องป่าไม้จากไฟป่า แต่คำเตือนนี้กลับยิ่งทวีความสำคัญในยุคที่สภาพภูมิอากาศกำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง หากสามารถสอนเพื่อนไม่ให้จุดไฟเผาหญ้าหรือปุยหญ้าแห้งในฤดูร้อน และให้ดับกองไฟหลังจากที่ออกไปพักผ่อนกับครอบครัวในป่าอย่างระมัดระวัง ถือได้ว่าก็ได้มีส่วนร่วมในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแล้วเช่นกัน

ภาพที่ 2.3.20

การฟื้นฟูป่าไม้ในสปป.ลาว



ภาพที่ 2.3.21

การเผาหญ้าแห้งที่เกิดจากฝีมือมนุษย์



โดยทั่วไป นักวิทยาศาสตร์แบ่งการปรับตัวออกเป็นสองประเภท คือ การปรับตัวสำหรับป่าธรรมชาติและป่าที่ได้รับการจัดการ การปรับตัวสำหรับป่าธรรมชาติรวมถึงมาตรการด้านการอนุรักษ์ การคุ้มครอง และการฟื้นฟูระบบนิเวศ ส่วนการปรับตัวในป่าที่ได้รับจัดการนั้น รวมถึงการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน การเพิ่มความหลากหลายและปรับเปลี่ยนชนิดของต้นไม้เพื่อสร้างความยืดหยุ่น และการจัดการความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นจากศัตรูพืชและโรคและไฟป่า การจัดการป่าไม้เป็นกลยุทธ์ที่ได้รับความนิยมในการรับมือกับภัยแล้ง ลดความเสี่ยงจากไฟป่า และรักษาภูมิทัศน์ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ รวมถึงการจ้างงานในชนบท การฟื้นฟูป่าธรรมชาติและพื้นที่พรุที่เคยถูกระบายน้ำ รวมถึงการเพิ่มความยั่งยืนในการจัดการป่าไม้ จะช่วยเสริมความสามารถในการรับมือของแหล่งกักเก็บและดูดซับคาร์บอนให้แข็งแกร่งยิ่งขึ้น

รายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC ระบุว่า กลยุทธ์การปรับตัวสำหรับป่าเขตร้อนควรรวมถึงการเพิ่มความหลากหลายของชนิดไม้ โดยเฉพาะการปลูกไม้ท้องถิ่น การลดปัจจัยรบกวนที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ เช่น การเก็บเกี่ยวมากเกินไปและมลพิษ การเพิ่มพื้นที่ป่า การรักษารูปแบบการใช้ที่ดินนอกเขตป่าให้อิงต่อความหลากหลายทางชีวภาพ และการดำเนินการตามแนวทางการปรับตัวโดยอิงชุมชน การปรับตัวโดยอิงระบบนิเวศ รวมถึงเกษตรป่าไม้ กลยุทธ์เหล่านี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศ การกักเก็บคาร์บอน ความหลากหลายทางชีวภาพ และคุณภาพของแหล่งน้ำ

อย่างไรก็ตาม คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้เน้นย้ำว่า การสร้างความสามารถในการปรับตัวของป่าไม้จำเป็นต้องดำเนินควบคู่ไปกับการลดปัจจัยกระตุ้นที่ก่อให้เกิดการตัดไม้ทำลายป่าและการเสื่อมโทรมของป่า ซึ่งสามารถทำได้ผ่านการยกเลิกเงินอุดหนุนที่ก่อให้เกิดผลเสีย การบังคับใช้กฎหมาย การพัฒนาศักยภาพ การยอมรับสิทธิในที่ดินและกรรมสิทธิ์ และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างทั่วถึง ในบริบทของป่าเขตร้อน กลยุทธ์ควรได้รับการพัฒนาและนำไปปฏิบัติเพื่อจัดการกับภาคเกษตรกรรมเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งมักก่อให้เกิดปัญหาในวงกว้างจากการใช้ที่ดินอย่างไม่ยั่งยืน และการละเลยการคุ้มครองความหลากหลายทางชีวภาพจากแผนและกระบวนการดำเนินงานของตน

ความสามารถในการปรับตัวของป่าไม้ยังเชื่อมโยงกับวิถีการเกษตรของชุมชนที่อาศัยอยู่รอบพื้นที่ป่า การค้นหาวิธีใหม่ ๆ เพื่อส่งเสริมแนวปฏิบัติที่ยั่งยืน เช่น การนำเศษวัสดุทางการเกษตรมารีไซเคิลให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้ จะช่วยลดปัญหาการเผาเศษวัสดุ ซึ่งอาจลุกลามเข้าสู่ป่าโดยไม่ตั้งใจ นอกจากนี้ แนวทางนี้ยังมีประโยชน์ร่วมในการลดมลพิษทางอากาศอีกด้วย

คำถาม

1. ป่าบอเรียล หรือป่าไทกา คือป่าประเภทใด
2. มีพันธุ์ไม้ชนิดใดบ้างที่พบได้ในป่าเขตร้อน
3. แนวเขตระหว่างป่ากับทุนดราเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา และเพราะเหตุใด
4. หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 4 องศาเซลเซียส ก่อนสิ้นคริสต์ศตวรรษนี้ จะส่งผลกระทบต่อป่าไม้อย่างไร
5. กิจกรรมของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อป่าไม้อย่างไร
6. แหล่งคาร์บอนหลักในระบบนิเวศป่าไม้มีอะไรบ้าง
7. พืชสามารถหายใจได้ไหม
8. สิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่ย่อยสลายเศษซากพืชที่ตายแล้ว
9. ป่าไม้ที่แก่และโตเต็มที่สามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินออกจากบรรยากาศได้หรือไม่
10. เพราะเหตุใดป่าเขตร้อนจึงสูญเสียแหล่งเก็บคาร์บอน
11. มาตรการที่กล่าวถึงในบทนี้และบทอื่น ๆ มีข้อใดบ้างที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อป่าไม้ในภูมิภาคเอเชีย





กิจกรรม

1

การทดลอง

วัตถุประสงค์: เพื่อค้นหาว่าต้นไม้และพุ่มไม้ชนิดใดไวต่อความร้อนมากที่สุด

วัสดุอุปกรณ์: กิ่งไม้ (ก่อนที่ใบจะขึ้น) แจกันใส่น้ำ

วิธีทดลอง: ให้ตัดกิ่งจากต้นไม้และไม้พุ่มหลายชนิดที่เริ่มมีตา แต่ยังไม่มีใบ จากนั้นนำไปวางไว้ในแจกันที่มีน้ำ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ จดบันทึกการเจริญเติบโตของตาไม้ (buds) เช่น ตาไม้เริ่มโตเมื่อใด เริ่มแตกเมื่อใด และใบไม้เริ่มเจริญเติบโตอย่างไร รวมทั้งให้วัดพัฒนาการของตาไม้บนต้นไม้จริง ๆ ที่อยู่นอกบ้านด้วย หลังจากที่ใบปรากฏแล้ว ให้สร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบการเติบโตของตาไม้และใบไม้ ทั้งในร่ม (ในแจกัน) และกลางแจ้ง จากนั้นหาว่าต้นไม้หรือพุ่มไม้ชนิดใด 3 ชนิดที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิที่อุ่นขึ้นได้รวดเร็วที่สุด (ชนิดใดที่ตอบสนองต่อความอบอุ่นได้เร็วกว่า)

2

การทดลอง

วัตถุประสงค์: เพื่อหาว่าสายพันธุ์ไม้ชนิดใดมีปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้มากที่สุด

วิธีทดลอง: วัดขนาดไม้แต่ละชิ้นเพื่อคำนวณปริมาตร (ความยาว × ความกว้าง × ความสูง) แล้วชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้น จากนั้นหารน้ำหนักด้วยปริมาตร เพื่อหาค่าน้ำหนักเป็นกรัมของไม้ที่มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำผลลัพธ์ที่ได้มาหารด้วย 2 เพื่อประมาณค่าน้ำหนักของคาร์บอนในไม้แต่ละชิ้น อภิปรายผลลัพธ์และพิจารณาว่าสายพันธุ์ไม้ชนิดใดมีคาร์บอนสะสมมากที่สุด จากนั้นคุณสามารถตัดสินได้ว่าสายพันธุ์ใดเหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกเพื่อลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เรือนกระจก

3

การทดลอง

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชปล่อยออกมาในที่ที่มีแสงและที่มืด

วัสดุอุปกรณ์: ภาชนะแก้วใสขนาดใหญ่สองใบที่มีฝาปิดสนิทและมีน้ำอยู่ข้างใน (ประมาณหนึ่งในสามของปริมาตรภาชนะแต่ละใบ) กิ่งพันธุ์พืชที่มีใบใหญ่ และไม้ขีดไฟ

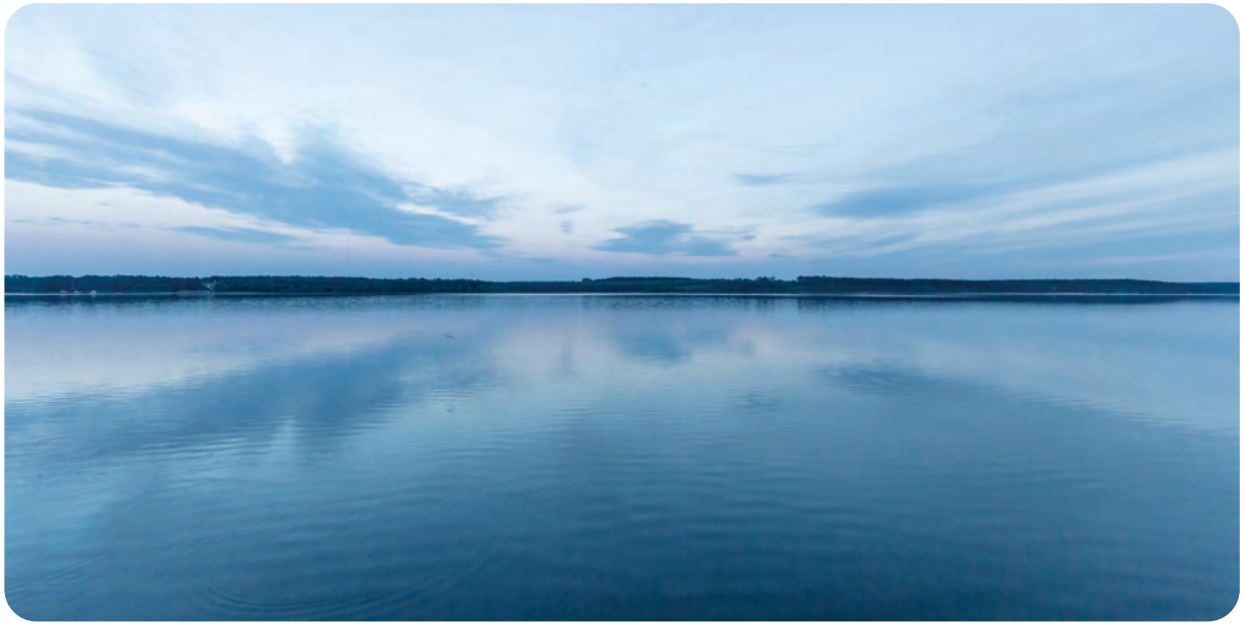
วิธีทดลอง: วางกิ่งพันธุ์พืชในภาชนะแต่ละใบแล้วปิดผนึก วางภาชนะใบหนึ่งไว้ในที่อบอุ่นและมีแสงสว่าง แล้วคลุมภาชนะอีกใบด้วยผ้าที่กันแสงไว้ หลังจากผ่านไปหนึ่งถึงสองวัน ให้ใช้ไม้ขีดไฟเพื่อดูว่าเปลวไฟในภาชนะใบใดสว่างกว่ากัน ทำขั้นตอนนี้ทันทีหลังจากถอดฝาครอบออก จนกว่าก๊าซในภาชนะจะกระจายตัว สังเกตเปลวไฟที่สว่างจ้าบนไม้ขีดไฟที่ใส่ไว้ในภาชนะ ‘ที่มีแสง’ ทันทีหลังจากถอดฝาครอบออก และสังเกตว่าเปลวไฟหรี่ลงเมื่อใส่ไม้ขีดไฟลงในภาชนะ ‘ที่มืด’ จากการทดลองนี้จะทำให้ทราบว่าพืชปล่อยออกซิเจนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์เมื่ออยู่ในที่มีแสง แต่จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าออกซิเจนเมื่ออยู่ในที่มืด



2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อทรัพยากรน้ำอย่างไร

น้ำในธรรมชาติ

น้ำมีสถานะพิเศษในหมู่สารประกอบเคมีจำนวนมากมายที่พบบนโลก น้ำไหลจากก๊อกน้ำ มนุษย์เปิดน้ำจากก๊อก ใช้น้ำต้มน้ำในกาต้มน้ำ และน้ำนั้นยังปรากฏอยู่ในแม่น้ำ ทะเลสาบ ทะเล และมหาสมุทร



น้ำดำรงอยู่ได้ในหลายสถานะ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำเปลี่ยนแปลงเป็นสถานะของแข็งและกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำที่ไหลออกมาจากก๊อกน้ำจะเป็นสถานะของเหลว ส่วนไอน้ำที่พวยพุ่งออกมาจากกาน้ำเดือดก็คือน้ำในสถานะก๊าซ ที่น่าสนใจก็คือ น้ำในก้อนเมฆบนท้องฟ้ามักอยู่ในทั้งสามสถานะพร้อมกัน และสิ่งนี้เองที่กำหนดลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันของเมฆแต่ละประเภท

ภาพที่ 2.4.1 เมฆเรืองแสงยามค่ำคืนในสวีเดน

เมฆเรืองแสงยามค่ำคืน เป็นรูปแบบการก่อตัวในชั้นบรรยากาศที่งดงามเป็นพิเศษ ปรากฏอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 76-85 กิโลเมตรเหนือพื้นโลก และเกิดขึ้นจากผลึกน้ำแข็งเพียงอย่างเดียวซึ่งเป็นตัวกำหนดรูปลักษณ์ที่น่าอัศจรรย์ เมฆเรืองแสงยามค่ำคืนสามารถเห็นได้ในตอนกลางคืนทางแถบละติจูดขั้วโลกเท่านั้น โดยเกิดการเรืองแสงจากแสงที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์ซึ่งได้ตกลับขอบฟ้าไปแล้ว



วิทยาศาสตร์ที่ศึกษาน้ำเรียกกันว่า อุทกวิทยา เชื่อกันว่าการศึกษาทางอุทกวิทยาแรกสุดมีขึ้นเมื่อราว 5,000 ปีก่อนโดยชาวอียิปต์โบราณบริเวณแม่น้ำไนล์ พวกเขาวัดระดับความสูงของน้ำท่วมตามฤดูกาลด้วยการขีดรอยไว้บนผนังอาคาร ก้อนหิน หรือบันไดลงสู่แม่น้ำ

ถ้าหากบนโลกไม่มีน้ำก็จะไม่มีสิ่งมีชีวิต เพราะสิ่งมีชีวิตหลายชนิดทั้งพืชและสัตว์มีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ตัวอย่างเช่น ร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยน้ำถึงร้อยละ 60 โดยเฉลี่ย แต่สัดส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับอายุ กล่าวคือ ร่างกายของทารกแรกเกิดมีน้ำอยู่ร้อยละ 86 ในขณะที่ร่างกายของผู้สูงอายุมีน้ำเพียงร้อยละ 50 การดื่มน้ำให้เพียงพอจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับมนุษย์ เพราะแม้จะสามารถมีชีวิตอยู่ได้โดยไม่รับประทานอาหารเป็นเวลาหลายวัน แต่มนุษย์จะมีชีวิตอยู่ได้เพียง 3 ถึง 10 วันเท่านั้นหากขาดน้ำ

น้ำบนโลกมีหลายรูปแบบซึ่งมีการเคลื่อนไหวและปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลาภายใต้วัฏจักรของน้ำ วัฏจักรของน้ำ (ภาพที่ 2.4.2) เป็นกระบวนการที่น้ำหมุนเวียนระหว่างมหาสมุทร ชั้นบรรยากาศ และแผ่นดินของโลก รวมถึงหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาเป็นฝนและหิมะ ไหลระบายไปตามลำธารและแม่น้ำ และกลับสู่ชั้นบรรยากาศด้วยการระเหยและการคายน้ำ วัฏจักรของน้ำได้รับผลกระทบจากทั้งปัจจัยทางภูมิอากาศและจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ

ภาพที่ 2.4.2 **กระบวนการหมุนเวียนของน้ำ พร้อมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปเกี่ยวข้องโดยตรง**



น้ำในทุกขั้นตอนของวัฏจักรน้ำที่มนุษย์ใช้อยู่ หรือสามารถนำมาใช้ได้นั้นเรียกว่า ‘ทรัพยากรน้ำ’ ทรัพยากรน้ำรวมถึงน้ำทั้งหมดในแม่น้ำ ทะเลสาบ คลอง อ่างเก็บน้ำ ทะเล และมหาสมุทร น้ำบาดาล ความชื้นในดิน น้ำแข็งในธารน้ำแข็งภูเขาและครอบน้ำแข็งขั้วโลก และแม้แต่ไอน้ำในชั้นบรรยากาศ



น้ำในปริมาณมากกว่าร้อยละ 97 ของน้ำบนโลกอยู่ในมหาสมุทรและทะเล น้ำในมหาสมุทรเป็นน้ำเค็มและไม่เหมาะสมสำหรับดื่มกิน ประมาณการน้ำทั้งหมดบนโลกมีน้อยกว่าร้อยละ 1 ที่เป็นน้ำจืดในแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำธาร และน้ำบนพื้นดินส่วนอื่น ๆ ฟังดูอาจจะไม่มาก แต่มีแหล่งน้ำจืดอีกแหล่งที่ถูกสงวนไว้ในปริมาณมาก นั่นก็คือธารน้ำแข็งและครอบน้ำแข็งในเขตแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์ ซึ่งนับได้เป็นร้อยละ 2 ของน้ำบนโลกทั้งหมด หรือเกือบแปดเท่าของปริมาณน้ำทั้งหมดในแม่น้ำและทะเลสาบรวมกัน

การอนุรักษ์แหล่งน้ำจืดของโลกถือเป็นหนึ่งในความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมที่ใหญ่หลวงอย่างหนึ่งกำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน กล่าวคือ หากไม่มีทรัพยากรเหล่านี้ มนุษย์ก็ไม่สามารถอยู่รอดได้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความต้องการอาหารและสุขาภิบาลที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากจำนวนประชากรของโลกที่กำลังเพิ่มขึ้นทำให้หลาย ๆ ประเทศประสบปัญหาขาดแคลนน้ำสะอาด นับตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ประชากรโลกได้เพิ่มขึ้นจาก 1.6 พันล้านคนเป็นมากกว่า 8 พันล้านคน การที่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว วิถีชีวิตที่เปลี่ยนไป และการขยายตัวทางการเกษตรล้วนทำให้การใช้น้ำในประเทศส่วนใหญ่เพิ่มขึ้น น้ำจืดประมาณร้อยละ 70 จากทั้งหมดถูกใช้เพื่อรดน้ำเรือกสวนไร่นาที่ใช้ในการเพาะปลูก ผู้เชี่ยวชาญจากสหประชาชาติประมาณการว่าภายในปี พ.ศ. 2593 จะจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรน้ำจืดเกือบร้อยละ 90 ของโลกในการผลิตอาหาร





ผู้เชี่ยวชาญจากสหประชาชาติยังชี้ให้เห็นด้วยว่าการกระจายน้ำดื่มทั่วทั้งทวีปต่าง ๆ มีความไม่เท่าเทียมกัน กล่าวคือ เอเชียเป็นบ้านของประชากรโลกกว่าร้อยละ 60 แต่มีทรัพยากรน้ำแค่หนึ่งในสามของโลกเท่านั้น อ้างอิงจากองค์การอนามัยโลก (WHO) ในปี พ.ศ. 2563 ประชากรราวหนึ่งในสี่ขาดน้ำดื่มที่ได้รับการจัดการอย่างปลอดภัยภายในบ้าน และประชากรโลกเกือบครึ่งหนึ่งขาดสุขาภิบาลที่ได้รับการจัดการอย่างปลอดภัย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในแอฟริกา

เป้าหมายที่ 6 ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติซึ่งนำมาใช้ในเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2553 นั้นเกี่ยวกับน้ำสะอาดและสุขาภิบาล โดยเป้าหมายหนึ่งมุ่งไปที่การบรรลุ ‘การเข้าถึงน้ำดื่มที่ปลอดภัยและมีราคาย่อมเยาอย่างทั่วถึงและเท่าเทียมสำหรับทุกคน’ ภายในปี พ.ศ. 2573

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อแหล่งทรัพยากรน้ำต่าง ๆ อย่างไร

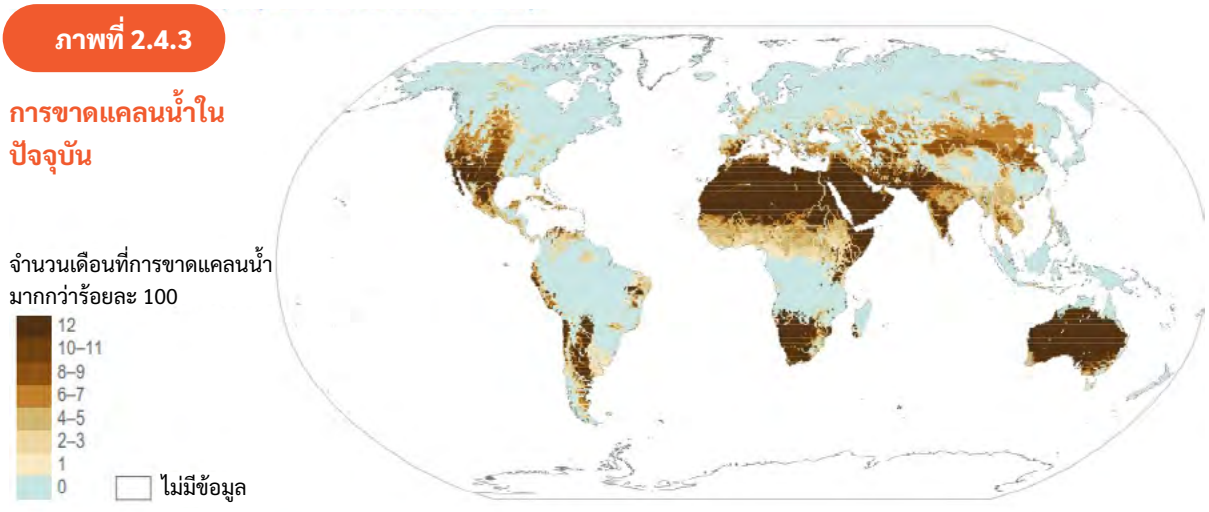
แหล่งน้ำทั้งหมดบนโลก (แม่น้ำ ทะเลสาบ หนองบึง หิมะ ธารน้ำแข็ง น้ำบาดาล) เกี่ยวพันกับสภาพภูมิอากาศอย่างใกล้ชิดและแน่นอนว่าถึงแม้แหล่งน้ำเหล่านี้จะล้วนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่แตกต่างกันของโลกธรรมชาติก็ตาม แต่ทั้งหมดนี้ก็ล้วนเป็นผลผลิตจากสภาพอากาศในระดับหนึ่ง

เป็นที่เข้าใจกันแล้วว่า การอบอุ่นขึ้นของสภาพภูมิอากาศในหลายพื้นที่ทั่วโลกอาจทำให้เกิดฝนตกหนักถี่ขึ้น นำไปสู่อุทกภัยที่ร้ายแรง ในบริเวณอื่น ๆ มีการคาดการณ์ว่าปริมาณน้ำฝนจะลดลง ภัยแล้งรุนแรงจึงจะเกิดบ่อยขึ้น โชคไม่ดีที่พื้นที่ที่เปียกชื้นมากอยู่แล้วจะยิ่งเปียกชื้นมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ที่แห้งแล้ง โดยเฉพาะตรงส่วนกลางของทวีปต่าง ๆ จะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ภัยแล้งมากขึ้นเรื่อย ๆ

นักวิทยาศาสตร์ตั้งข้อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรน้ำต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำในภูมิภาคแห้งแล้งต่าง ๆ ของโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเมดิเตอร์เรเนียน สหรัฐอเมริกาฝั่งตะวันตก แอฟริกาใต้ และบราซิลฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ พวกเขานิยามความเหลื่อมล้ำระหว่างความต้องการน้ำจืดกับความสามารถในการเข้าถึงแหล่งน้ำจืดว่า ‘การขาดแคลนน้ำ’ มีการประมาณการว่าประชากรโลกประมาณครึ่งหนึ่งหรือประมาณสี่พันล้านคนนั้นใช้ชีวิตอยู่ภายใต้สภาพการณ์ที่ขาดแคลนน้ำอย่างหนักเป็นเวลาอย่างน้อยหนึ่งเดือนต่อปี (ภาพที่ 2.4.3) ประชากรเหล่านี้เกือบครึ่งหนึ่งอาศัยอยู่ในอินเดียและจีน แม้ว่าภูมิภาคที่ขาดแคลนน้ำอย่างหนักจะแห้งแล้งโดยธรรมชาติอยู่แล้ว แต่ผลกระทบที่มนุษย์สร้างต่อสภาพภูมิอากาศกลับลดความสามารถในการเข้าถึงน้ำสะอาดในภูมิภาคเหล่านี้และอีกหลายภูมิภาคลงอีก เมื่อโลกอบอุ่นขึ้น 2 องศาเซลเซียส คาดการณ์ว่าประชากรกว่า 800 ล้านถึงสามพันล้านคนจะประสบกับการขาดแคลนน้ำอย่างต่อเนื่องอันเนื่องมาจากภัยแล้ง และเมื่อโลกอบอุ่นขึ้น 4 องศาเซลเซียส ตัวเลขดังกล่าวจะมากถึงประมาณสี่พันล้านคน เมื่อพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว โดยยึดตามจำนวนประชากรในปัจจุบัน

ภาพที่ 2.4.3

การขาดแคลนน้ำในปัจจุบัน

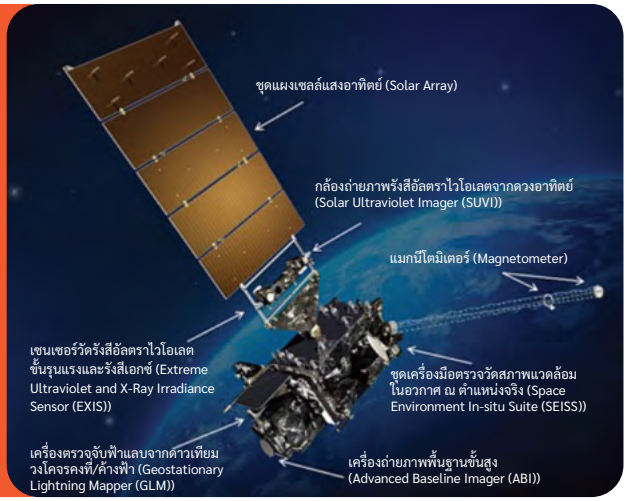


หมายเหตุ: การขาดแคลนน้ำหมายถึงความไม่สมดุลระหว่างความต้องการใช้น้ำจืดกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ ด้วยเหตุนี้ เมื่อกล่าวถึงภูมิภาคที่ประสบภาวะขาดแคลนน้ำ มักมีการระบุช่วงเวลาที่ความต้องการใช้น้ำมีค่าสูงกว่าร้อยละ 100 ของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อธารน้ำแข็งและหิมะที่ปกคลุมอยู่อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ดาวเทียมสภาพอากาศ (ภาพที่ 2.4.4) แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีหิมะปกคลุมในซีกโลกเหนือได้ลดลงอย่างเห็นได้ชัดตลอด 45 ปีที่ผ่านมา การลดลงของหิมะปกคลุมในบริเวณเทือกเขาสามารถเห็นได้ชัดที่สุดในอเมริกาฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือและในเทือกเขาสวิส ที่ระดับความสูงที่ต่ำ

ภาพที่ 2.4.4 **ดาวเทียมสภาพอากาศของบริการดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา**

ดาวเทียมสภาพอากาศ ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรรอบโลกเพื่อเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสามารถใช้พยากรณ์อากาศ และเฝ้าสังเกตสภาพภูมิอากาศได้ ดาวเทียมดวงอื่นสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ ดำเนินระบบนำร่องยานพาหนะ และทำหน้าที่อื่น ๆ ได้อีกมากมาย



การเปลี่ยนแปลงของปริมาณและวัฏจักรของหยาดน้ำฟ้า การละลายของธารน้ำแข็งบนภูเขา และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยรวมของโลกล้วนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ โดยปกติแล้วการไหลของแม่น้ำเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล แต่ปัจจุบันมีรูปแบบระยะยาวบางประการที่กำลังได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจนำไปสู่อุทกภัยครั้งใหญ่ที่ท่วมพื้นที่ชุมชนริมแม่น้ำ หรือในทางกลับกันก็ทำให้แม่น้ำแห้งขอดได้ ในปัจจุบัน แม่น้ำในเขตอบอุ่นจะเริ่มกลายเป็นน้ำแข็งช้ากว่าเดิม และน้ำแข็งละลายเร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ควรถูกนำมาพิจารณาในการวางแผนทางเศรษฐกิจ เนื่องจากแม่น้ำมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของหลายประเทศ แม่น้ำเป็นเส้นทางหลักสำหรับการขนส่งสินค้าและผู้โดยสาร เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากน้ำ และเป็นแหล่งเก็บน้ำจืดสำหรับใช้ในการอุปโภคบริโภคและการชลประทาน

ภาพที่ 2.4.5 **แม่น้ำแอมะซอนในทวีปอเมริกาใต้มีลุ่มน้ำระบายน้ำที่ใหญ่ที่สุดในโลก ครอบคลุมพื้นที่ถึงเจ็ดล้านตารางกิโลเมตร**





ลุ่มน้ำ
เป็นบริเวณแผ่นดินที่น้ำผิวดินและน้ำบาดาลทั้งหมดไหลลงสู่แหล่งน้ำเดียวกัน ซึ่งรวมถึงแม่น้ำสายย่อยต่าง ๆ ในบริเวณนั้นด้วย

ภาพที่ 2.4.6 แม่น้ำไนล์เป็นแม่น้ำสายที่ยาวที่สุดในโลก



ภาพที่ 2.4.7 ทะเลสาบไบคาลเป็นอ่างเก็บน้ำจืดที่ใหญ่ที่สุด



ระบบแม่น้ำโขง

การไหลของน้ำที่ลดลง ฤดูมรสุมที่ล่าช้า และการเพิ่มขึ้นของปริมาณที่กักเก็บไว้ในเขื่อนพลังน้ำไฟฟ้า การกักเก็บน้ำไว้หลังเขื่อนผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ได้ก่อให้เกิดปัญหาร้ายแรงต่อระบบแม่น้ำโขง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อชุมชนท้องถิ่น ความหลากหลายทางชีวภาพ สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจของภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงซึ่งกำลังเผชิญกับความเปราะบางมากขึ้นต่อการรุกล้ำของน้ำทะเล และระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในช่วงสามปีที่ผ่านมา การไหลของแม่น้ำลดลงถึงระดับต่ำที่สุดในรอบ 60 ปี ส่งผลกระทบต่อประมง การเกษตร และวิถีชีวิตของผู้คน

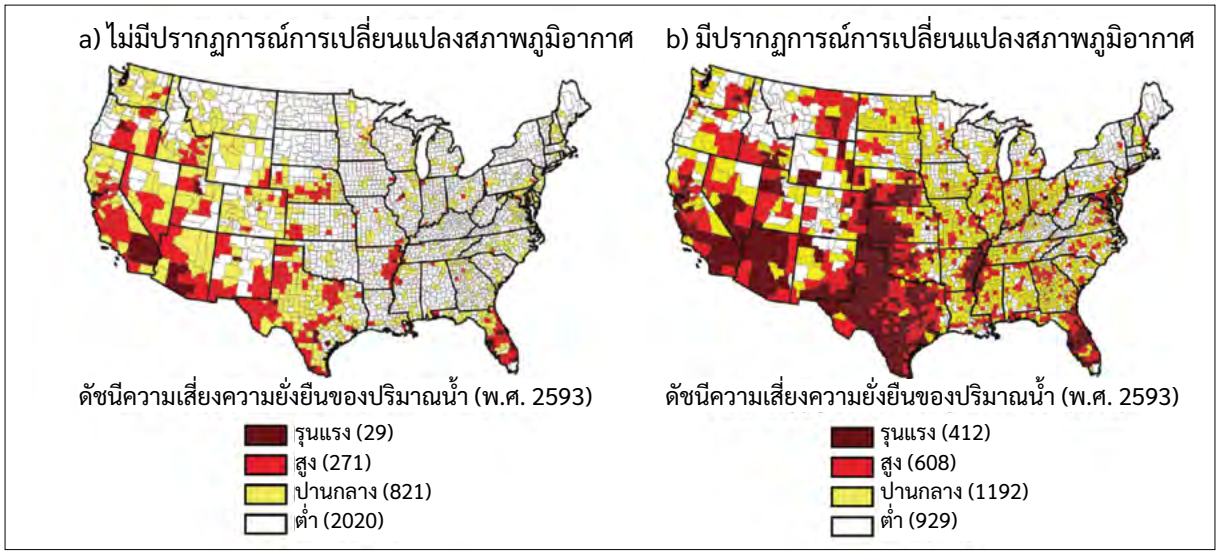


ผู้เชี่ยวชาญกล่าวว่าสาเหตุหลักก็คือโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับแม่น้ำ (เขื่อนต่าง ๆ) ที่ทำให้การไหลของน้ำลดลง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทำให้ฝนตกน้อยลงและอุณหภูมิสูงขึ้น รวมถึงปรากฏการณ์เอลนินโญ่ที่ส่งผลกระทบมากขึ้น

ความเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้บ้านเรือนกว่า 73,900 หลังคาเรือนตรงดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงสามารถเข้าถึงแหล่งน้ำจืดได้จำกัดอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนไปด้วยน้ำเค็ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการบริหารจัดการน้ำให้ดีขึ้นและการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ

ประเทศที่มีปริมาณน้ำจืดมากที่สุดในโลก ได้แก่ บราซิล (ซึ่งมีแม่น้ำแอมะซอนซึ่งเป็นแม่น้ำที่ใหญ่ที่สุดในโลกไหลผ่านอาณาเขต) รองลงมาคือรัสเซียและแคนาดา อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของน้ำจืดทั่วโลกนั้นไม่สม่ำเสมออย่างยิ่ง แม้แต่ในประเทศที่มีน้ำเพียงพออย่างบราซิลหรือรัสเซีย ก็มีพื้นที่ที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำอยู่แล้ว (ภาพที่ 2.4.9) ‘ความอยุติธรรม’ ทางธรรมชาตินี้นานวันก็จะยิ่งสังเกตเห็นได้มากขึ้นอีกอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กล่าวคือ ภูมิภาคต่าง ๆ ที่ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำอยู่แล้วจะยิ่งแห้งแล้งมากขึ้น (ภาพที่ 2.4.3 และ 2.4.8)

ภาพที่ 2.4.8 การคาดการณ์ปริมาณน้ำที่จะลดลงในแต่ละเขตของสหรัฐอเมริกา: (a) ในกรณีที่ไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และ (b) ในกรณีที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามที่ได้คาดการณ์ไว้



ภาพที่ 2.4.9 รัสเซียตอนใต้กำลังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ





ควรใช้มาตรการใดในการลดความเสี่ยงและเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัว

ก่อนหน้านี้ ผู้ที่รับผิดชอบด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำไม่เคยฉุกคิดเลยว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะบังคับให้พวกเขาทบทวนระบบการบริหารจัดการแหล่งน้ำทั้งหมด หากไม่มีมาตรการที่เหมาะสมออกมาทันเวลา ความเสียหายที่เกิดจากภัยแล้ง อุทกภัย หรือการลดลงของแหล่งน้ำจืดรุนแรงอย่างกะทันหันอาจจะมหาศาล นักวิทยาศาสตร์ยังตั้งข้อสังเกตว่าการปรับตัวตามความเสี่ยงและผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับน้ำถือเป็นสัดส่วนส่วนใหญ่ของการปรับตัวที่มีการบันทึกไว้ทั่วโลก และได้เสนอมาตรการในระดับต่าง ๆ ไว้

สิ่งแรกที่จำเป็นคือการพัฒนาระบบพยากรณ์อากาศให้แม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อช่วยคาดการณ์ล่วงหน้าเกี่ยวกับเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงที่อาจเกิดขึ้นได้

ประการที่สอง เทคโนโลยีและวิศวกรรมสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อผู้คนและโครงสร้างพื้นฐาน นับตั้งแต่การสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำตามแนวแม่น้ำเพื่อช่วยควบคุมการไหล ไปจนถึงการสร้างโครงสร้างตามแนวตลิ่งเพื่อปกป้องชุมชนจากอุทกภัยร้ายแรง

ประการที่สาม จำเป็นต้องปรับปรุงระบบการบริหารจัดการน้ำ และส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคน้ำเพื่อลดการใช้น้ำโดยรวม ยกตัวอย่างเช่น สามารถดำเนินการได้ผ่านการกักเก็บน้ำฝน หรือการนำน้ำมาใช้ซ้ำสำหรับความจำเป็นที่แตกต่างกัน การติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพื่อเปลี่ยนน้ำเค็มให้กลายเป็นน้ำจืดด้วยกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำก็เป็นแนวทางที่น่าจับตามองเช่นกัน (ภาพที่ 2.4.10) สิ่งสำคัญที่สุดคือ ต้องใช้น้ำอย่างรู้คุณค่าและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพที่ 2.4.10 โรงผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลในสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์



ประการที่สี่ แนวทางจากธรรมชาติสามารถนำมาใช้ในวงกว้างยิ่งขึ้นเพื่อรับมือกับภาวะขาดแคลนน้ำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แนวทางเหล่านี้อาศัยกระบวนการตามธรรมชาติเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของน้ำ รวมถึงลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ทั้งยังส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบธรรมชาติหรือกึ่งธรรมชาติ เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ และระบบนิเวศน้ำจืดที่สมบูรณ์ เพื่อจัดหาน้ำสะอาด ควบคุมน้ำท่วม เพิ่มคุณภาพน้ำ และป้องกันการชะล้างพังทลายของหน้าดิน เมืองต่าง ๆ อย่างนิวยอร์กและโคเปนเฮเกนได้บูรณาการแผนการลงทุนขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยแนวทางแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติเป็นพื้นฐานเข้าไว้ในการวางแผนสำหรับเมืองเพื่อรับมือกับเหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนกระหน่ำรุนแรงซึ่งส่งผลกระทบสูง นี่เป็นแนวโน้มที่กำลังเพิ่มมากขึ้น นั่นก็คือ เมืองหนึ่งในสามใช้แนวทางแก้ปัญหาที่อาศัยธรรมชาติเป็นพื้นฐานเพื่อแก้ปัญหาอุบัติภัยจากสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับน้ำ อ้างอิงจากฐานข้อมูลของโครงการเปิดเผยข้อมูลคาร์บอน (Carbon Disclosure Project: CDP)

การใช้ประโยชน์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นและดั้งเดิมในชุมชน ตัวอย่างการปรับตัวของชาวอินเดียนพื้นเมืองในลาตินอเมริกาต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ชนพื้นเมืองของอเมริกากลางและอเมริกาใต้เลี้ยงชีพด้วยพืชผลที่พวกเขาปลูกในบริเวณที่อยู่อาศัยของตนเป็นหลัก ในแถบที่ราบสูงซึ่งเป็นที่ตั้งของอารยธรรมอินเดียนแดงโบราณมากมาย การผลิตอาหารมีข้อจำกัดเนื่องจากการแจกจ่ายทรัพยากรน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ แม้ว่าในช่วงฤดูฝนจะไม่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ แต่คนโบราณเหล่านี้อยู่กันอย่างไรในช่วงฤดูแล้ง

แหล่งน้ำสายหลักในช่วงฤดูแล้งก็คือแม่น้ำที่ไหลมาจากธารน้ำแข็งภูเขา แต่ชุมชนสามารถเข้าถึงทรัพยากรน้ำนี้ได้ตามแนวหุบเขาแม่น้ำเท่านั้น ชนเผ่าอินเดียนแดงโบราณเหล่านี้ได้ประดิษฐ์เทคโนโลยีและสิ่งประดิษฐ์ที่หลากหลายเพื่อรับประกันว่าจะมีน้ำใช้ในหุบเขาเหล่านั้นตลอดทั้งปี

ชาวอินเดียนแดงเรียนรู้ที่จะกัก กรอง และเก็บน้ำฝน สร้างคลองชลประทานทั้งบนดินและใต้ดิน และประดิษฐ์เครื่องมือวัดปริมาณน้ำที่ได้กักเก็บไว้ และทำการเชื่อมต่อบริเวณลุ่มน้ำของมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรแอตแลนติกเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ ยังพัฒนาระบบพยากรณ์อากาศ ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ว่าฤดูฝนและฤดูแล้งมีแนวโน้มที่จะเริ่มต้นขึ้นเมื่อไร เพื่อที่จะได้จัดการเรื่องการหว่านและการเก็บเกี่ยวพืชผลได้ดีขึ้น

ชนพื้นเมืองอเมริกันใช้ทักษะด้านวิศวกรรมของตนเองเพื่อทำให้เส้นทางที่น้ำไหลผ่านกลายเป็นเส้นตรงและสร้างสะพาน ทั้งสะพานแขวนและสะพานที่มีเสาค้ำรองรับ มีระบบส่งน้ำผ่านท่อไว้ใช้ในชีวิตประจำวันและในพิธีกรรมทางศาสนา นักบวชในวัฒนธรรมซาวินปล่อยน้ำให้ไหลผ่านท่อภายในวิหาร เพื่อให้เหมือนเสียงคำรามของเสือจากัวร์ ซึ่งเป็นสัตว์ที่บูชาในฐานะพระเจ้า

นอกจากนี้ ยังมีการใช้น้ำในการตัดก้อนหินที่ใช้ในการก่อสร้าง ด้วยเทคนิคอันชาญฉลาด น้ำถูกปล่อยให้ไหลเข้าสู่ร่องหินที่เจาะไว้โดยเฉพาะ และปล่อยให้แข็งตัวในเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งกระบวนการนี้ค่อย ๆ ทำให้หินเกิดรอยร้าวและแยกออกเป็นรูปร่างที่ต้องการสำหรับการก่อสร้าง

ด้วยเหตุนี้ ชาวอินเดียนแดงในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ซึ่งเคยอาศัยอยู่บนอาณาเขตอันกว้างใหญ่ นับตั้งแต่เม็กซิโกสมัยใหม่ทางตอนเหนือไปจนถึงชิลีและอาร์เจนตินาทางตอนใต้ จึงเป็นนักบุกเบิกในการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลาย ซึ่งสามารถใช้ได้ ร่วมกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ล่าสุด ในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตรายและคาดการณ์ไม่ได้ในปัจจุบัน



ภาพที่ 2.4.11

ระบบเก็บกักน้ำในเขตนัซกา (ชายฝั่งตอนใต้ของเปรู) สำหรับท่อส่งน้ำใต้ดินและการกระจายน้ำใต้ดิน

คำถาม

1. วิทยาศาสตร์ที่ศึกษาน้ำมีชื่อเรียกว่าอย่างไร

2. ประเทศใดมีทรัพยากรน้ำจืดมากที่สุดในโลก

3. ภูมิภาคใดของโลกที่จะได้รับผลกระทบจากการขาดแคลนน้ำเป็นพิเศษและเพราะเหตุใด

4. บริเวณลุ่มน้ำที่บ้านเกิดของคุณตั้งอยู่มีชื่อว่าอะไรและลุ่มน้ำนี้ไหลลงสู่ทะเลใด

5. จงบอกมาตรการการปรับตัวที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อทรัพยากรน้ำมาอย่างน้อยสามข้อ





กิจกรรม

ระบุตำแหน่งของแม่น้ำแอมะซอนบนแผนที่ภูมิประเทศของโลก พร้อมทั้งวัดความยาวและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำดังกล่าว แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแม่น้ำสายสำคัญในประเทศของคุณ



2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเกษตรกรรมอย่างไร

อาจมีคนคิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นผลดีต่อการเกษตรในประเทศทางตอนเหนือ แต่ภูมิอากาศที่อุ่นขึ้นไม่ได้หมายความว่าจะดีกว่าเสมอไป หากอุณหภูมิสูงขึ้นในภูมิภาคที่เคยหนาวเกินกว่าจะปลูกข้าวสาลีได้ ก็ย่อมส่งผลให้ภูมิภาคที่เดิมมีภูมิอากาศเหมาะสมสำหรับการเกษตรอยู่แล้วร้อนขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงความชื้นที่ลดลงและผลผลิตที่ต่ำลง ดังนั้น การเพาะปลูกในพื้นที่ที่ทำเกษตรมาเป็นเวลาหลายศตวรรษ และมีการสั่งสมภูมิปัญญาด้านเกษตรกรรมเฉพาะถิ่น จะกลายเป็นเรื่องยากขึ้นมาก (หรืออาจถึงขั้นเป็นไปไม่ได้เลย)



ดังนั้น การทำการเกษตรจะดีขึ้นในบางพื้นที่และแย่ลงในบางพื้นที่ และในระยะนี้ยังเป็นเรื่องยากที่จะคาดการณ์ผลลัพธ์ของ “ความปั่นป่วนระดับโลก” นี้ต่อประเทศต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน

สิ่งสำคัญที่ต้องจำไว้คือ ภูมิอากาศไม่ใช่ปัจจัยทางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวที่ส่งผลต่อการเกษตร

ตัวอย่างเช่น ธัญพืชหลักอย่างหนึ่งในอเมริกาเหนือ ยุโรป และไซบีเรีย คือข้าวสาลีพันธุ์ฤดูหนาว การที่ภูมิอากาศอุ่นขึ้นหมายความว่า เขตที่มีสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเพาะปลูกข้าวสาลีพันธุ์นี้จะขยับขึ้นไปทางเหนือ แต่ดินในภูมิภาคใหม่เหล่านี้นั้นไม่ดีเท่าภูมิภาคที่มีการปลูกข้าวสาลีพันธุ์ฤดูหนาวอยู่ในปัจจุบัน การปรับปรุงคุณภาพดินในภูมิภาคที่อยู่เหนือขึ้นไปจะต้องลงทุนลงแรงมากและมีค่าใช้จ่ายสูง

ข้าวสาลีพันธุ์ฤดูหนาว ไม่ได้หว่านในฤดูใบไม้ผลิเหมือนกับข้าวสาลีพันธุ์อื่น ๆ แต่หว่านช่วงปลายฤดูร้อนถึงต้นฤดูใบไม้ร่วง เพื่อให้เมล็ดพันธุ์มีเวลาแตกหน่อและหยั่งรากก่อนที่หิมะฤดูหนาวจะมาถึง ข้าวสาลีพันธุ์นี้กลับมาเติบโตอีกครั้งในช่วงฤดูใบไม้ผลิอันอบอุ่นและสุกงอมเร็วกว่าพืชผลที่หว่านในฤดูใบไม้ผลิเท่านั้นประมาณหนึ่ง



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการผลิตผักและผลไม้ ผลไม้เมล็ดแข็ง โดยเฉพาะเชอร์รี่ ซึ่งต้องการช่วงเวลาหนาวเย็นเพื่อออกผล ถ้ามีคืนที่หนาวเย็นน้อยเกินไป ต้นไม้ก็มีแนวโน้มที่จะผสมเกสรได้สำเร็จน้อยลง และจะให้ผลผลิตที่ลดลงตามไปด้วย ในทางกลับกัน หากเกิดสภาพอากาศหนาวเย็นในช่วงเวลาที่ไม่ปกติ ก็อาจสร้างความเสียหายได้ไม่แพ้กัน ในปี พ.ศ. 2566 จอร์เจีย ‘รัฐแห่งลูกพีช’ ในสหรัฐอเมริกาสูญเสียผลิตผลลูกพีชประจำปีไปมากกว่าร้อยละ 90 หลังจากเกิดสภาพอากาศอบอุ่นอย่างผิดปกติในฤดูหนาว ตามด้วยอากาศที่หนาวจัดตอนปลายฤดูกาล

ประเทศที่มีภูมิอากาศแบบอบอุ่นถึงหนาวจัด เช่น แคนาดาและรัสเซีย กำลังเผชิญความท้าทายในรูปแบบของการแข่งขันที่เพิ่มขึ้นระหว่างการป่าไม้และการเกษตรกรรม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนพื้นที่ที่เป็นป่าอยู่ในปัจจุบันให้กลายเป็นพื้นที่เกษตร ซึ่งอาจทำให้ป่าล้มหายไปเร็วขึ้น แม้ในพื้นที่ที่มีสภาพไม่ค่อยเหมาะสมกับการทำการเกษตร (เช่น พื้นที่ตอนเหนือสุดของเขตเกษตรกรรม) ผลผลิตต่อหนึ่งเฮกตาร์จากพื้นที่เพาะปลูกยังคงมากกว่าผลผลิตจากพื้นที่ป่าขนาดเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบก่อนที่จะเปลี่ยนอาณาบริเวณใหม่ให้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม

ภาคเกษตรกรรมทั่วโลกจะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศแบบใหม่ ผู้เชี่ยวชาญจากองค์การ FAO เชื่อว่า ผลผลิตทางการเกษตรในหลายพื้นที่ของโลกจะลดลงภายหลังปี พ.ศ. 2573 อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีการคาดการณ์ว่าผลกระทบที่รุนแรงที่สุดจะเกิดขึ้นในเขตร้อน ซึ่งปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มว่าจะลดลงอย่างต่อเนื่อง

การเกิดภัยแล้ง น้ำท่วม และความผันผวนของปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นในภูมิภาคซับซาฮาราของแอฟริกาจะทำให้การเลี้ยงดูประชากรในท้องถิ่นกลายเป็นหนึ่งในความท้าทายหลักของคริสต์ทศวรรษที่จะมาถึง ผู้เชี่ยวชาญจากธนาคารโลกคำนวณว่าการลดลงของปริมาณน้ำฝนและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทั่วโลกเฉลี่ย 1.5-2 องศาเซลเซียสจะทำให้พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวซอร์กัมในซับซาฮาราของแอฟริกาเสียไปถึงร้อยละ 40-80 ภายในช่วงปีคริสต์ทศวรรษที่ 2030 ถึง 2040

ในเม็กซิโก ภัยแล้งกำลังลดขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวโพด ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศ





ธัญพืช เป็นพืชกลุ่มที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากให้ผลผลิตเป็นเมล็ดธัญพืชซึ่งเป็นอาหารหลักของมนุษย์ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และใช้เป็นอาหารสัตว์ในภาคเกษตรกรรม พืชในกลุ่มธัญพืชได้แก่ ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวไรย์ ข้าว ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวซอร์กัม ข้าวฟ่างบัควีท และพืชชนิดอื่น ๆ อีกมากมาย



ธัญพืชหลักในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คือข้าว ซึ่งส่วนใหญ่เพาะปลูกในพื้นที่สามเหลี่ยมปากแม่น้ำของแม่น้ำสายใหญ่ต่าง ๆ เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พื้นที่ต่ำตามลุ่มแม่น้ำเริ่มมีความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตร ส่วนหนึ่งของดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงในเวียดนาม ซึ่งเป็นหนึ่งในศูนย์กลางการปลูกข้าวของโลก ได้รับผลกระทบเป็นพิเศษจากการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลแม้เพียง 30 เซนติเมตร ก็สามารถลดผลผลิตข้าวลงได้ถึงร้อยละ 11



โดยสรุป ภาคเกษตรกรรมกำลังเผชิญกับภัยคุกคามจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ รูปแบบปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงไป การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล (ซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่ต่ำตามชายฝั่ง) และภัยแล้งและน้ำท่วมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อภัยธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรมอย่างมาก และปัญหาความมั่นคงทางอาหารก็ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

แนวคิดเรื่องความมั่นคงทางอาหาร หมายความว่า ทุกคนควรสามารถเข้าถึงอาหารที่ปลอดภัย มีคุณค่าทางโภชนาการ เป็นอาหารที่คุ้นเคยและมีรสชาติถูกปากได้เสมอ เพื่อส่งเสริมการดำเนินชีวิตที่เต็มไปด้วยพลังและมีสุขภาพดี

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ ประมาณการว่า 2.3 พันล้านคน หรือร้อยละ 28 ของประชากรโลก ต้องเผชิญกับปัญหาความไม่มั่นคงทางอาหารในปี พ.ศ. 2564 ซึ่งสถานการณ์เลวร้ายลงจากผลกระทบของการระบาดของโรค ‘โควิด-19’ ประเทศอินเดีย ปากีสถาน และแหลมแอฟริกาตะวันออกได้รับผลกระทบเป็นพิเศษจากการสูญเสียเนื่องจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว ความร้อนจัดในอินเดียและปากีสถานทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง ซึ่งเมื่อรวมกับการห้ามการส่งออกข้าวสาลีและข้อจำกัดในการส่งออกข้าวของอินเดีย ทำให้เกิดภัยคุกคามต่อตลาดอาหารระดับนานาชาติและประเทศต่าง ๆ ที่ได้รับผลกระทบจากการขาดแคลนอาหารอยู่แล้ว ฝนมรสุมทำให้เกิดน้ำท่วมในปากีสถานอย่างไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน พร้อมกับการระบาดของโรคที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ซึ่งแพร่กระจายไปยังพื้นที่ที่เปราะบางและขาดแคลนอาหาร ในเอธิโอเปีย เคนยา และโซมาเลีย ประมาณ 22.5-23.4 ล้านคน ต้องเผชิญกับวิกฤตกาลอาหารหรือความไม่มั่นคงทางอาหารจากภัยแล้งและปัจจัยอื่น ๆ การตัดลดการช่วยเหลือด้านอาหารทำให้ร้อยละ 75 ของประชากรผู้ลี้ภัยได้รับผลกระทบ



การเกษตรเป็นแหล่งรายได้หลักของประชากรที่ทำงานทั่วโลกประมาณหนึ่งในสาม ในบางประเทศในเอเชียและแอฟริกา ประชากรมากกว่าครึ่งประกอบอาชีพเกษตรกรรม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ปริมาณการผลิตอาหารลดลง ซึ่งส่งผลให้รายได้จากภาคการเกษตรลดต่ำลงตามไปด้วย และหากความร้อนและภัยแล้งทำให้อาหารที่มีอยู่อย่างจำกัดถูกปรุงด้วยภาชนะที่ไม่สะอาด โดยผู้ที่มีสุขอนามัยไม่ดี และไม่สามารถเก็บรักษาอาหารได้อย่างเหมาะสม อาหารนั้นก็จะกลายเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์

ดังนั้น แม้แต่ประเทศทางตอนเหนือก็ไม่สามารถคาดหวังได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรกรรมโดยไม่มีข้อเสียใด ๆ และผู้ที่อาศัยอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบอบอุ่นหรือแบบที่เย็นกว่านั้นก็แทบคาดหวังไม่ได้ว่าจะสามารถปลูกส้มในสวนหลังบ้านของตนได้ในอนาคต กลยุทธ์การปรับตัวที่ชาญฉลาดทางสภาพภูมิอากาศที่จะรักษาการเกษตรกรรมและผู้คนที่ทำงานในภาคเกษตรกรรมไว้ได้กลายเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องให้ความสำคัญ

วิธีการปรับตัวที่ดีที่สุดในภาคเกษตรกรรมคืออะไร แนวทางการปรับตัวในภาคเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะเน้นการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชลประทาน ซึ่งรวมถึงการใช้น้ำหยด การขยายพื้นที่การชลประทาน การเก็บน้ำฝนและนำมาใช้ในการชลประทาน การปรับเวลาการชลประทาน และการเปลี่ยนจากการเกษตรแบบใช้น้ำฝนมาเป็นการเกษตรชลประทาน ตัวเลือกอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำ รวมถึงการฟื้นฟูที่กักเก็บน้ำของแม่น้ำและแผนการจัดการน้ำแบบบูรณาการ

ตัวเลือกเฉพาะทางเกษตรกรรม ได้แก่ การส่งเสริมการเกษตรกรรมและการวนเกษตรกรรมที่ยั่งยืน การปลูกพืชและเลี้ยงปศุสัตว์ที่หลากหลาย การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและระบบการปลูกพืชโดยการปลูกพืชที่ทนความร้อนและทนแล้ง และการเปลี่ยนแปลงในการปฏิบัติทางการเกษตร เช่น การปลูกต้นไม้ตามขอบแปลงเพื่อใช้กันลม การติดตั้งตาข่ายกันลูกเห็บ และการสร้างเรือนกระจกให้มากขึ้น

ในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) โครงการนำร่องได้แนะนำพันธุ์ข้าวที่ทนต่อน้ำท่วมและภัยแล้งในพื้นที่ประมาณ 110 เฮกตาร์ใน 4 อำเภอ พันธุ์ข้าวเหล่านี้ได้รับเลือกเพราะสามารถทนต่อสภาพอากาศสุดขั้ว ซึ่งกำลังเกิดขึ้นบ่อยขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้ถือว่าน่าประทับใจ โดยผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 ตันต่อเฮกตาร์ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ข้าวท้องถิ่นต่าง ๆ ที่เคยใช้ในพื้นที่ประมาณหนึ่งตัน นี่แสดงให้เห็นว่า การปลูกพืชที่ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศสามารถช่วยปรับปรุงความมั่นคงทางอาหารและช่วยเกษตรกรในการปรับตัวเข้ากับรูปแบบสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

นักวิทยาศาสตร์เตือนว่า เกษตรชลประทาน การปรับเปลี่ยนเวลาการปลูกพืช และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและระบบการปลูกพืชอาจจะใกล้ถึงขีดจำกัดในการปรับตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.5 องศาเซลเซียสและ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อแอฟริกา ที่การปรับตัวจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 1.5 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 2.5.1 ชายกลุ่มหนึ่งกำลังขับรถแทรกเตอร์ที่บรรทุกผลผลิตจากไร่นา



คำถาม

1. ข้าวสาลีพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิและข้าวสาลีพันธุ์ฤดูหนาวแตกต่างกันอย่างไร ชนิดใดดีกว่าสำหรับปลูกในภูมิภาคของคุณ และเพราะเหตุใด

2. ธัญพืชชนิดใดบ้างที่ปลูกในภูมิภาคของคุณ พืชเหล่านั้นถูกคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือไม่

3. ทำไมระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นภัยคุกคามต่อการผลิตข้าวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

4. ความมั่นคงทางอาหารคืออะไร จงยกตัวอย่างเพื่ออธิบาย

5. มีประชากรร้อยละเท่าใดของโลกที่ประกอบอาชีพด้านการเกษตร

6. มาตรการการปรับตัวที่แนะนำในบทนี้และบทอื่น ๆ เพื่อรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตรกรรมคืออะไร มาตรการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำอย่างไร





กิจกรรม

จัดทำรายชื่อพืชชนิดหลักที่ปลูกในภูมิภาคของคุณโดยให้ครูสอนวิชาภูมิศาสตร์ช่วย

หาข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตของพืชเหล่านี้ในพื้นที่ของคุณในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ผลผลิตกำลังเพิ่มขึ้นหรือกำลังลดลง ในช่วงเวลาดังกล่าวเคยเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ได้ไหม และเกิดจากสาเหตุใด

คิดถึงผลกระทบที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจมีต่อผลผลิตของพืชเหล่านี้และพืชอื่น ๆ ในภูมิภาคของคุณ สภาวะสภาพภูมิอากาศแบบใหม่อาจจะทำให้สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้หรือไม่



2.6 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคชายฝั่งอย่างไร



ประมาณร้อยละ 40 ของประชากรโลกอาศัยอยู่ภายในระยะ 100 กิโลเมตรจากชายฝั่ง เมืองขนาดใหญ่ของโลก ท่าเรือ และแหล่งท่องเที่ยวจำนวนมากตั้งอยู่ตามแนวชายฝั่งหรือในระยะใกล้เคียงชายฝั่ง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 70 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก

พื้นที่ชายฝั่งมีความเชื่อมโยงกับภูมิภาคที่อยู่ในพื้นทวีปอย่างใกล้ชิด ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ชายฝั่งส่งผลต่อเศรษฐกิจและสภาพความเป็นอยู่ของผู้คนอย่างรุนแรงแม้ในสถานที่ที่อยู่ไกลจากชายฝั่ง พื้นที่ชายฝั่งมีความเปราะบางต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมาก ภัยคุกคามหลักต่อพื้นที่เหล่านี้ได้แก่ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น พายุที่รุนแรงขึ้นซึ่งทำให้เกิดน้ำท่วมและการกัดเซาะชายฝั่ง รวมถึงสภาพอากาศสุดขั้วที่เกิดบ่อยขึ้นด้วย

ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก

ระดับน้ำทะเลของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 100 ปีแล้ว โดยสาเหตุหลักคือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2561 ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 15-25 เซนติเมตร หรือเฉลี่ย 1-2 มิลลิเมตรต่อปี แม้ตัวเลขนี้อาจดูไม่มากนัก แต่ก็เป็นอันตรายอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่มีพื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลไม่มาก หรืออยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระบุว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 นั้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของช่วง 2,000 ปีก่อนหน้า นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2444 ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 15-25 เซนติเมตร หรือ 1-2 มิลลิเมตรต่อปีในช่วงปี พ.ศ. 2444-2561 และเพิ่มขึ้นเป็น 4.62 มิลลิเมตรต่อปีในช่วงทศวรรษระหว่าง พ.ศ.2556-2565

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มนุษย์เป็นตัวการ โดยมีปัจจัยหลักดังนี้:

1. การขยายตัวของน้ำจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น น้ำจะขยายตัวและกินพื้นที่มากขึ้น

2. การละลายของธารน้ำแข็งในกรีนแลนด์และแอนตาร์กติกา ทำให้น้ำจากธารน้ำแข็งไหลลงสู่มหาสมุทรมากขึ้น

นักวิทยาศาสตร์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยนำปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมาประกอบการพยากรณ์ อย่างไรก็ตาม แน่นอนว่าแบบจำลองเหล่านี้อาจไม่สามารถทำนายได้อย่างเจาะจงว่าระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นกี่เซนติเมตรในอีก 30, 50 หรือ 100 ปีข้างหน้า แต่อาจสามารถประมาณการได้คร่าว ๆ ว่าระดับน้ำทะเลของโลกจะเพิ่มขึ้น 15-29 เซนติเมตรภายในปี พ.ศ. 2593 และเพิ่มขึ้น 28 เซนติเมตรถึง 1.01 เมตรภายในปี พ.ศ. 2643 เมื่อเทียบกับช่วงปี พ.ศ. 2538 ถึง 2557

ในช่วง 2,000 ปีข้างหน้า ระดับน้ำทะเลทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เมตร หากอุณหภูมิโลกถูกจำกัดไม่ให้สูงเกิน 1.5 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้น 2-6 เมตร หากจำกัดไว้ที่ 2 องศาเซลเซียส

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลภายในปลายคริสต์ศตวรรษนี้เป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อพื้นที่เขตชายฝั่ง ประชากรและโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ ไปจนถึงระบบนิเวศชายฝั่ง โดยเฉพาะเกาะปะการังขนาดเล็กและพื้นที่ชายฝั่งแปซิฟิกที่อยู่ในพื้นที่ราบต่ำในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ระดับน้ำทะเลอาจไม่ได้เพิ่มขึ้นเท่ากันทั่วโลก โดยคาดว่าพื้นที่เขตร้อนจะมีการเพิ่มขึ้นมากกว่า ในคริสต์ศตวรรษที่ 22 อาจมีระดับน้ำทะเลอาจสูงขึ้นถึง 1-3 เมตร และเพิ่มได้มากถึง 5-10 เมตรในคริสต์ศตวรรษต่อไป

การเติบโตของประชากรและการขยายตัวของเมืองในพื้นที่ต่ำบริเวณชายฝั่งจะเป็นปัจจัยหลักที่เพิ่มความเสี่ยงจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ภายในปี 2573 ประชากร 108 ถึง 116 ล้านคนในแอฟริกาจะได้รับผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น (เพิ่มจาก 54 ล้านคนในปี 2543) ภายในปี 2603 ตัวเลขผู้ได้รับผลกระทบอาจเพิ่มขึ้นเป็น 190-245 ล้านคน และภายในปี 2593 ประชากรกว่าหนึ่งพันล้านคนที่อาศัยอยู่ในเมืองและชุมชนชายฝั่งในพื้นที่ราบต่ำจะเผชิญกับความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติในบริเวณชายฝั่ง

เนเธอร์แลนด์เตรียมตัวรับมือกับผลกระทบทางภูมิอากาศ

เนเธอร์แลนด์เป็นประเทศอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบต่ำมาก โดยส่วนใหญ่ของแผ่นดินในประเทศเกิดจากการระบายน้ำออกจากพื้นที่ชายฝั่ง

ชาวดัตช์พัฒนาเทคโนโลยีในการวิดน้ำออกจากที่ราบซึ่งมีลักษณะเป็นดินโคลนมาตลอดหลายศตวรรษ วิศวกรชาวดัตช์ผู้มีวิสัยทัศน์เล็งเห็นมานานแล้วว่าระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นจะกลายเป็นภัยคุกคาม และจึงได้พัฒนาโครงสร้างการจัดการน้ำที่สามารถยับยั้งการท่วมของน้ำทะเลได้

ภาพที่ 2.6.1

กังหันลมทำหน้าที่สูบน้ำจากทะเลสาบ



ภาพที่ 2.6.2

เขื่อนอัฟสเลาท์ไดจ์ค (Afsluitdijk) ในเนเธอร์แลนด์ เป็นเขื่อนที่ใหญ่ที่สุดในยุโรป



ทะเลจะท่วมพื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดหรือไม่

ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ที่ราบชายฝั่งถูกน้ำท่วม ชายฝั่งจะถูกทะเลกัดเซาะ และแหล่งน้ำจืดบริเวณชายฝั่งจะได้รับความเสียหาย ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นภัยร้ายแรงต่อประเทศติดทะเลที่มีประชากรหนาแน่น เช่น บังกลาเทศ ไนจีเรีย และอินโดนีเซีย เมืองใหญ่หลายแห่งทั่วโลกที่เสี่ยงต่อระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น เช่น เซี่ยงไฮ้ กรุงเทพฯ มุมไบ จาการ์ตา บัวโนสไอเรส ริโอเดจาเนโร ไมอามี และนิวออร์ลีนส์

หากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น 1 เมตร อาจทำให้ร้อยละ 15 ของพื้นที่เกษตรกรรมในอียิปต์ และร้อยละ 14 ของพื้นที่เกษตรกรรมในบังกลาเทศถูกน้ำท่วม ส่งผลให้ประชากรหลายล้านคนต้องอพยพ น้ำเค็มจากทะเลอาจซึมเข้าไปในแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดสำคัญในหลายพื้นที่ทั่วโลก

ในจีน คาดการณ์ว่าหากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น 0.5 เมตร อาจทำให้ที่ราบที่มีความอุดมสมบูรณ์กว่า 40,000 ตารางกิโลเมตรถูกน้ำท่วม โดยที่ราบต่ำริมฝั่งและปากน้ำของแม่น้ำเหลืองและแม่น้ำแยงซีจะมีความเสี่ยงมากเป็นพิเศษ ความหนาแน่นประชากรโดยเฉลี่ยตามริมฝั่งแม่น้ำดังกล่าวอาจสูงได้ถึง 800 คนต่อตารางกิโลเมตร

พื้นดินในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาที่เป็นหมู่เกาะขนาดเล็ก (Small Island Developing States: SIDS) นั้นสูงจากระดับน้ำทะเลเพียงไม่กี่สิบเซนติเมตร ประเทศเหล่านี้จึงอาจถูกน้ำทะเลที่สูงขึ้นท่วมจนมิด และประชากรในประเทศอาจต้องอพยพลี้ภัยไปประเทศอื่น

ภาพที่ 2.6.3 **การพยากรณ์น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งในประเทศต่าง ๆ โดยอนุมานว่าระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้น 5 เมตร**



การเตือนภัยพายุ

ช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเกิดพายุบ่อยขึ้นทั้งในพื้นที่ชายฝั่งและในทะเล ลมพายุรุนแรงทั้งที่ชายฝั่งและในทะเล ก่อให้เกิด ‘คลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge)’ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้ระดับน้ำในแหล่งน้ำกึ่งเปิดสู่ทะเล (เช่น อ่าว หรือปากแม่น้ำ) สูงขึ้นอย่างฉับพลัน คลื่นพายุซัดฝั่งมักเกิดขึ้นในภูมิภาคชายฝั่ง โดยมักมาพร้อมกับฝนตกหนักและน้ำท่วม ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเดินเรือ การทำงานบนแท่นขุดเจาะน้ำมัน และการท่องเที่ยวบริเวณชายฝั่ง รวมถึงอาจทำให้ชายฝั่งถูกกัดเซาะด้วย

ภาพที่ 2.6.4 บริเวณชายฝั่งมีพายุเกิดขึ้นบ่อยกว่าที่เคย



โศกนาฏกรรมในฟิลิปปินส์

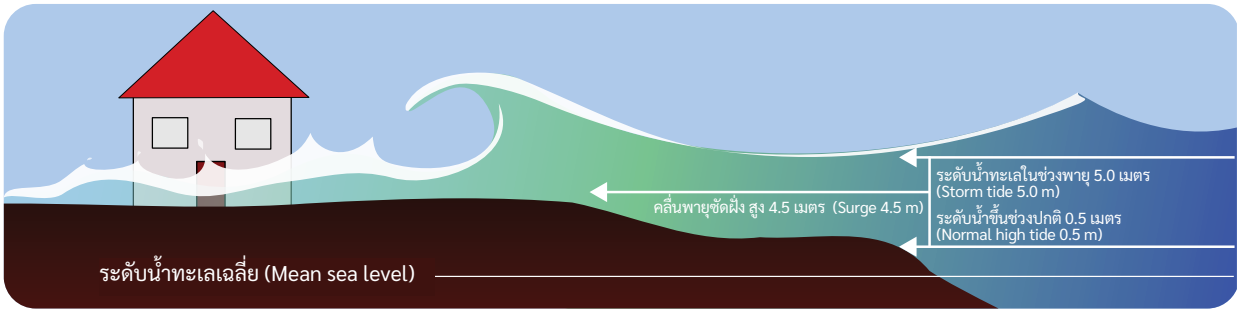
ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ฟิลิปปินส์ประสบภัยพิบัติครั้งใหญ่ที่มีขนาดใกล้เคียงกับโศกนาฏกรรมในญี่ปุ่นเมื่อสองปีก่อนหน้านั้น ตอนที่แผ่นดินไหวใต้ทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกก่อให้เกิดสึนามิขนาดยักษ์ซัดถล่มชายฝั่งญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์เป็นหมู่เกาะที่มีพื้นที่สูงเป็นหลัก และมักจะเป็นแนวหน้าในการรับแรงปะทะจากพายุไต้ฝุ่นที่เคลื่อนตัวมาจากมหาสมุทรแปซิฟิก ด้วยเหตุนี้ ฟิลิปปินส์จึงทำหน้าที่เปรียบเสมือนเกราะป้องกันภาคพื้นทวีปเอเชียซึ่งอยู่เยื้องไปด้านหลังเส้นทางพายุ ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นใน พ.ศ. 2556



แรกสุดนั้น ฟิลิปปินส์โดนพายุไต้ฝุ่นไห่เยี่ยน (Haiyan) (หรือที่ชาวฟิลิปปินส์เรียกว่า โยลันดา ‘Yolanda’) พัดถล่มคร่าชีวิตผู้คนไปกว่า 6,300 คน จากนั้น พายุลูกที่สอง ได้แก่พายุโซไรดา (Zoraida) ก็ตามมา ทางการระบุว่าประชากรเกือบเจ็ดล้านคนได้รับผลกระทบ (สภาพภูมิอากาศอันโหดร้ายทำลายบ้านเรือนกว่า 21,200 หลังคาเรือน และสร้างความเสียหายอีกกว่า 20,000 หลังคาเรือน)

ความเสียหายย่อยยับในประเทศเกิดจากคลื่นพายุซัดฝั่งสูงถึง 5 เมตร (เทียบเท่าตึกสองชั้น) และไม่มีเขื่อนหรือสิ่งก่อสร้างใด ๆ ที่สามารถปกป้องแนวชายฝั่งไว้ได้

ภาพที่ 2.6.5 ผลกระทบจากคลื่นพายุซัดฝั่ง



การกัดเซาะชายฝั่งและการทำลายชายฝั่ง

การกัดเซาะชายฝั่งและการทำลายชายฝั่งเป็นผลกระทบอีกอย่างหนึ่งที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (ภาพที่ 2.6.6-2.6.9) การกัดเซาะชายฝั่งเป็นปัญหาใหญ่พิเศษตามแนวชายฝั่งในทวีปอาร์กติก ซึ่งก่อนหน้านี้มีน้ำแข็งช่วยป้องกันอยู่ แต่ในปัจจุบัน พื้นที่ชายฝั่งในภูมิภาคนี้กำลังสูญหายไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำแข็งละลายมากขึ้นและเกิดพายุบ่อยขึ้น แนวชายฝั่งบางแห่งในทวีปอาร์กติกอาจถูกกัดเซาะจนถอยร่นไปได้มากถึง 10-25 เมตรต่อปีหรือมากกว่านั้น

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล เมื่อรวมกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศและน้ำ รวมถึงการที่มหาสมุทรมีความเป็นกรดมากขึ้น สามารถส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศชายฝั่งและในน้ำ การกัดเซาะชายหาดเนื่องจากระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเป็นตัวอย่างหนึ่งของผลที่อาจเกิดขึ้น โดยอาจลดพื้นที่ชายหาดที่สามารถรับนักท่องเที่ยวได้ และสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างต่าง ๆ (เช่น โรงแรมและร้านอาหาร) ที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง เหตุการณ์สภาพสุดขั้วที่ส่งผลกระทบต่อชายฝั่ง เช่น พายุฝนรุนแรง พายุไซโคลน และน้ำท่วมชายฝั่ง อาจทำให้ทัศนวิสัยลดลง ซึ่งส่งผลต่อการท่องเที่ยวชมทิวทัศน์และ การดำน้ำ นอกจากนี้ สภาพอากาศสุดขั้วยังทำให้ปัญหาเรื่องทัศนวิสัยใต้น้ำและเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพในทะเลแย่ลงไปอีก จากเดิมที่มีปัญหาเหล่านี้อยู่แล้วเนื่องจากมลพิษที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์บริเวณชายฝั่ง ชุมชนริมชายฝั่งอาจได้รับผลกระทบจากการที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ไม่เพียงในแง่แหล่งรายได้จากการท่องเที่ยวเท่านั้น หากแต่อาจส่งผลต่อที่อยู่อาศัยของชุมชนด้วย จากการคาดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน หากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น 1 เมตร ภายใน พ.ศ. 2643 ประชากรกว่า 180 ล้านคนจะได้รับผลกระทบ และมีความจำเป็นต้องอพยพถิ่นฐานถอยห่างจากทะเลมากขึ้น

การดำเนินการเพื่อเพิ่มการรับมือภัยพิบัติของชุมชนและระบบนิเวศชายฝั่งจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะผลกระทบบางอย่างเช่นการที่ปะการังเสียหายหรือแนวชายฝั่งถูกกัดเซาะ อาจเป็นสิ่งที่ไม่สามารถแก้ไขให้เหมือนเดิมได้อีก แนวทางการแก้ไขที่อิงจากธรรมชาติ เช่น การสร้างรั้วดักทราย (sand fence) และการปลูกป่าชายเลนเป็นแนวทางที่จำเป็นอย่างมากในการอนุรักษ์พื้นที่ชายฝั่งและระบบนิเวศทางทะเลที่อยู่ในสภาวะเปราะบาง นอกจากนี้ ต้องมีการบังคับใช้กฎหมายควบคุมมลพิษทางทะเล เพื่อป้องกันไม่ให้มหาสมุทรมีสภาพเป็นกรดมากขึ้นและลดความเสียหายของต่อแนวปะการัง

ภาพที่ 2.6.6 ชายฝั่งถูกทำลายที่เกาะนิวไซบีเรียนในอาร์กติก





แน่นอนว่าการที่ชายฝั่งโดนคลื่นและน้ำท่วมกัดเซาะนั้นไม่ใช่ปัญหาใหม่ หากดูแผนที่หมู่เกาะต่าง ๆ เมื่อ 100 ปีก่อน จะเห็นว่าเกาะหลายแห่งที่เคยมีอยู่ได้หายไปแล้ว (ภาพที่ 2.6.8) เพียงแต่ว่ากระบวนการนี้กำลังเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าในอดีต ประภาคารส่องไฟสัญญาณทางทะเลที่สร้างเว้นระยะจากขอบหน้าผากำลังพังลงสู่ทะเลเนื่องจากหน้าผาถูกกัดเซาะ (ภาพที่ 2.6.9) ชุมชนขนาดใหญ่กำลังจะจมทะเล ทำให้ประชากรต้องอพยพออกจากพื้นที่ และถนนหนทางก็จำเป็นต้องถูกเปลี่ยนเส้นทาง

ภาพที่ 2.6.7 ตัวอย่างชายฝั่งทะเลที่ถูกกัดเซาะ



ในรัฐอะแลสกา หมู่บ้านแห่งหนึ่งชื่อ คิวาลูน่า (Kivaluna) ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของประชากรราว 400 คน มีที่ตั้งอยู่บนผืนดินแคบ ๆ ริมชายฝั่งมหาสมุทรอาร์กติก ชาวบ้านในพื้นที่ต้องทิ้งหมู่บ้านดังกล่าว และย้ายออกไปยังพื้นที่ห่างจากชายฝั่ง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอพยพครั้งนั้นสูงกว่า 200 ล้านเหรียญสหรัฐ ทั้งที่หมู่บ้านแห่งนี้มีบ้านพักอาศัยเพียง 70 ครัวเรือนเท่านั้น



ภาพที่ 2.6.8

วงกลมสีแดงในแผนที่ทะเลลัปเตฟ (Laptev) และหมู่เกาะนิวไซบีเรียนปี พ.ศ. 2433 แสดงให้เห็นถึงหมู่เกาะที่หายไปเพราะพายุในทะเล



ภาพที่ 2.6.9

เครื่องหมายไฟนำร่องบริเวณชายฝั่งแวนกิน ในทะเลไซบีเรียตะวันออก ที่เกาะบอลชอย-ลียาคอฟสกี (Vankin coastal, East Siberian Sea, Bolshoi-Lyakhovsky Island) ซึ่งปัจจุบันได้สูญหายไปแล้ว

หาดทรายที่กำลังหายไปในโปรตุเกส

นักสิ่งแวดล้อมกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของการกัดเซาะชายฝั่งในโปรตุเกส ซึ่งอาจทำให้ประเทศในยุโรปแห่งนี้สูญเสียชายหาดไปหลายแห่ง

ในบางพื้นที่ตลอดแนวชายฝั่ง ทะเลกำลังกัดเซาะแผ่นดินหลายเมตรในแต่ละปี โดยสถานการณ์วิกฤตที่สุดอยู่ทางตอนเหนือของเอสปินโญ (Espinho) ซึ่งแนวชายฝั่งได้ถอยร่นไปถึง 70 เมตร ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา ความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถแก้ไขให้กลับเป็นเหมือนเดิมได้



ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศชายฝั่ง

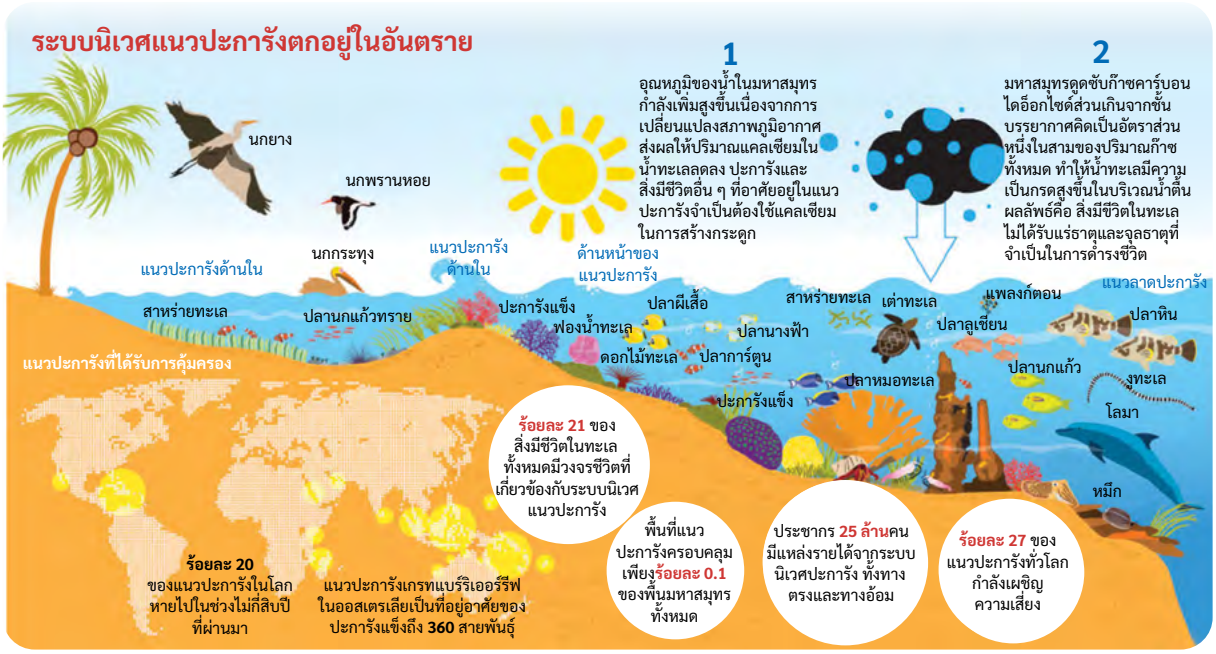
การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อผู้คนและเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อระบบนิเวศทั้งทางทะเลและทางบกที่อยู่ตามแนวชายฝั่งด้วย

ระบบนิเวศในพื้นที่ราบลุ่มชายฝั่งมีความเปราะบางเป็นพิเศษ เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้มักอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลเพียงไม่กี่เซนติเมตร ที่ราบลุ่มเหล่านี้เป็นถิ่นอาศัยของสัตว์และพืชหลายชนิด อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการสะสมสารอาหาร ตัวอย่างหนึ่งของระบบนิเวศเหล่านี้ได้แก่ที่ลุ่มน้ำเค็ม (salt marshes) ซึ่งจะถูกน้ำทะเลท่วมขังในช่วงน้ำขึ้น นอกจากนี้ ป่าชายเลน ซึ่งพบได้ทั่วไปในที่ราบลุ่มชายฝั่งที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น ก็กำลังเผชิญความเสี่ยงจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน



ภาวะโลกร้อนยังเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อแนวปะการัง เนื่องจากหากอุณหภูมิของน้ำทะเลสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว ซึ่งเป็นภาวะที่ปะการังสูญเสียสาหร่ายซิมไบโอติกที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อ ส่งผลให้ปะการังกลายเป็นสีขาวเนื่องจากความเครียด หากการฟอกขาวรุนแรงหรือยาวนาน ปะการังส่งผลให้ปะการังอาจตายลงในที่สุด การฟอกขาวของปะการังได้เริ่มเกิดขึ้นแล้วในหลายพื้นที่ทั่วโลก.

ภาพที่ 2.6.10 ระบบนิเวศแนวปะการังตกอยู่ในอันตราย

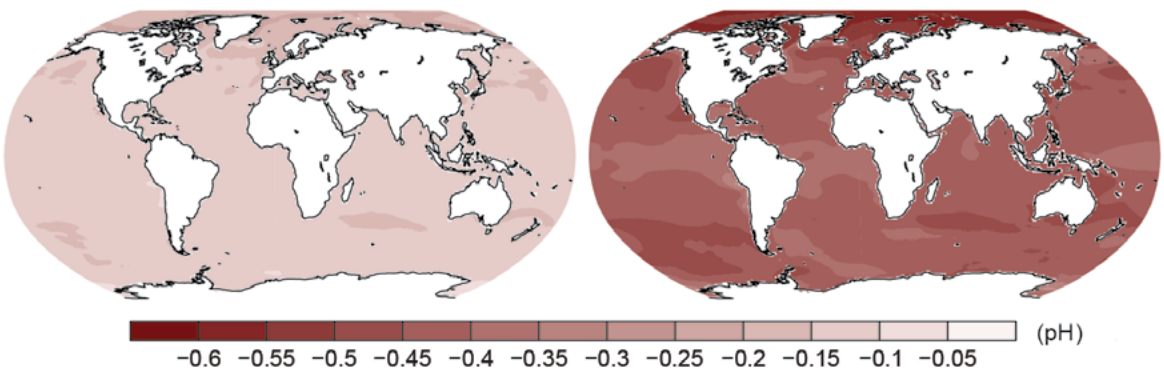


การที่อุณหภูมิของน้ำทะเลเพิ่มขึ้นในระยะยาวอาจทำให้ระบบนิเวศแนวปะการังทั้งหมดเสื่อมสภาพอย่างรุนแรง เกาะปะการัง (coral atolls) ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตจำนวนมาก อาจถูกทำลาย รายงานคาดการณ์โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระบุว่า แนวปะการังของโลกประมาณร้อยละ 18 จะสูญหายไปภายในสามทศวรรษข้างหน้าเนื่องจากปัจจัยหลายประการ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการประมง

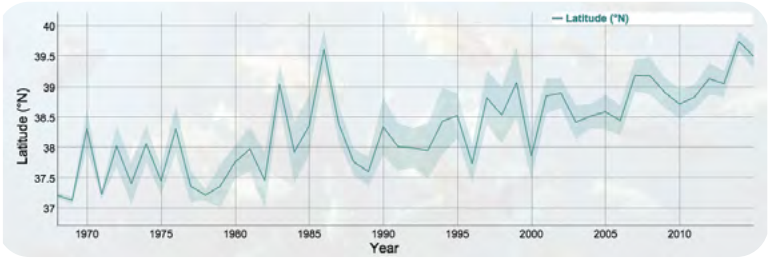
นักวิทยาศาสตร์และชาวประมงต่างมีกังวลเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเป็นกรดของน้ำทะเล เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้น มหาสมุทรก็จะดูดซับก๊าซเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ระดับความเป็นกรด (pH) สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่า pH และอุณหภูมิน้ำเพียงเล็กน้อยก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวได้ ในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษนี้ ความเป็นกรดอาจเพิ่มขึ้นถึง 0.06-0.34 pH ซึ่งเร็วกว่าค่าเฉลี่ยในช่วง 20 ล้านปีที่ผ่านมาถึง 100 เท่า สิ่งมีชีวิตในทะเลจำนวนมากจะเผชิญกับความยากลำบากในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ซึ่งจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อความหลากหลายของปลาและผลิตภัณฑ์ประมง

ภาพที่ 2.6.11 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของผิวน้ำมหาสมุทรภายในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21 ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เบาที่สุด (ซ้าย) และที่รุนแรงที่สุด (ขวา)



ภาพที่ 2.6.12 ปลากะพงดำกำลังเคลื่อนถิ่นไปทางเหนือเนื่องจากมหาสมุทรมีอุณหภูมิสูงขึ้น





องค์การบริหารมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศแห่งชาติ (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) ร่วมกับมหาวิทยาลัยรัตเกอร์ส ได้พัฒนาเครื่องมือบนเว็บไซต์ชื่อ **OCEANADAPT** เพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ย้ายถิ่นฐานของปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในทะเล ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมในมหาสมุทร เครื่องมือนี้จะช่วยให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความลึกและละติจูดที่สัตว์ทะเลเกือบ 650 ชนิดอาศัยอยู่ในช่วง 40-50 ปีที่ผ่านมา ถือเป็นแหล่งข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับผู้จัดการทรัพยากร ชาวประมง ชุมชนประมง และนักวิทยาศาสตร์ ในการพัฒนากลยุทธ์การปรับตัวอย่างทันท่วงที

คุณสมบัติของน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้เกิดการพลัดถิ่นครั้งใหญ่ของปลาทะเลและปลาน้ำจืดหลายชนิด ซึ่งทิศทางการพลัดถิ่นเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างไร้ระเบียบ หากแต่เป็นไปอย่างมีเป้าหมาย ปลาที่อาศัยในน้ำอุ่นกำลังอพยพเคลื่อนย้ายไปยังละติจูดที่สูงกว่า และมีอุณหภูมิเย็นกว่าที่อยู่เดิม ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้เกิดขึ้นเพราะอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นโดยตรง แต่เป็นเพราะไฟโตแพลงก์ตอน ซึ่งเป็นอาหารหลักของปลาทะเลมีจำนวนลดลงเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น

ปลาค็อดบริเวณชายฝั่งกรีนแลนด์และปลาซาร์ดีนในญี่ปุ่นและแถบทะเลเอเดรียติกจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่ภูมิอากาศอบอุ่นและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่อากาศหนาวเย็น

ในปัจจุบัน ปลาหลายสายพันธุ์ถูกจับในปริมาณที่ใกล้เคียงกับขีดจำกัดที่กำหนดไว้เพื่อรักษาประชากรปลา เมื่อเผชิญกับความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปลาบางสายพันธุ์อาจตกอยู่ในภาวะที่ไม่สามารถสืบพันธุ์ได้เพียงพอที่จะทำให้สายพันธุ์นั้น ๆ อยู่รอดได้

การสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัยชายฝั่ง เช่นแนวปะการังและป่าชายเลน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่คุกคามประชากรปลา

โครงการอาหารโลก (World Food Programme: WFP) ระบุว่าโปรตีนจากปลาคิดเป็นร้อยละ 15 ของปริมาณการบริโภคโปรตีนโดยเฉลี่ยของประชากรกว่า 2.9 พันล้านคน ในประเทศหมู่เกาะขนาดเล็กและประเทศกำลังพัฒนาบางประเทศ (เช่น บังกลาเทศ กัมพูชา อิเควทอเรียลกินี เฟรนช์เกียนา แกมเบีย กานา อินโดนีเซีย และเซียร์ราลีโอน) โปรตีนจากปลาคิดเป็นร้อยละ 50 ของการบริโภคโปรตีนจากสัตว์ทั้งหมด ประชากรในประเทศเหล่านี้พึ่งพาการประมงเป็นหลัก ดังนั้นการที่จับปลาในท้องถิ่นได้น้อยลงจึงถือเป็นปัญหาร้ายแรง

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็นหนึ่งในผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบภายในโลกที่ปรับตัวได้ยากที่สุด กลยุทธ์ที่ช่วยในเรื่องการปรับตัวได้แก่ การสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การปรับปรุงระบบเตือนภัยล่วงหน้า และการเสริมสร้างระบบป้องกันชายฝั่งและการจัดการพื้นที่ชายฝั่งแบบบูรณาการ





คำถาม

1. ประเทศใดจะได้รับผลกระทบมากกว่าหากระดับน้ำทะเลสูงขึ้นเกินครึ่งเมตร ระหว่างสวิตเซอร์แลนด์กับเนเธอร์แลนด์

2. เหตุใดแนวชายฝั่งทะเลจึงถูกกัดเซาะอย่างรวดเร็ว

3. เกิดอะไรขึ้นกับเกาะที่หายไป

4. จงยกตัวอย่างผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อระบบนิเวศชายฝั่ง

5. เหตุใดปลาบางสายพันธุ์จึงอพยพไปทางเหนือ

6. สามารถดำเนินการอะไรได้บ้างเพื่อปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตชายฝั่งทะเล





กิจกรรม

1 หาตูวาลูและสาธรณรัฐมัลดีฟในแผนที่โลก ดูว่าประเทศทั้งสองอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลแค่ไหน และอธิบายว่าเหตุใดการที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นอันตรายต่อประเทศทั้งสอง จากนั้นให้หาประเทศที่เป็นเกาะและประเทศที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลประเทศอื่น ๆ ซึ่งกำลังเผชิญความเสี่ยงที่จะถูกน้ำทะเลท่วมบางส่วนหรือทั้งหมดภายใน 50-100 ปีข้างหน้า แล้วเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้

2 แสดงบนแผนที่เส้นชั้นความสูง (Contour Map) เพื่อแสดงให้เห็นว่ารูปร่างของทวีปอเมริกาใต้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรหากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 100 เมตร ให้ใช้ดินสอสีระบายบริเวณที่ดินจะถูกน้ำทะเลท่วมจนจมหายไป ลองคิดว่าชื่อทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่เหล่านี้คืออะไร พิจารณาว่าสัตว์และพืชที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวจะได้รับผลกระทบอย่างไร จะสูญพันธุ์หรือไม่ เขียนข้อเสนอแนะและข้อสังเกตของคุณลงในสมุดกิจกรรม

3 ใช้เครื่องมือออนไลน์ OCEANADAPT (http://oceanadapt.rutgers.edu/) เพื่อศึกษาว่าปลาสายพันธุ์ต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาได้มีการเปลี่ยนแปลงถิ่นที่อยู่อย่างไรในช่วง 40-50 ปีที่ผ่านมา สายพันธุ์ใดที่ต้องเคลื่อนย้ายถิ่นมากที่สุด และเหตุใดจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้



2.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคภูเขาอย่างไร

ภูเขาคืออะไร

“มนุษย์คือสิ่งใดเล่า เมื่อเทียบกับศิลาและขุนเขา” เอลิซาเบธ เบนเน็ตต์ (Elizabeth Bennett) นางเอกในนวนิยาย ‘*สาวทรงเสน่ห์*’ (Pride and Prejudice) ของเจน ออสเตน (Jane Austen) ได้กล่าวถึงทริปท่องธรรมชาติช่วงฤดูร้อนที่กำลังจะมาถึงไว้อย่างตื่นเต้น และก็จริงที่ว่าภูเขาเป็นหนึ่งในสิ่งมหัศจรรย์ที่สุดที่ธรรมชาติสร้างขึ้น ความรู้สึกใดจะเทียบได้กับความตื่นตะลึงชวนลืมหายใจเมื่อคุณยืนอยู่บนยอดเขา มีเพียงท้องฟ้าสีครามอยู่เบื้องบน และโลกใบเล็กไกลลิบอยู่ใต้กลุ่มเมฆขาวเบื้องล่าง ในช่วงเวลาเช่นนั้น คุณจะรู้สึกถึงความงดงามและพลังของธรรมชาติ และในขณะเดียวกันก็สัมผัสได้ถึงความเปราะบางของโลกธรรมชาติไปพร้อมกันด้วย

นักวิทยาศาสตร์ให้คำนิยามภูเขาว่าเป็นลักษณะภูมิประเทศที่มีระดับสูงกว่าพื้นที่ราบโดยรอบ โดยทั่วไป หากไม่ใช่ภูเขาไฟ ภูเขามักจะไม่ได้ตั้งอยู่เดี่ยว ๆ แต่จะรวมกันเป็นแนวเทือกเขาหรือสันเขา และแนวเทือกเขาเหล่านี้จะรวมตัวกันกลายเป็นเขตภูเขาหรือระบบภูเขา

ภูเขาอาจแบ่งตามระดับความสูงได้เป็น ภูเขาสูง (สูงกว่า 3,000 เมตร) ภูเขาความสูงระดับกลาง (1,000-3,000 เมตร) และภูเขาเตี้ย (ไม่เกิน 1,000 เมตร) ภูเขาเตี้ยมักจะมียอดเขาโค้งมนและเนินเขาที่ค่อย ๆ ลาดเอียงลง ส่วนภูเขาสูงจะมีความลาดชันมากและมียอดเขาแหลม



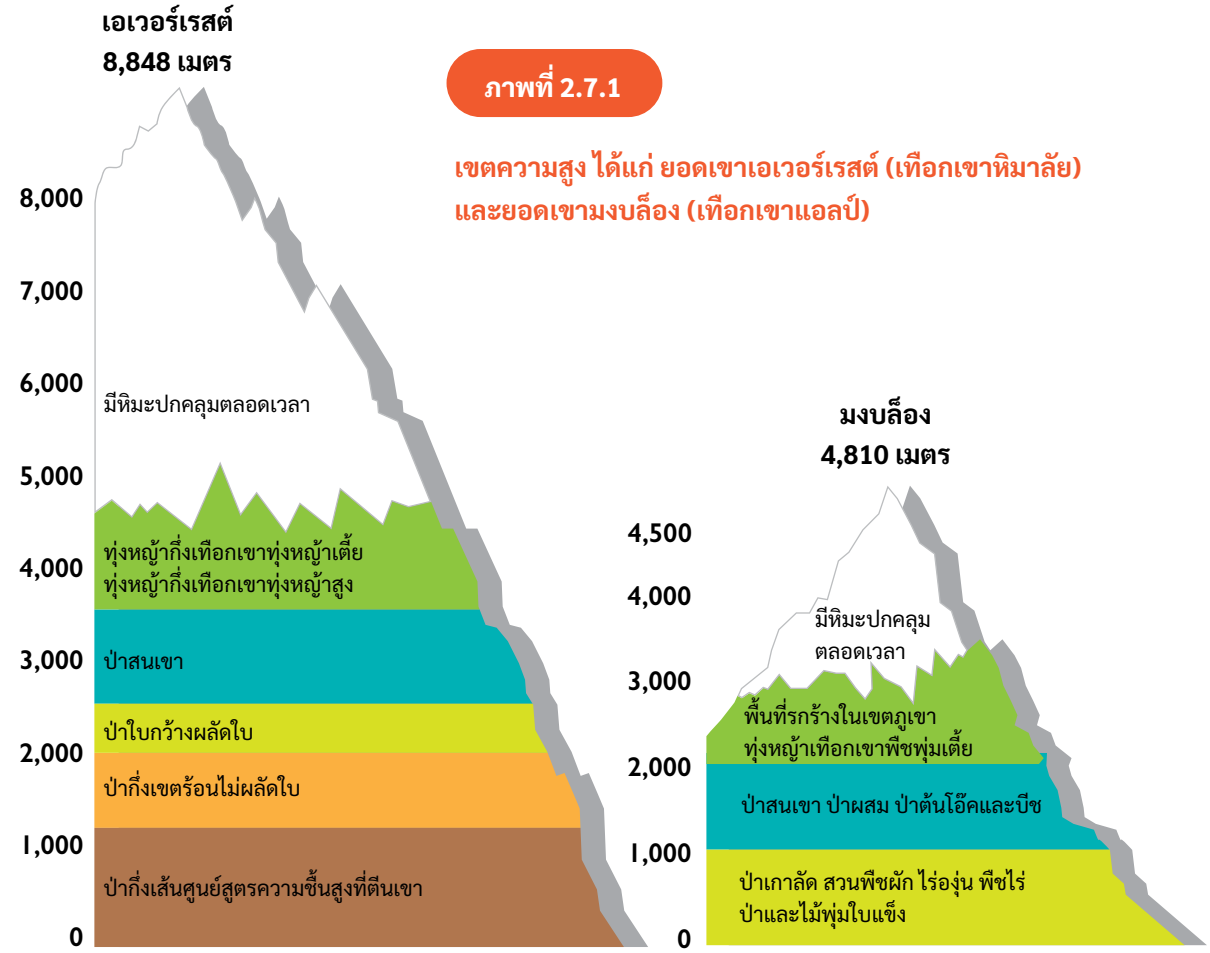
ภูเขากับสภาพภูมิอากาศ

ภูเขามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดรูปแบบของสภาพภูมิอากาศ ภูเขาทำหน้าที่เป็นกำแพงกั้นมวลอากาศ ซึ่งไม่สามารถเคลื่อนผ่านยอดเขาสูงได้โดยง่าย ด้วยเหตุนี้ เนินเขาด้านต่าง ๆ ของภูเขาลูกเดียวกันจึงมักมีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยด้านหนึ่งอาจมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าอีกด้านหนึ่ง อุณหภูมิเฉลี่ยและลักษณะภูมิประเทศก็อาจแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน

อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ภูเขามีลักษณะพิเศษก็คือการที่ภูเขารวมเอาสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายไว้ในพื้นที่เล็ก ๆ โดยสภาพอากาศและภูมิประเทศจะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงจากเชิงเขาจนถึงยอดเขา (ภาพที่ 2.7.1) จึงมีชื่อเรียกเฉพาะว่า ‘เขตความสูง’ (altitudinal zones) (คำว่า altitude แปลว่า ‘ความสูง’)

ภาพที่ 2.7.1

เขตความสูง ได้แก่ ยอดเขาเอเวอร์เรสต์ (เทือกเขาหิมาลัย) และยอดเขามงบล็อง (เทือกเขาแอลป์)







ภูเขาที่สูงที่สุดในโลก

เทือกเขาที่สูงที่สุดในโลกคือเทือกเขาหิมาลัย ซึ่งแปลว่า ที่พำนักของหิมะ ในภาษาสันสกฤต ภูเขา 10 จาก 12 ลูกของโลกที่มีความสูงเกิน 8,000 เมตรตั้งอยู่ในเทือกเขานี้ รวมถึงจุดที่สูงที่สุดบนพื้นดินของโลก นั่นคือ ยอดเขาเอเวอเรสต์ ซึ่งมีชื่อเรียกในภาษาท้องถิ่นว่า โชโมลุงมา หรือ สการ์มาธา ยอดเขาเอเวอเรสต์มีความสูง 8,848 เมตร

เทือกเขาที่ทอดตัวยาวที่สุดบนพื้นดินคือเทือกเขาแอนดีส เทือกเขาขนาดมหึมาในทวีปอเมริกาใต้นี้พาดยาวไปตามแนวชายฝั่งทวีปด้านที่ติดกับมหาสมุทรแปซิฟิก

ภูเขาที่สูงที่สุดในเทือกเขาแอนดีสคือยอดเขาอาคองกากัว (Aconcagua) โดยสูง 6,960 เมตร และเป็นจุดที่สูงที่สุดในซีกโลกตะวันตกและซีกโลกใต้

เทือกเขาที่ใหญ่ที่สุดในทวีปยุโรปคือเทือกเขาแอลป์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 8 ประเทศ ได้แก่ ออสเตรีย เยอรมนี อิตาลี ลิกเตนสไตน์ โมนาโก สโลวีเนีย ฝรั่งเศส และสวิตเซอร์แลนด์ ยอดเขามงบล็อง (Mont Blanc) มีระดับความสูง 4,807 เมตร อยู่ในเทือกเขาแอลป์บริเวณพรมแดนระหว่างฝรั่งเศสกับอิตาลี ถือเป็นจุดที่สูงที่สุดในยุโรปตะวันตก ส่วนภูเขาที่สูงที่สุดในทวีปยุโรปคือภูเขาไฟเอลบรูซ (Elbrus) ซึ่งมี 2 ยอด โดยอยู่ในเทือกเขาคอเคซัสใหญ่ (Greater Caucasus) โดยมีความสูง 5,642 เมตร และยังเป็นยอดเขาที่สูงที่สุดในรัสเซียด้วย

ทวีปอเมริกาเหนือมีระบบแนวเทือกเขาหลายแนว โดยแนวเขาที่สูงที่สุดคือเทือกเขาอลาสกาและเทือกเขาร็อกกี้ ยอดเขาที่สูงที่สุดในทวีปนี้คือ ยอดเขาแมคคินลีย์ (Mount McKinley) ในรัฐอะแลสกา (ความสูง 6,193 เมตร) ถือเป็นยอดเขาที่สูงที่สุดในอเมริกาเหนือ อดีตประธานาธิบดีบารัค โอบามา ได้ประกาศเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2558 ว่ายอดเขาแมคคินลีย์จะถูกเปลี่ยนชื่อเป็น เดนาลี (Denali) ตามชื่อที่ชาวพื้นเมืองอะแลสกาเรียกกันมาแต่ดั้งเดิม ภูเขาที่สูงที่สุดในทวีปแอฟริกาคือภูเขาคีลีมานจาโร (Kilimanjaro) (ความสูง 5,895 เมตร) ในขณะที่ภูเขาที่สูงที่สุดในออสเตรเลียคือยอดเขาโคซีอัสโก (Mount Kosciuszko) (ความสูง 2,228 เมตร)

ภาพที่ 2.7.2

ภาพเทือกเขา*หิมาลัย* โดย เอ็น โรริช (N. Roerich) ยอดเขาเอเวอเรสต์ พ.ศ. 2481



ภาพที่ 2.7.3

ยอดทั้งสองของภูเขาไฟเอลบรูซ (ความสูง 5,642 เมตร) ภูเขาที่สูงที่สุดในยุโรป



อาจเคยสงสัยว่าทำไมยอดเขาหลายแห่งจึงปกคลุมด้วยหิมะ แม้กระทั่งในเขตร้อน นักปีนเขารุ่นแรก ๆ ค้นพบอย่างรวดเร็วว่ายิ่งปีนขึ้นสูงเท่าไหร่ อุณหภูมิก็จะยิ่งลดลง และ การหายใจก็จะยิ่งลำบาก อากาศได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และจากพื้นผิวโลก เมื่ออากาศอุ่นขึ้น มันจะลอยตัวสูงขึ้นและขยายตัว ทำให้สูญเสียความร้อนไป ดังนั้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ความกดอากาศและอุณหภูมิก็จะลดลงตามลำดับ

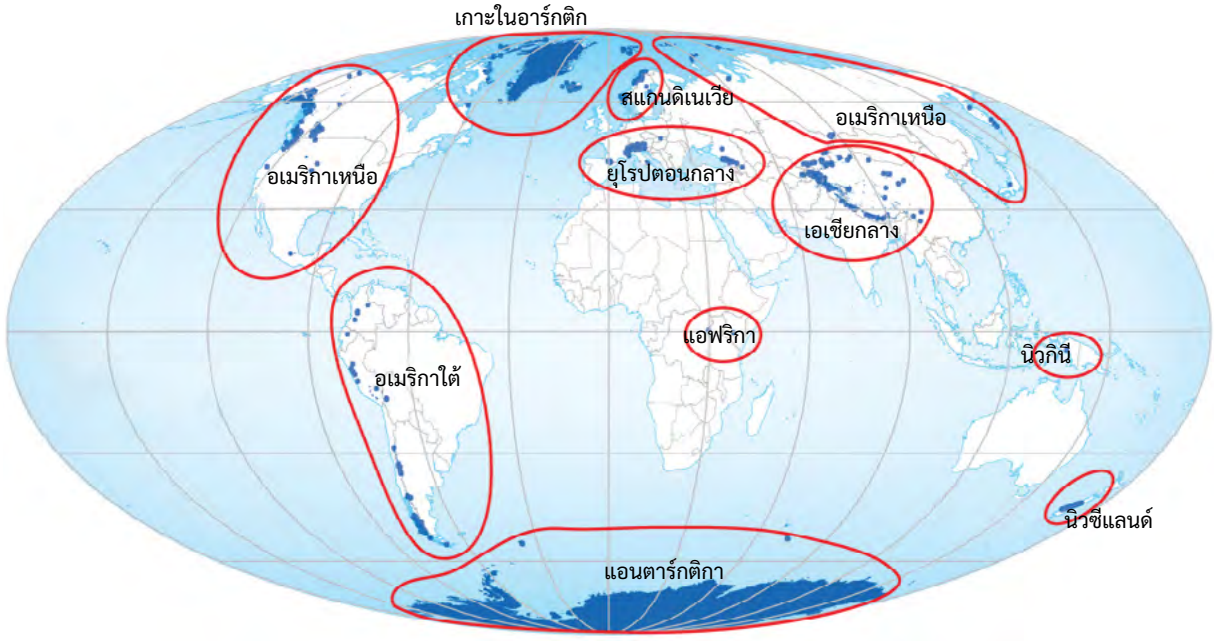
โดยเฉลี่ยแล้ว อุณหภูมิจะลดลงประมาณ 6 องศาเซลเซียส ต่อระยะทางสูงขึ้น 1 กิโลเมตรจากระดับพื้นดิน ดังนั้น ถ้าอุณหภูมิที่เชิงเขาสูง 4,000 เมตร อยู่ที่ +24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบนยอดเขาจะอยู่ที่ประมาณ 0 องศาเซลเซียส นี่คือเหตุผลว่าทำไมแม้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเขตร้อนจะไม่เคยลดต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส แต่ก็ยังสามารถมีหิมะปกคลุมบนยอดเขาสูงได้

ภูเขาส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศ แต่ในขณะเดียวกันก็เปลี่ยนสภาพตามภูมิอากาศได้อย่างมากเช่นกัน พื้นที่ภูเขามักเป็นหนึ่งในภูมิประเทศแรก ๆ ที่แสดงการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ‘ตัวชี้วัด’ หลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภูเขาคือธารน้ำแข็ง ซึ่งจะหดเล็กลงหรือขยายใหญ่ขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อุ่นขึ้นหรือเย็นลง

ความงามที่ละลายหายไป

ธารน้ำแข็งจะก่อตัวในแนวเทือกเขา เมื่อหิมะที่ตกสะสมในส่วนสูงของภูเขาอัดแน่นจนกลายเป็นน้ำแข็ง การก่อตัวของธารน้ำแข็งต้องอาศัยสภาพอากาศที่เย็นชื้น และมีหิมะตกมากจนละลายไม่หมดในแต่ละปี ทันทีที่อุณหภูมิสูงขึ้นและปริมาณน้ำฝนลดลง ธารน้ำแข็งก็จะหยุดขยายตัวและเริ่มละลาย

ภาพที่ 2.7.4 พื้นที่น้ำแข็งของโลก



ธารน้ำแข็งบนภูเขาทั่วโลกเริ่มละลาย (หรือ ‘ถอยร่น’) เมื่อประมาณ 15,000 ปีก่อน เมื่อช่วงสุดท้ายของยุคน้ำแข็งสิ้นสุดลงและเข้าสู่ช่วงที่ภูมิอากาศอุ่นขึ้น กระบวนการละลายนี้มีช่วงสั้น ๆ ที่ธารน้ำแข็งขยายตัวอีกครั้งตามมา หลักฐานทางประวัติศาสตร์แสดงให้เห็นว่าในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 5-7 ช่องเขาหลายแห่งในภูเขาที่ปัจจุบันถูกปกคลุมด้วยธารน้ำแข็งเคยถูกใช้เป็นเส้นทางคาราวาน เมื่อภูมิอากาศเย็นลงอีกครั้ง ธารน้ำแข็งเริ่มเติบโต และภายในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17-18 เส้นทางเหล่านี้ก็ไม่สามารถใช้เดินทางได้อีกต่อไป

ตัวอย่างหนึ่งคือทางข้ามภูเขาแซงต์ก็อททาร์ด (St. Gotthard Pass) อันโด่งดังในเทือกเขาแอลป์ กวีเฟรเดอริก ชิลเลอร์ (Frederick Schiller) ได้พรรณนาไว้เมื่อปี พ.ศ. 2342 ว่า “เส้นทางน่าสะพรึงทอดนำไปสู่หุบเหวตระหง่านเงียบงัน / ระหว่างทางชีวิตและความตายวกเวียนใกล้กันอย่างแยกไม่ออก” การข้ามทางผ่านที่ปกคลุมด้วยหิมะเส้นนี้เป็นสิ่งที่อันตรายอย่างยิ่งและสามารถทำได้เพียงไม่กี่เดือนในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น

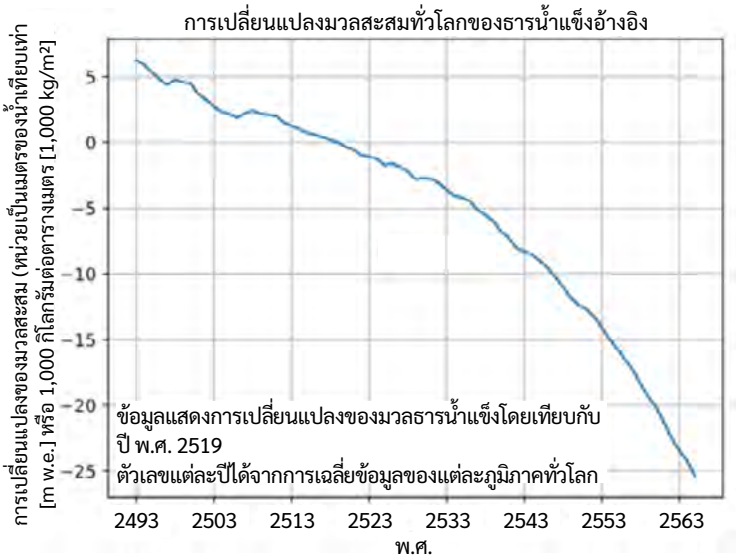
ภาพที่ 2.7.5 **ภาพเดินทางข้ามแซงต์ก็อททาร์ด โดย ดับเบิลยู รอธ (W. Rothe)**



อย่างไรก็ตาม ในช่วง 70 ปีที่ผ่านมา ธารน้ำแข็งทั่วโลกได้ถอยร่นอย่างรวดเร็วเป็นพิเศษ (ภาพที่ 2.7.6) นักวิทยาศาสตร์ได้ส่งสัญญาณเตือนว่าการละลายของธารน้ำแข็งภูเขาอย่างรวดเร็วในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับวัฏจักรธรรมชาติ การลดลงของปริมาณน้ำแข็งในพื้นที่ภูเขาอาจนำไปสู่ผลกระทบร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจในภูมิภาคภูเขา รวมถึงพื้นที่ราบโดยรอบ ซึ่งเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของประชากรราวหนึ่งในหกของโลก

ภาพที่ 2.7.6

การเปลี่ยนแปลงของมวลธารน้ำแข็งในภูเขาทั่วโลก ระหว่าง พ.ศ. 2493-2565 โดยใช้หน่วยวัดเป็นหน่วย meter water equivalent (m. w. e.)



ภาพที่ 2.7.7

วิธีศึกษาธารน้ำแข็งของนักวิทยาศาสตร์



ธารน้ำแข็งในเทือกเขาหิมาลัยกำลังถอยร่นเฉลี่ยปีละ 10-15 เมตร โดยเฉพาะธารน้ำแข็งคังโคตรี ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำคงคา ธารน้ำแข็งดังกล่าวกำลังละลายอย่างรวดเร็ว โดยถอยร่นปีละประมาณ 30 เมตร ธารน้ำแข็งคังโคตรีเป็นหนึ่งในแหล่งน้ำหลักของประชากรกว่า 500 ล้านคน ที่อาศัยอยู่ตามแนวแม่น้ำคงคา

ธารน้ำแข็งในเปรูก็ถอยร่นอย่างรวดเร็วเช่นกัน จากการประเมินขั้นต่ำที่สุด พื้นที่ของธารน้ำแข็งเหล่านี้ลดลงไปถึงหนึ่งในสามในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา

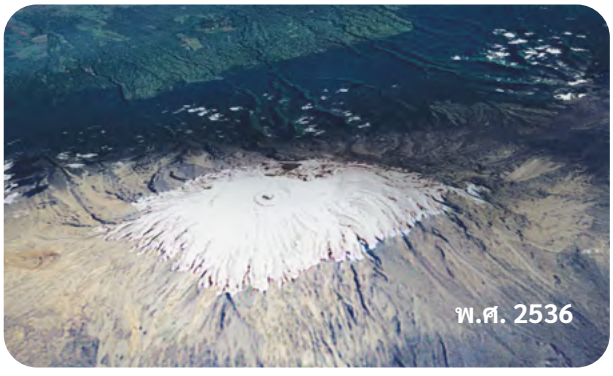
ส่วนภูเขาไฟในแอฟริกาอย่างคีลีมานจาโรอาจได้รับผลกระทบหนักที่สุด เนื่องจากยอดภูเขาน้ำแข็งอันโด่งดังซึ่งได้รับการกล่าวถึงในนวนิยาย ‘หิมะบนยอดเขาคีลีมานจาโร’ (The Snows of Kilimanjaro) ของเออร์เนสต์ เฮมิงเวย์ (Ernest Hemingway) นั้นแทบจะหายไปหมดแล้ว

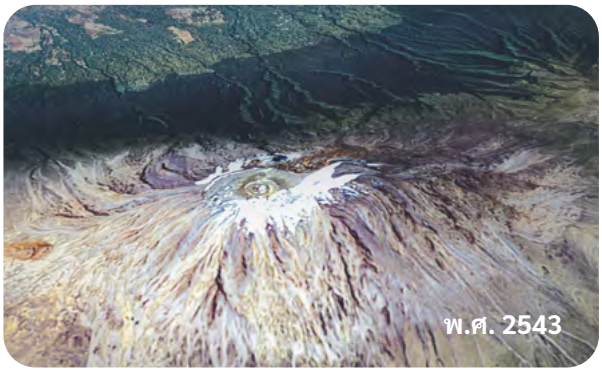
ภาพที่ 2.7.8

ธารน้ำแข็งคังโคตรี



ภาพที่ 2.7.9 **ครอบน้ำแข็งและหิมะของภูเขาคีลีมานจาโรแทบจะหายไปหมดแล้ว**





ธารน้ำแข็งในเทือกเขาแอลป์กำลังละลายเร็วที่สุดเป็นประวัติการณ์ อ้างอิงจากการวิจัยในปี 2023 โดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ‘เครือข่ายติดตามธารน้ำแข็งสวิตเซอร์แลนด์ (Glacier Monitoring Switzerland: GLAMOS) พบว่าธารน้ำแข็งของสวิตเซอร์แลนด์สูญเสียปริมาณน้ำแข็งในช่วงเวลาเพียงสองปี เทียบเท่ากับที่เคยสูญเสียไปในช่วง 30 ปีก่อน พ.ศ. 2533 กล่าวคือ แค่ในฤดูร้อนที่ร้อนจัดของปี พ.ศ. 2565 และ พ.ศ. 2566 เพียงสองปี ธารน้ำแข็งในเทือกเขาแอลป์ได้สูญเสียปริมาณหิมะพอ ๆ กับที่เสียไปตลอดระยะเวลาช่วงปี พ.ศ. 2503-2553 นักวิทยาศาสตร์สรุปว่า วิกฤตภูมิอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นสาเหตุของฤดูร้อนที่ร้อนผิดปกติและฤดูหนาวที่มีปริมาณหิมะน้อยมาก ซึ่งทำให้ธารน้ำแข็งละลายเร็วยิ่งขึ้น สำนักงานสิ่งแวดล้อมยุโรป (European Environment Agency: EEA) คาดการณ์ว่า ภายในปี พ.ศ. 2593 ธารน้ำแข็งในเทือกเขาแอลป์จะละลายไปถึงร้อยละ 75

ในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 อุทยานแห่งชาติธารน้ำแข็ง (Glacier National Park) ในเทือกเขาร็อกกี ซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายแดนสหรัฐอเมริกาและแคนาดา เคยมีธารน้ำแข็งมากถึง 150 แห่ง แต่เมื่อต้นคริสต์ศตวรรษที่ 21 กลับเหลือธารน้ำแข็งเพียง 25 แห่ง เท่านั้น และนักวิทยาศาสตร์คาดว่าธารน้ำแข็งทั้งหมดอาจหายไปในอีกไม่กี่สิบปีข้างหน้า ดังนั้น นักท่องเที่ยวที่อยากเห็นสิ่งที่เคยเป็นเอกลักษณ์ของอุทยานแห่งนี้ ควรรีบไปเยี่ยมชมก่อนที่จะสายเกินไป!

ยอดเขาปุนจักจายา (Puncak Jaya) ในเทือกเขาจายาวิจายา (Jayawijaya) อินโดนีเซียก็กำลังสูญเสียธารน้ำแข็งอย่างต่อเนื่องเช่นกัน เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและช่วงเวลาที่เกิดสภาพแล้ง โดยเฉพาะในช่วงเอลนีโญระหว่างปี พ.ศ. 2558-2559 ที่เกิดการสูญเสียอย่างรุนแรง หากธารน้ำแข็งยังละลายในอัตรานี้ ธารน้ำแข็งแห่งนี้จะหายไปภายในปี พ.ศ. 2573 และธารน้ำแข็งเขตร้อนในบริเวณตั้งแต่มหาสมุทรแปซิฟิกเส้นศูนย์สูตร ไปจนถึงมหาสมุทรอินเดียตะวันออกก็จะสูญหายไป

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบนิเวศภูเขาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ระบบนิเวศภูเขาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและมีความสำคัญทางนิเวศวิทยามากที่สุดในโลก เทือกเขาต่าง ๆ เช่น เทือกเขาแอนนาไมต์ (Annamite Mountains) เทือกเขาการ์ดามอม (Cardamom Hills) และที่ราบสูงปาปัวน (Papuan Highlands) เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์เฉพาะถิ่น ช่วยควบคุมวัฏจักรของน้ำ และทำหน้าที่เป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ระบบนิเวศบนพื้นที่สูงเหล่านี้กำลังได้รับผลกระทบมากขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นกำลังบีบบังคับให้พืชและสัตว์ต้องย้ายถิ่นฐานไปยังระดับความสูงที่มากขึ้น เมื่อเขตพืชพรรณเลื่อนสูงขึ้น สัตว์และพืชที่อาศัยอยู่บนระดับความสูงสูงสุดอยู่แล้วอาจสูญเสียถิ่นที่อยู่อย่างสิ้นเชิง ส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง และเป็นภัยต่อสิ่งมีชีวิตหายากหรือสิ่งมีชีวิตเฉพาะถิ่นที่พบได้เฉพาะในภูเขาที่โดดเดี่ยวเท่านั้น

ที่ปุนจักจายา (Puncak Jaya) ของอินโดนีเซีย ธารน้ำแข็งเขตร้อนแห่งสุดท้ายในภูมิภาคกำลังละลายอย่างรวดเร็ว นักวิทยาศาสตร์คาดว่าธารน้ำแข็งเหล่านี้จะหายไปอย่างสมบูรณ์ภายในปี พ.ศ. 2569 การสูญเสียธารน้ำแข็งนี้ไม่เพียงแต่เป็นสัญลักษณ์เท่านั้น แต่ยังสะท้อนถึงแนวโน้มที่กว้างขึ้นของภูมิภาค ทั้งในด้านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความชื้นที่ลดลงในพื้นที่สูง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังทำให้เกิดเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรงบ่อยขึ้น เช่น ดินถล่ม น้ำป่าไหลหลาก และภัยแล้งในพื้นที่ภูเขา เหตุการณ์เหล่านี้ทำลายระบบนิเวศที่เปราะบาง ขัดขวางกระบวนการเก็บน้ำในดินของป่า และทำให้ป่าอ่อนแอลง ไม่สามารถต้านทานศัตรูพืชหรือไฟได้เหมือนเดิม

ภาพที่ 2.7.10 อุทยานแห่งชาติธารน้ำแข็ง ในเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2556



ภาพที่ 2.7.11 ธารน้ำแข็งอาซาวใหญ่ (The Greater Azau Glacier) ในเทือกเขาคอเคซัส ภาพถ่ายที่ผู้หญิงในภาพถืออยู่เป็นภาพถ่ายจากปี พ.ศ. 2499 ด้านหลังคือธารน้ำแข็งที่เหลืออยู่ในปี พ.ศ. 2550



ธารน้ำแข็งอาซาว (Azau) ในเทือกเขาคอเคซัสก็มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน เมื่อปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 การละลายอย่างต่อเนื่องทำให้ธารน้ำแข็งนี้แยกออกเป็นสองส่วน ได้แก่ อาซาวน้อย และ อาซาวใหญ่ โดยในปัจจุบันอาซาวใหญ่ก็ไม่ได้มีขนาดใหญ่อีกต่อไป ระหว่างปี พ.ศ. 2500-2519 ธารน้ำแข็งได้ถอยร่นไป 360 เมตร และถอยร่นไปอีก 260 เมตรในระหว่างปี พ.ศ. 2523-2535 ส่วนอาซาวน้อยยังคงถอยร่นเฉลี่ยปีละประมาณ 16 เมตร

จำนวนธารน้ำแข็งในเทือกเขาอัลไตทางตะวันออกของรัสเซียลดลงร้อยละ 7.5 ตั้งแต่ พ.ศ. 2495-2541 และธารน้ำแข็งที่เหลืออยู่ก็ถอยร่นไปไกลถึง 100-120 เมตรจากตำแหน่งเดิมในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 ธารน้ำแข็งโซเฟียซึ่งนักวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยแห่งรัฐอัลไต (Altai State University: AltSU) เฝ้าสังเกตการณ์อยู่ได้ถอยร่นไปแล้ว 1.5-2 กิโลเมตรในรอบ 150 ปีที่ผ่านมา นอกจากนี้ ธารน้ำแข็งนี้ยัง ‘ยกตัวสูงขึ้น’ ในอัตรา 20-30 เมตรต่อปีด้วย

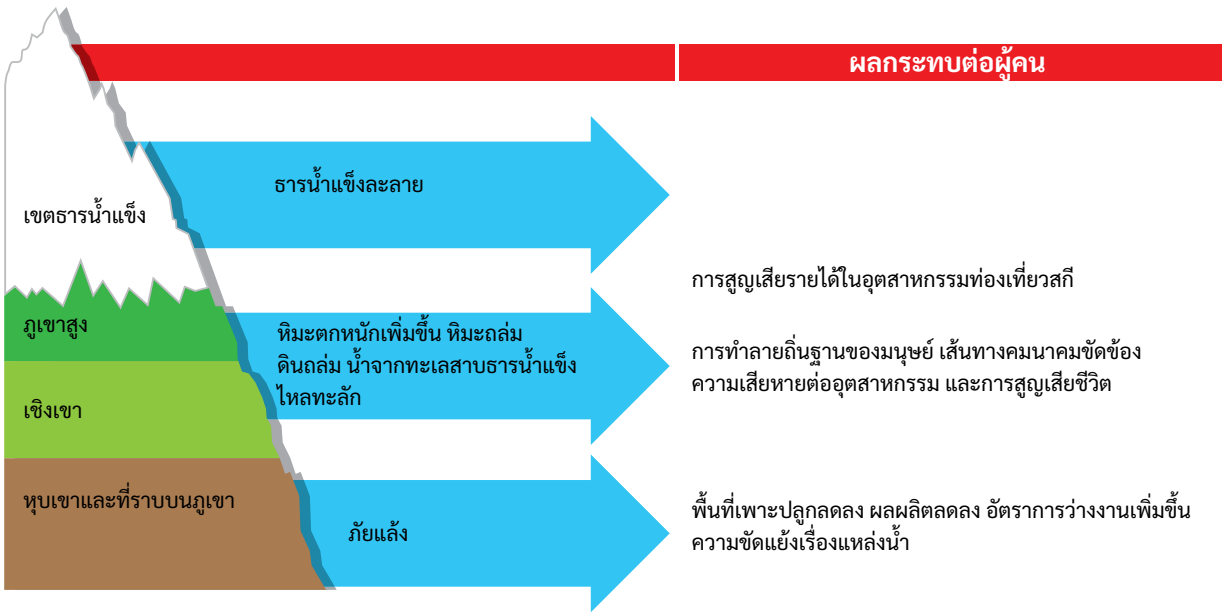
ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้คนที่อาศัยอยู่ในภูเขา

การใช้ชีวิตในภูเขาไม่ใช่เรื่องง่าย ความสูงจากระดับน้ำทะเล ภูมิประเทศที่ลาดชัน และสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงบ่อยล้วนทำให้การเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ในภูเขายากกว่าบนพื้นที่ราบอย่างมาก





ภาพที่ 2.7.12 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผู้คนที่อาศัยอยู่ในภูเขา



ตั้งแต่อดีต ผู้คนตั้งถิ่นฐานอยู่ในหุบเขาแคบ ๆ ของภูเขา โดยแต่ละชุมชนถูกกั้นไว้ด้วยสันเขาที่สูงชัน ทำให้การติดต่อระหว่างชุมชนในแต่ละหุบเขาทำได้ยาก แม้แต่ในปัจจุบัน ผู้คนในพื้นที่ภูเขาก็ยังคงรักษาขนบธรรมเนียม ประเพณี และวิถีชีวิตเฉพาะถิ่นของตนเองเอาไว้ วิถีชีวิตของชาวภูเขา รวมถึงแหล่งรายได้หลักอย่างเกษตรกรรมและการท่องเที่ยวล้วนขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศโดยตรง แม้การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในสภาพอากาศก็สามารถส่งผลต่อความเป็นอยู่ของพวกเขาได้อย่างมาก

การท่องเที่ยวอยู่ในช่วงขาลง

ตัวอย่างของเทือกเขาแอลป์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยวในพื้นที่ในเขตภูเขาอย่างไร การท่องเที่ยวด้วยการเล่นสกีสร้างรายได้ให้กับประเทศในเทือกเขาแอลป์ถึงร้อยละ 20 (ภาพที่ 2.7.13) สำหรับประชากร 13 ล้านคนที่อาศัยอยู่ในเทือกเขาแอลป์ในเขตประเทศออสเตรีย เยอรมนี สวิตเซอร์แลนด์และฝรั่งเศสนั้น การไม่มีหิมะนับเป็นหายนะทางเศรษฐกิจ นักท่องเที่ยวสองในสามเดินทางมาที่นี่เพื่อเล่นสกีและสโนว์บอร์ด

การคาดการณ์ทำให้เกิดความกังวลอย่างจริงจัง กล่าวคือ ภายในปี พ.ศ. 2573 จะไม่มีหิมะตกเลยในเทือกเขาแอลป์บริเวณที่อยู่ต่ำกว่า 1,000 เมตร รีสอร์ตสกียอดนิยมหลายแห่งจะต้องปิดกิจการ รีสอร์ตสกีครึ่งหนึ่งในออสเตรียอยู่ที่ระดับความสูงถึง 1,300 เมตรและจะต้องปิดให้บริการเนื่องจากไม่มีหิมะ คำทำนายในแง่ร้ายเริ่มเป็นจริงแล้ว นั่นคือ ในช่วงฤดูหนาวของปี พ.ศ. 2549-2550 รีสอร์ตสกีแบบลงเขา 60 แห่งจากทั้งหมด 660 แห่งต้องปิดบริการและอีกหลายแห่งสามารถดำเนินการต่อได้โดยใช้หิมะเทียมเท่านั้น ต้นทุนที่สูงอยู่แล้วก็สูงขึ้นอย่างมาก ผลที่ตามมาคือความต้องการมาเที่ยววันหยุดในบริเวณเทือกเขาแอลป์ลดลง

พื้นที่ในเขตภูเขาจะรับมืออย่างไรถ้าไม่มีหิมะ อุตสาหกรรมกีฬาและสันทนาการกำลังปรับตัวอย่างเต็มความสามารถโดยพยายามพัฒนาการท่องเที่ยวและสันทนาการประเภทอื่น ๆ ที่ต้องพึ่งพาหิมะน้อยลง พื้นที่ที่เคยใช้เล่นสกีถูกดัดแปลงเป็นสวนพักผ่อนและรีสอร์ตเพื่อสุขภาพตลอดทั้งปี อาจถึงเวลาแล้วที่ผู้คนจะไปเทือกเขาแอลป์ ไม่ใช่เพื่อเล่นกีฬาฤดูหนาว แต่เพื่อเดินเล่นริมทะเลสาบบนภูเขา ลิ้มรสอาหารท้องถิ่น และสูดอากาศบริสุทธิ์บนภูเขา

ภาพที่ 2.7.13

รายได้หลักของพื้นที่ในเขตภูเขามาจากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว





ทะเลสาบทริฟต์ ในรัฐแบร์นของเทศสวิตเซอร์แลนด์เป็นตัวอย่างที่น่าสนใจซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาวะโลกร้อนส่งผลต่อเทือกเขาแอลป์อย่างไร ในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1990 ธารน้ำแข็งใกล้เคียงเริ่มลดขนาดลงอย่างรวดเร็ว น้ำที่ละลายกลายเป็นทะเลสาบขนาดเล็กและหุบเขาส่วนใหญ่ก็ไม่มีน้ำแข็งปกคลุม ก่อนหน้านี้ผู้คนสามารถเดินข้ามธารน้ำแข็งจากยอดเขาหนึ่งไปยังอีกยอดเขาหนึ่งได้ ทางการท้องถิ่นตัดสินใจสร้างสะพานแขวนสำหรับผู้เดินป่าก่อนที่ธารน้ำแข็งจะละลายหมด สะพานแห่งนี้ก็ได้กลายเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญที่ดึงดูดผู้มาเยือนจากทั่วโลกอย่างรวดเร็ว

ภาพที่ 2.7.14

สะพานเหนือทะเลสาบทริฟต์ สวิตเซอร์แลนด์



ธารน้ำแข็งปาสโตรูรีในเปรูกำลังถอยร่น

จนกระทั่งไม่นานมานี้ นักท่องเที่ยวและนักปีนเขามืออาชีพต่างหลั่งไหลไปยังธารน้ำแข็งปาสโตรูรีบนเทือกเขาแอนดิสในเปรู แต่ในช่วง 35 ปีที่ผ่านมาธารน้ำแข็งแห่งนี้ลดขนาดลงมากกว่าหนึ่งในสี่ นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์ว่าธารน้ำแข็งแห่งนี้อาจหมดในอีกไม่กี่ทศวรรษข้างหน้า ทิวทัศน์ที่สวยงามของหิมะและน้ำแข็งถูกแทนที่ด้วยหน้าผาสีดำ หน่วยงานท้องถิ่นออกกฎห้ามปีนเขาเนื่องจากธารน้ำแข็งที่กำลังละลายทำให้โขดหินไม่มั่นคงและอาจเกิดอันตรายได้

จำนวนนักท่องเที่ยวที่มาธารน้ำแข็งปาสโตรูรีลดลงสามเท่าตั้งแต่ช่วงต้นคริสต์ทศวรรษที่ 1990 ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการท่องเที่ยวของเปรูและรายได้ของผู้อาศัยอยู่บริเวณนี้ แต่ผู้ประกอบการชาวเปรูก็ไม่หมดหวัง พวกเขาใช้ซากธารน้ำแข็งเป็นตัวอย่างสำคัญของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พื้นที่บริเวณนี้ประสบความสำเร็จในการดึงดูดนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและนักท่องเที่ยวที่สนใจเรื่องสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเรื่อย ๆ

แต่อย่างไรก็ตาม การฟื้นฟูธารน้ำแข็งนั้นเป็นงานที่ยากกว่าการฟื้นฟูเศรษฐกิจของธุรกิจท้องถิ่นหลายเท่า

ภาพที่ 2.7.15 การลดขนาดของธารน้ำแข็งปาสโตรูรีบนเทือกเขาแอนดิสในเปรู





ภัยพิบัติทางธรรมชาติในบริเวณภูเขา

การถดถอยของธุรกิจการท่องเที่ยวไม่ใช่ภัยคุกคามที่รุนแรงที่สุดจากภาวะโลกร้อนต่อชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ภูเขา ยังมีภัยธรรมชาติที่น่ากังวลอีก ได้แก่ หิมะถล่ม ดินถล่ม และน้ำท่วม ซึ่งเกิดบ่อยครั้งขึ้นในภูเขาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ภัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อชีวิตมนุษย์และสร้างความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อเศรษฐกิจท้องถิ่น

เมื่อธารน้ำแข็งถอยร่น จะมีน้ำแข็งละลายสะสมในหุบเขา จนก่อตัวเป็นทะเลสาบน้ำแข็ง หากปริมาณน้ำในทะเลสาบเพิ่มขึ้นมากเกินไป อาจล้นตลิ่งและทำให้เกิดอุทกภัย นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าทะเลสาบน้ำแข็ง 20 แห่งในเนปาล และ 24 แห่งในภูฏาน เป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ตอนล่างของหุบเขา หากทะเลสาบเหล่านี้พังทลายและน้ำไหลทะลักลงมา อาจทำให้ประชาชนจำนวนมากเสียชีวิตหรือสูญเสียบ้านเรือน อุทกภัยลักษณะนี้ได้เกิดขึ้นแล้วหลายครั้งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาในหุบเขาแม่น้ำทิมพู พาโร และปูนาคา-วังดูของภูฏาน

สามารถลดความเสี่ยงต่อประชาชนในพื้นที่ได้โดยการขุดช่องทางป้องกันและสร้างเขื่อนก่อนที่จะเกิดน้ำท่วม

ทะเลสาบโชโรลปาในเนปาลซึ่งเกิดจากน้ำที่ละลายมาจากธารน้ำแข็งได้ขยายตัวขึ้นถึง 7 เท่าในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา การศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่าทะเลสาบน้ำแข็งมากกว่า 20 แห่งในเนปาลและ 24 แห่งในภูฏานอาจเอ่อล้นฝั่งในไม่ช้า ซึ่งอาจนำไปสู่ผลกระทบร้ายแรงต่อประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศทั้งสอง เว้นแต่จะมีมาตรการป้องกันที่เหมาะสม

ภาพที่ 2.7.16

ทะเลสาบธารน้ำแข็งบนเทือกเขาหิมาลัย



ภาพที่ 2.7.17

ทะเลสาบโชโรลปาขยายตัวถึง 7 เท่าในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา



หิมะถล่ม หมายถึงหิมะปริมาณมหาศาลที่ตกลงมาหรือเลื่อนไหลลงมาตามลาดเขา หิมะถล่มอาจก่อให้เกิดผลร้ายแรงได้ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 หิมะถล่มน้ำหนัก 170,000 ตัน ได้ทำลายหมู่บ้านกัลตูร์ในออสเตรียและคร่าชีวิตผู้คนไป 30 ราย ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 หิมะถล่มหลายครั้งในประเทศอัฟกานิสถานได้ทำลายบ้านเรือนและคร่าชีวิตผู้คนไปกว่า 100 ราย ล่าสุดในเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 หิมะถล่มถนนสายหนึ่งในเมืองหลินจือ ประเทศจีน คร่าชีวิตผู้คนไป 28 รายและบาดเจ็บอีก 53 ราย

ดินถล่ม หมายถึงดินโคลนและหินมวลมหาศาลซึ่งไหลลงสู่หุบเขาตามแม่น้ำบริเวณภูเขาอย่างกะทันหัน ดินถล่มมักเกิดจากฝนที่ตกอย่างหนักหรือหิมะที่ละลายอย่างรวดเร็ว และยังอาจเกิดจากน้ำที่ไหลล้นออกจากทะเลสาบน้ำแข็งได้อีกด้วย ดินถล่มก็เหมือนกับหิมะถล่ม สามารถสร้างความเสียหายครั้งใหญ่ได้





การลดทอนของแหล่งน้ำจืด

ปริมาณของน้ำจืดที่ลดลงในอนาคตทั้งในพื้นที่ภูเขาและพื้นที่ราบใกล้เคียงเป็นภัยคุกคามที่ร้ายแรง ธารน้ำแข็งเป็นแหล่งน้ำจืดหลักแห่งหนึ่งเนื่องจากเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำหลายสาย น้ำแข็งที่ละลายจะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำในพื้นที่รอบ ๆ ภูเขา ทำให้สภาพแวดล้อมสำหรับการเกษตร การทำเหมืองและการผลิตไฟฟ้าแย่ลงอย่างมาก การขาดแคลนน้ำจืดในพื้นที่ใกล้ ๆ ภูเขาทำให้เกิดความขัดแย้งทางการเมืองอย่างรุนแรงในบางภูมิภาคของโลก นักวิทยาศาสตร์ตั้งข้อสังเกตว่าผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภูเขาอย่างการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาอันเป็นผลมาจากการละลายของธารน้ำแข็งหรือการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศบางอย่างนั้นไม่สามารถลดลงได้ด้วยมาตรการปรับตัว

ภูเขามักสัมพันธ์กับอันตรายและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก็อาจเพิ่มความเสี่ยงขึ้นไปอีก อุณหภูมิที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลง การละลายของธารน้ำแข็งบนภูเขาและการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ไม่สามารถคาดเดาได้บ่อยครั้งขึ้นนั้นอาจนำไปสู่ผลกระทบรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม ผู้คนและเศรษฐกิจของพื้นที่บริเวณภูเขาและพื้นที่โดยรอบ

คำถาม

1 นักปีนเขาได้ปีนขึ้นมาสูงแค่ไหนหากเขาอยู่ที่ระดับอุณหภูมิ -9 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิที่เชิงเขา +18 องศาเซลเซียส

2 หิมะจะยังอยู่บนยอดเขาสูง 5,200 เมตรหรือไม่หากอุณหภูมิที่เชิงเขาคือ +30 องศาเซลเซียส ในวันที่ร้อนที่สุดของฤดูร้อน

3 เหตุใดธารน้ำแข็งบนภูเขาจึงถือเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศส่งผลต่อธารน้ำแข็งอย่างไร

4 เหตุใดเขตภูเขาจึงมักมีความหลากหลายทางชาติพันธุ์อย่างมาก

5 แหล่งรายได้หลักของผู้คนที่อยู่บริเวณภูเขาคืออะไร พวกเขาได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไรบ้าง

6 ควรดำเนินการอย่างไรเพื่อรักษาแหล่งทำกินหลักของผู้คนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ภูเขา และปรับตัวให้ทันต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ





กิจกรรม

1

ทำเครื่องหมายยอดเขาที่สูงที่สุดในแต่ละทวีปบนแผนที่เส้นชั้นความสูงของโลก ยอดเขาเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบภูเขาใด ยอดเขาเหล่านี้ตั้งอยู่ในประเทศใด

2

ความสวยงามและการเข้าถึงได้ยากของภูเขาเป็นแรงบันดาลใจให้กับนักกวี นักเขียน ศิลปิน และนักแต่งเพลงที่ยิ่งใหญ่ที่สุดเสมอมา บอกชื่อผลงานวรรณกรรมหรือศิลปะที่มีชื่อเสียง ซึ่งแสดงถึงเทือกเขาหรือยอดเขาต่าง ๆ เลือกผลงานที่คุณชอบเป็นพิเศษและอธิบายว่าผู้เขียนจะต้องเปลี่ยนแปลงอะไรบ้างหากพวกเขาอาศัยอยู่ในยุคที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงทั่วโลก พวกเขาทำได้อย่างไร



3

เกม
แบ่งผู้เล่นเป็นสองทีม

ทีม 1 อยู่ที่หมู่บ้านสูง (High Village) ซึ่งอยู่ในหุบเขาแม่น้ำเชี่ยวกราก (Rapid River Mountain valley) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ธารน้ำแข็งละลายในภูเขาสูงทำให้แม่น้ำเชี่ยวกรากท่วมตลิ่งหลายครั้ง สร้างความเดือดร้อนให้ชาวบ้าน พวกเขาจึงต้องการสร้างเขื่อนบนแม่น้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมและในขณะเดียวกันก็ผลิตไฟฟ้าและสร้างงานใหม่ ชาวภูเขาไม่ได้ร่ำรวย ไม่มีเงินสร้างเขื่อนและใช้ชีวิตส่วนใหญ่ด้วยสิ่งที่ปลูกได้และสัตว์ที่เลี้ยงไว้ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ชาวหมู่บ้านสูงเริ่มปลูกดอกไม้และผลไม้แปลกใหม่เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ทีม 2 อาศัยอยู่ในหมู่บ้านเลี้ยงวัวแบบอิสระ (Cowgrazing) บนที่ราบใกล้ภูเขา ด้านล่างของแม่น้ำเชี่ยวกราก หมู่บ้านนี้เจริญรุ่งเรือง ผู้คนเป็นชาวนาและใช้น้ำจากแม่น้ำเพื่อชลประทานและดื่ม ชาวหมู่บ้านเลี้ยงวัวแบบอิสระ ชอบอาหารแปลกใหม่ ความบันเทิง และการเดินทาง งบประมาณท้องถิ่นมีเงินเพียงพอสำหรับโครงการก่อสร้างใหม่

สมาชิกในทีมต้องหารือกันในประเด็นต่อไปนี้ (ครูหรือนักเรียนคนใดคนหนึ่งอาจทำหน้าที่เป็นรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการพัฒนาภูมิภาคซึ่งจะเป็นผู้ดำเนินการเจรจา):

1) จะเกิดผลที่ตามมาอย่างไรกับหมู่บ้านเลี้ยงวัวแบบอิสระ หากชาวหมู่บ้านสูงสร้างเขื่อนโดยไม่ปรึกษากันก่อน

2) ชาวหมู่บ้านเลี้ยงวัวแบบอิสระจะตกลงสร้างเขื่อนและจัดสรรเงินสำหรับการก่อสร้างได้ตามเงื่อนไขใด

3) ชาวหมู่บ้านสูงสามารถหาวิธีป้องกันตนเองจากผลที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยไม่ต้องสร้างเขื่อนได้หรือไม่

4) ชาวหมู่บ้านสูงและชาวหมู่บ้านเลี้ยงวัวแบบอิสระร่วมกันดำเนินโครงการและประเภทธุรกิจใหม่ใดได้บ้าง?

2.8 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคอาร์กติกอย่างไร

อาร์กติกเป็นภูมิภาคขั้วโลกเหนือของโลก รวมถึงมหาสมุทรอาร์กติกและทะเลต่าง ๆ ในมหาสมุทรอาร์กติก ตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติก หมู่เกาะอาร์กติกของแคนาดา เกาะกรีนแลนด์ เกาะสฟาลบาร์ ฟรานซ์-โจเซฟแลนด์ โนวายาเซมเลีย เซเวอร์นายาเซมเลีย หมู่เกาะไซบีเรียใหม่และเกาะแรงเกลตลอดจนชายฝั่งทางตอนเหนือของยูเรเซียและทวีปอเมริกาเหนือ

ไม่มีการกำหนดอาณาเขตภูมิภาคอาร์กติกอย่างแน่นอนตายตัว การกำหนดอาณาเขตที่ถูกอ้างอิงมากที่สุดคือทางตอนใต้ที่ใช้เส้นวงกลมอาร์กติกที่ละติจูด 66 องศา 33 ลิปดาเหนือ ทำให้อาร์กติกมีพื้นที่ทั้งหมด 21 ล้านตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 2.8.1)

การกำหนดอาณาเขตภูมิภาคอาร์กติกแบบที่สองคือเส้นอุณหภูมิเท่าเดือนกรกฎาคม เส้นสมมติพาดผ่านบริเวณที่อุณหภูมิในเดือนที่ร้อนที่สุดของปีไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส แนวไม้ยืนต้นมีความสัมพันธ์กับเส้นอุณหภูมิเท่าเดือนกรกฎาคมและเป็นการกำหนดอาณาเขตภูมิภาคอาร์กติกแบบที่สาม แนวต้นไม้แสดงถึงการเปลี่ยนผ่านจากเขตป่าไม้ไปยังพุ่มไม้และทุ่งหญ้าในเขตทุนดรา รัสเซีย สหรัฐอเมริกา (รัฐอะแลสกา) แคนาดา นอร์เวย์ สวีเดน ฟินแลนด์ ไอซ์แลนด์และเดนมาร์ก (กรีนแลนด์) ต่างก็มีดินแดนบางส่วนในเขตภูมิภาคอาร์กติก

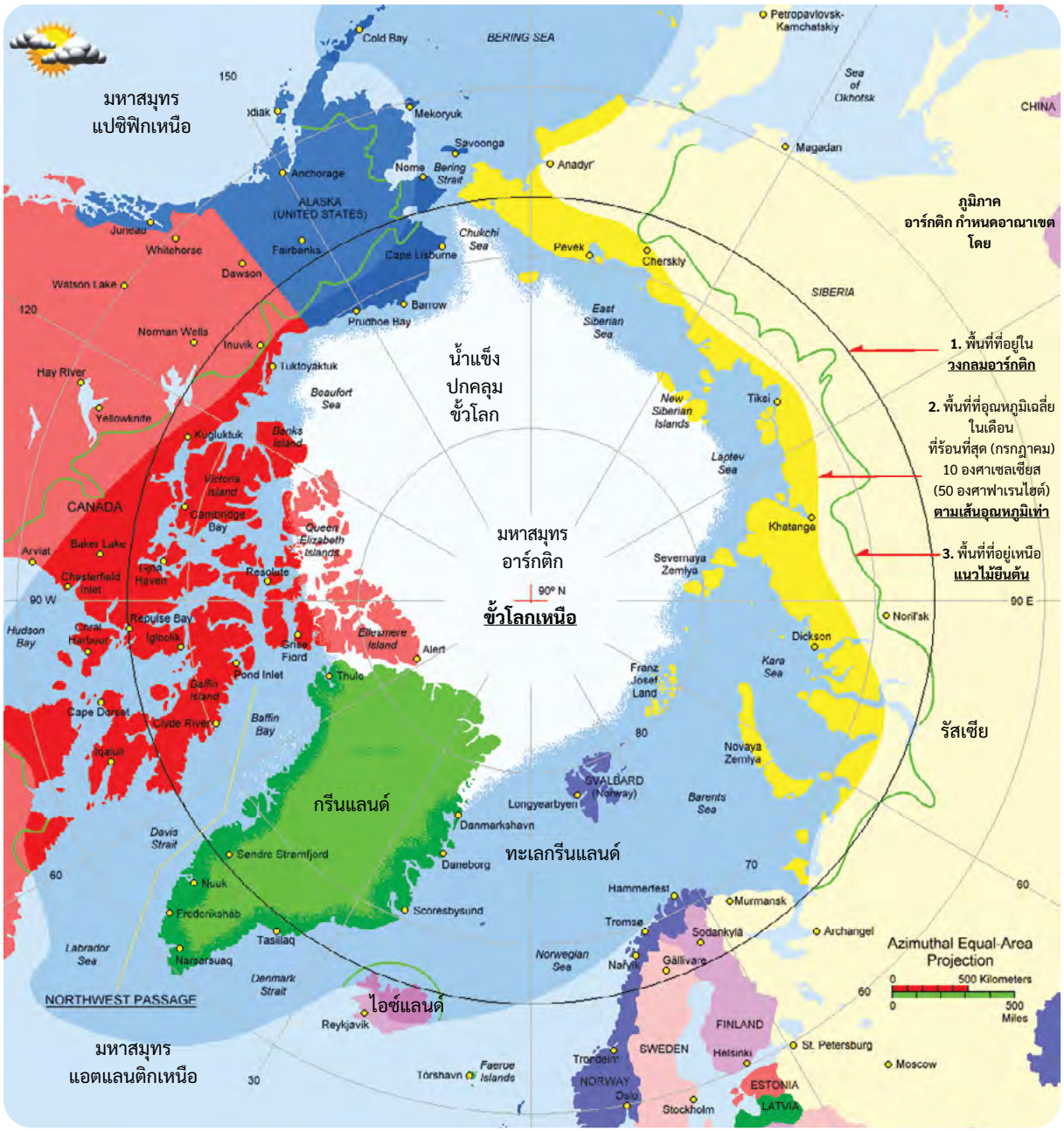


อาร์กติกกำลังอุ่นขึ้นเร็วกว่าส่วนอื่นของโลก

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอาร์กติกเด่นชัดกว่าค่าเฉลี่ยของโลกมาก อุณหภูมิตามแนวชายฝั่งอาร์กติกเพิ่มขึ้น 2-3 องศาเซลเซียสในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา

แต่ผลกระทบที่ชัดเจนที่สุดของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอาร์กติกก็คือสภาพภูมิอากาศและอากาศที่แปรปรวนมากขึ้นในเขตภูมิอากาศอบอุ่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกะทันหันโดยปกติจะไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส กล่าวคือ วันนี้อาจจะอบอุ่นมาก แต่พรุ่งนี้อุณหภูมิจะลดลง 10 องศาเซลเซียสและจะสูงขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียสในอีกหนึ่งสัปดาห์ต่อมา แต่ในอาร์กติก อุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงกะทันหันได้ถึง 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในช่วงฤดูร้อนในภูมิภาคอาร์กติกบริเวณหนึ่งอาจสูงขึ้น 5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 ในขณะที่ในภูมิภาคใกล้เคียงจะเย็นลง 5 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 2.8.1 อาร์กติกและการกำหนดอาณาเขต



ในอาร์กติกดูเหมือนว่าอากาศอุ่นจะเป็นเรื่องดี แต่ก็ไม่เสมอไป! อะไรดีกว่ากัน อุณหภูมิ -35 องศาเซลเซียส อากาศแจ่มใส ไม่มีลม หรือ -20 องศาเซลเซียสมีพายุหิมะ แน่นอนว่าอากาศเย็นกว่าแต่ไม่มีพายุหิมะจะดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิแบบนี้เป็นอุณหภูมิที่พบได้โดยทั่วไปในอาร์กติก ปัญหาไม่ได้อยู่ที่อุณหภูมิ ไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้น อุณหภูมิในอาร์กติกจะไม่สูงพอที่จะทำให้ผู้คนและสัตว์ในพื้นที่นั้นร้อนเกินไป

ในทางอุตุนิยมวิทยามีแนวคิดที่เรียกว่าดัชนีกระแสลมหนาว ซึ่งสะท้อนถึงความรู้สึกหนาวที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำร่วมกับแรงลม ตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ที่ -10 องศาเซลเซียส และความเร็วลมอยู่ที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดัชนีความเย็นจากลมจะอยู่ที่ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าร่างกายจะรู้สึกและตอบสนองต่อสภาพอากาศราวกับว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ -20 องศาเซลเซียส

ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของผู้คนและระบบนิเวศในอาร์กติก ได้แก่พลังลม (พายุหิมะและพายุฝน) การลดปริมาณน้ำแข็งในทะเลและแม่น้ำ การกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรงและการละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัว การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นเท่านั้น แต่ปัจจัยเหล่านี้เองยังเป็นแรงผลักดันที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย นักวิทยาศาสตร์เรียกผลย้อนกลับดังกล่าวว่า “ผลย้อนกลับ” ซึ่งมีอย่างน้อยสองประการ

1. อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ทุ่งน้ำแข็งละลายและแตกออก เกิดผืนน้ำเปิดขนาดใหญ่ระหว่างแพน้ำแข็ง พื้นผิวน้ำสีเข้มไม่สะท้อนแต่ดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้น้ำอุ่นขึ้น น้ำแข็งละลายมากขึ้นและกระบวนการนี้ถูกกระตุ้นให้เกิดเร็วขึ้น

2. ผืนน้ำเปิดมากขึ้นหมายถึงความชื้นระเหยมากขึ้น เมฆมากขึ้น อย่าลืมว่ากลางคืนจะค่อนข้างอุ่นเมื่อท้องฟ้ามีเมฆมากเนื่องจากเมฆกักความร้อนไว้ และในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสจะหนาวเย็นกว่ามาก ในทำนองเดียวกันที่อาร์กติกเมื่อมีน้ำเปิดและเมฆมากอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นโดยเฉพาะในเวลากลางคืน ทำให้น้ำแข็งละลายเร็วขึ้นด้วย

เศรษฐกิจของอาร์กติกมีกิจกรรมสองประเภทที่ตรงข้ามกัน ประเภทแรกคือกิจกรรมดั้งเดิมของชนพื้นเมือง เช่น การล่าสัตว์ การตกปลา การเลี้ยงกวางเรนเดียร์ เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือการผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เหล็ก สังกะสี ทองคำ เพชร สัตว์น้ำและไม้ปริมาณมากเพื่อตลาดนานาชาติ เศรษฐกิจที่ใหญ่ที่สุดในอาร์กติกเป็นของรัสเซียและอลาสก้า (สหรัฐอเมริกา) เนื่องจากการทำเหมืองและปิโตรเลียมเป็นหลัก บริเวณที่ยังคงถูกครอบงำด้วยกิจกรรมดั้งเดิมเล็ก ๆ โดยเฉพาะในกรีนแลนด์และแคนาดาตอนเหนือนั้นมีผลผลิตทางเศรษฐกิจต่ำกว่ามาก

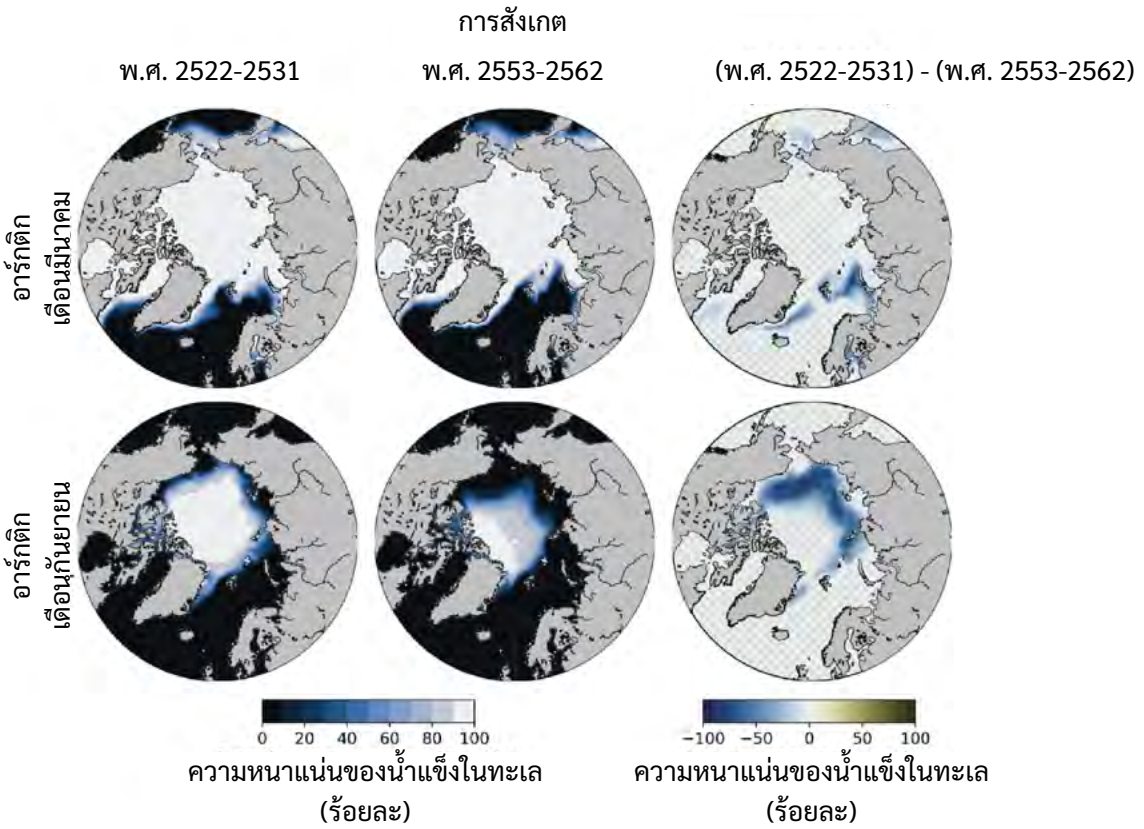




น้ำแข็งในอาร์กติกที่กำลังหายไป

นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้ดาวเทียมติดตามสภาพน้ำแข็งในอาร์กติกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 ข้อมูลจากดาวเทียมแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำแข็งในอาร์กติกลดลงอย่างมาก (ภาพที่ 2.8.2) แผนที่น้ำแข็งในทะเลภูมิภาคอาร์กติกแสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำแข็งในทะเลที่บันทึกโดยดาวเทียมในช่วงทศวรรษระหว่างปี พ.ศ. 2522-2531 และ พ.ศ. 2553-2562 รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสัมบูรณ์ของความหนาแน่นของน้ำแข็งในทะเลระหว่างสองทศวรรษนี้ ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมาความหนาแน่นของน้ำแข็งในมหาสมุทรอาร์กติกและทะเลต่าง ๆ ในมหาสมุทรอาร์กติกลดลงกว่าร้อยละ 20

ภาพที่ 2.8.2 **แผนที่แสดงความหนาแน่นของน้ำแข็งในทะเลภูมิภาคอาร์กติกในเดือนมีนาคมและกันยายน ซึ่งปกติเป็นเดือนที่มีพื้นที่น้ำแข็งในทะเลมากและน้อยสุดตามลำดับ**



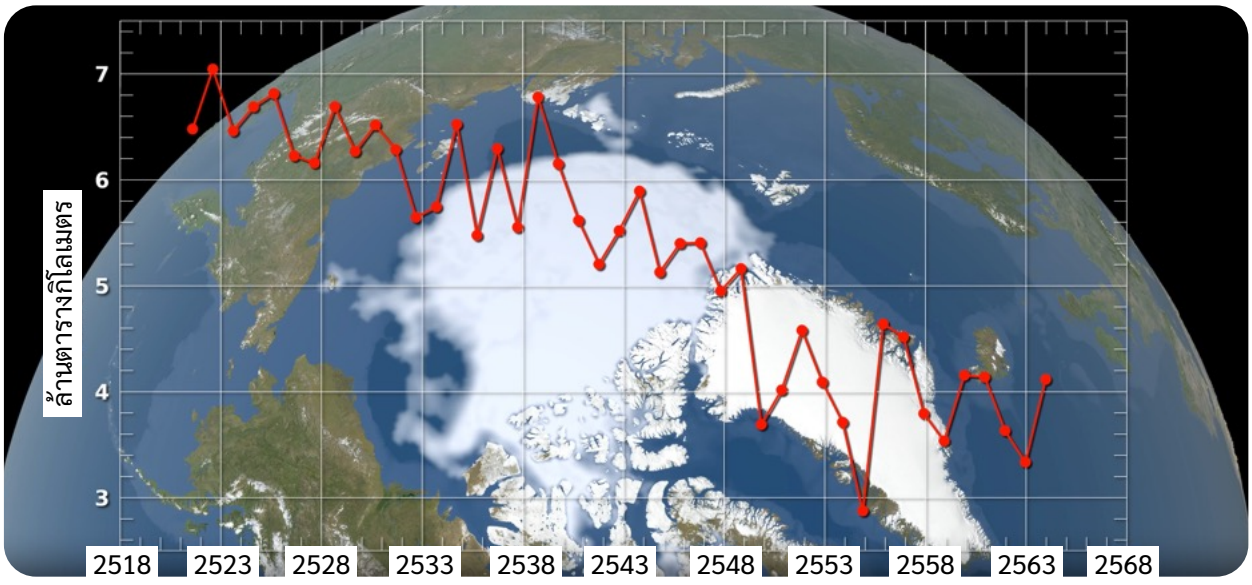
ขนาดพื้นที่น้ำแข็งมักจะวัดจากขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดในแต่ละปี โดยปกติแล้วคือช่วงปลายเดือนมีนาคมและกันยายน การลดขนาดเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2555 นับเป็นสถิติ กล่าวคือ พื้นที่น้ำแข็งในทะเลลดเหลือเพียง 3.41 ล้านตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 2.8.2 และ 2.8.3)

แน่นอนว่าในฤดูหนาวน้ำแข็งยังคงปกคลุมอาร์กติกทั้งหมดอยู่ ถึงแม้อุณหภูมิจะสูงขึ้นกว่าเดิมอย่างมากถึง 15-20 องศาเซลเซียสแต่ก็ไม่ทำให้อุณหภูมิช่วงฤดูหนาวบริเวณขั้วโลกสูงกว่าศูนย์องศาได้ แต่จะทำให้น้ำแข็งบางลงมาก ผลกระทบนี้มองเห็นชัดเจนแล้ว

นักวิทยาศาสตร์ตั้งข้อสังเกตว่าการลดขนาดพื้นที่และความหนาของน้ำแข็งในทะเลอาจเปิดโอกาสใหม่ให้ได้ใช้เส้นทางเดินทะเลทางตอนเหนือในการขนส่งสินค้าระหว่างยุโรปและเอเชียมากขึ้น ในทางกลับกันการขนส่งผ่านทะเลในมหาสมุทรอาร์กติกนั้นสั้นกว่าเส้นทางเดิมที่ผ่านคลองสุเอซมาก ช่วยลดต้นทุนการขนส่งได้มาก

โอกาสดีที่สุดที่เรือจะแล่นผ่านเส้นทางทะเลเหนือคือเดือนกันยายนช่วงที่พื้นที่น้ำแข็งมีขนาดเล็กที่สุด ถึงแม้น้ำแข็งจะปกคลุมพื้นที่น้อยที่สุด (ภาพที่ 2.8.2) แต่ก็ไม่รับประกันว่าช่องแคบทั้งหมดจะเปิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องแคบวิลคิตสกี้ระหว่างไทมีร์และเซเวอร์นายาเซมลยา คอขวดของเส้นทางเดินเรือทะเลเหนือทั้งหมด ช่องแคบนี้ยังคงมีน้ำแข็งปกคลุมอยู่แม้แต่ในปี พ.ศ. 2550 ในทางกลับกันมีบางครั้งที่น้ำแข็งปกคลุมโดยรวมมีมากกว่านั้นมากแต่เรือก็ยังผ่านช่องแคบได้ โดยสรุปแล้วในขณะนี้ยังเร็วเกินไปที่จะพูดได้อย่างมั่นใจว่าจะสามารถเดินเรือตามแนวชายฝั่งอาร์กติกของรัสเซียโดยไม่มีน้ำแข็ง แบบจำลองสภาพภูมิอากาศบ่งชี้ว่าอาร์กติกจะไม่มีน้ำแข็งเลยในช่วงฤดูร้อนนับตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2593

ภาพที่ 2.8.3 **ขนาดพื้นที่น้ำแข็งในทะเลอาร์กติก (ที่เล็กที่สุดในแต่ละปี) ระหว่างปี พ.ศ. 2521 ถึง 2565**



สิ่งสำคัญที่ควรตระหนักคือ การละลายของน้ำแข็งในเขตอาร์กติกนำไปสู่การก่อตัวของภูเขาน้ำแข็ง ซึ่งเป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อเรือเดินสมุทรและแท่นขุดเจาะน้ำมันที่ตั้งอยู่บนไหล่ทวีปกลางทะเลเปิด ในอนาคต บริษัทเดินเรือและบริษัทน้ำมันจะต้องมีมาตรการป้องกันเชิงรุกเพื่อหลีกเลี่ยงการชนและอุบัติเหตุจากภูเขาน้ำแข็ง

ภัยคุกคามสัตว์ในเขตอาร์กติก

การละลายของน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกส่งผลกระทบอย่างมากต่อสัตว์ทะเล รวมทั้ง ‘ราชา’ แห่งอาร์กติกอย่างหมีขั้วโลก หมีขั้วโลกไม่ต้องการน้ำแข็งแต่เหยื่อหลักคือแมวน้ำมักพบอยู่ตามขอบน้ำแข็ง

เนื่องจากภาวะโลกร้อนขอบน้ำแข็งจึงถอยร่นขึ้นไปทางเหนือเร็วมากในช่วงฤดูใบไม้ผลิของอาร์กติก เร็วมากจนหมีขั้วโลกไม่ทันตอบสนองและถูกตัดขาดจากแมวน้ำโดยผืนน้ำที่ไม่มีน้ำแข็งขนาดกว้างใหญ่ (ภาพที่ 2.8.4) หมีขั้วโลกว่ายน้ำได้หลายสิบกิโลเมตรแต่ก็ไม่ถึงร้อยกิโลเมตร และความสามารถในการว่ายน้ำของลูกหมีก็จำกัดมากส่งผลให้หมีจำนวนมากต้องติดค้างอยู่ชายฝั่ง หมีขั้วโลกหิวโหยและอาจบุกเข้าไปตามหมู่บ้านเพื่อหาอาหารในกองขยะซึ่งอาจเป็นอันตรายมากกับทั้งสัตว์และมนุษย์ มีวิธีแก้ไขปัญหานี้อยู่สองสามวิธี

ภาพที่ 2.8.4

เจ้าหมีตัวนี้ที่ติดอยู่ลำพังบนชายฝั่ง ห่างจากขอบแผ่นน้ำแข็งกว่า 100 กิโลเมตร ดูจะไม่พอใจอย่างยิ่งกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



วิธีแรกผู้คนควรมีวิธีการป้องกันหมี เช่น มีปืนที่ยิงกระสุนยางได้ เป็นต้น วิธีที่สองหมู่บ้านควรจัดเก็บเศษอาหารเก่าไว้ให้ห่างจากหมู่บ้านอย่างน้อย 1-2 กิโลเมตร เพื่อให้หมีสามารถไปได้โดยไม่เดือดร้อนผู้คน วิธีที่สามผู้ชายที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นพิเศษ มีอาวุธและมีอุปกรณ์ (อย่างวิทยุและโทรศัพท์ดาวเทียม) ควรทำหน้าที่เฝ้าระวังหมีเพื่อป้องกันหมีจู่โจมและลักลอบเข้ามาล่าสัตว์

แม้ว่าจะอดกินอาหารโปรดอย่างแมวน้ำแต่หมีขาวก็หาอาหารกินได้เพียงพอตามชายฝั่งทะเล (ซากนก ไข่และสัตว์เล็ก) นอกจากนั้นหมีขาวยังล่าวอลรัสได้ถึงจะไม่ล่าวอลรัสโตเต็มวัยก็ตาม ตัวที่อ่อนแอและบาดเจ็บหรือลูกวอลรัสจะเป็นเหยื่อที่ดีกว่า บางครั้งหมีขาวก็บุกเข้าไปในที่อยู่ของวอลรัส สร้างความตื่นตระหนกจนวอลรัสเบียดเสียดกัน วอลรัสที่ยังไม่โตเต็มวัย ก็จะถูกวอลรัสตัวผู้ที่โตเต็มวัยแล้วเหยียบจนกลายเป็นอาหารหมีขาว กลยุทธ์ของหมีขาวนี้จะสำเร็จถ้าวอลรัสไม่ได้สร้างรังบนชายหาดที่ราบเรียบแต่บนเนินเขาหรือหน้าผา เนื่องจากเมื่อตัวใหญ่ตกลงมาก็จะมาทับ ตัวที่เล็กกว่าด้านล่าง

วอลรัสถูกบังคับให้ต้องอยู่ในสถานที่ที่ไม่เหมาะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากขาดน้ำแข็ง นอกจากวอลรัสจะต้องการแผ่นน้ำแข็งลอยน้ำซึ่งใช้พักผ่อนได้ระหว่างการอพยพโดยไม่เสียพลังแล้ว ยังต้องการน้ำแข็งบนชายฝั่งอีกด้วย แต่ก่อนเคยมีน้ำแข็งชายฝั่งหนาทึบจำนวนมาก บางแผ่นก็อยู่บนชายหาดเหมือนเปลือกโลก แต่ปัจจุบันปริมาณน้ำแข็งน้อยลงมาก พายุก็กัดเซาะพื้นที่ที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยของวอลรัสอย่างรวดเร็ว วอลรัสจึงถูกบังคับให้ต้องเลือกสถานที่อื่นซึ่งพวกมันจะถูกคุกคามไม่เพียงแต่จากหมีขาวเท่านั้น แต่ยังรวมถึงมนุษย์ด้วย

หลายครั้งวอลรัสหลายพันตัวปรากฏตัวในสถานที่ใหม่ ๆ (ภาพที่ 2.8.5) รวมถึงบริเวณใกล้สนามบิน เสียงเครื่องบินที่กำลังร่อนลงสร้างความแตกตื่นและหลายสิบตัวต้องเสียชีวิต เพื่อป้องกันไม่ให้เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นอีก ผู้คนที่สนามบินจึงตั้งใจส่งเสียงดังก่อนที่เครื่องบินจะมาถึงเพื่อให้วอลรัสกลับออกสู่ทะเล แต่การแก้ปัญหานี้ต้องอาศัยการเฝ้าติดตามการเคลื่อนที่ของประชากรวอลรัสอย่างระมัดระวังพร้อมจัดเตรียมผู้คนและอุปกรณ์ต่าง ๆ



ภาพที่ 2.8.5 **วอลรัส 35,000 ตัวสร้างสถิติรวมตัวกันบนชายฝั่งใกล้พอยนท์เลย์ รัฐอลาสก้าเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 กำลังมองหาสถานที่ พักผ่อนหลังจากว่ายน้ำเป็นเวลานานในทะเลที่ไม่มีน้ำแข็ง**



ทะเลแบเรนตส์และคาราเป็นถิ่นที่อยู่ของวอลรัสในมหาสมุทรแอตแลนติก ซึ่งถูกระบุไว้ในบัญชีแดง หรือบัญชีแสดงรายชื่อชนิดพันธุ์สัตว์ที่เสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ มีแหล่งเพาะพันธุ์แบบนี้เพียงไม่กี่แห่ง บางแห่งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลในฟรานซ์โจเซฟแลนด์ แต่บางแห่งก็เข้าถึงได้ค่อนข้างสะดวกตามเส้นทางคมนาคมและในบริเวณที่มีแผนจะสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันและก๊าซ เป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องเฝ้าระวังและระบุปัญหาตั้งแต่เนิ่น ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้วอลรัสหายไปในส่วนนี้ของอาร์กติก

การอยู่รอดของแมวน้ำลายฮาร์ปในทะเลขาวเป็นความท้าทายอีกประการหนึ่ง ต่างจากหมีขาวและวอลรัส แมวน้ำอาศัยอยู่บนชายฝั่งไม่ได้เพราะจะตกเป็นเหยื่อของหมาป่า สุนัขและสัตว์นักล่าอื่น ๆ ได้ง่าย ผู้คนที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่งอาร์กติกล่าแมวน้ำลายฮาร์ปกันมานาน ขนสีขาวฟูนุ่มของลูกแมวน้ำได้รับความนิยมเป็นพิเศษ ปัจจุบันห้ามล่าแมวน้ำแล้ว แมวน้ำหลายตัวเสียชีวิตเนื่องจากเรือแล่นผ่านบริเวณที่อาศัยอยู่ กัปตันเรือต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีฝูงแมวน้ำ

แมวน้ำในทะเลขาวเคยถูกล่าเพื่อเอาขนลูกแมวน้ำ เส้นทางเดินเรือที่ผ่านบริเวณที่มีฝูงแมวน้ำก็สร้างปัญหาเช่นกัน ปัจจุบันแมวน้ำต้องเผชิญกับอีกปัญหาหนึ่ง นั่นคือ น้ำแข็งที่ปกคลุมทะเลขาวลดลงเนื่องจากภาวะโลกร้อนทำให้เลี้ยงลูกแมวน้ำได้ยากขึ้น



อีกหนึ่งปัญหาของแมวน้ำเกิดจากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ขนลูกแมวน้ำนั้นอุ่นมากแต่ไม่กันน้ำ ดังนั้นเมื่อตกน้ำหรือแม้แต่ตกแอ่งน้ำที่เกิดขึ้นบนน้ำแข็งขณะที่น้ำแข็งละลายก็อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ แมวน้ำจะตัวแข็ง ไม่สบายและมักจะตาย ในอนาคตหากปริมาณน้ำแข็งลดลงมาก อาจจำเป็นต้องหาเกาะเพื่อให้ลูกแมวน้ำเติบโตได้อย่างปลอดภัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังส่งผลกระทบต่อกวางเรนเดียร์ด้วย น้ำแข็งที่ปกคลุมแม่น้ำไม่เพียงพอทำให้ในช่วงต้นฤดูหนาวคนเลี้ยงสัตว์หาพื้นที่ที่จะพาฝูงสัตว์ไปได้ยากขึ้น กวางเรนเดียร์ว่ายข้ามแม่น้ำหรือเดินบนน้ำแข็งที่แข็งได้ แต่เดินข้ามแม่น้ำที่มีน้ำแข็งอ่อนไม่ได้ น้ำแข็งที่ละลายในแม่น้ำช่วงต้นปีและการละลายของทุ่งทุนดราสร้างอุปสรรคต่อการย้ายที่อยู่ของกวางเรนเดียร์และมักทำให้หลายตัวต้องล้มตาย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่สามารถหยุดยั้งได้โดยง่ายหรือรวดเร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแก้ไขปัญหาเหล่านี้โดยกำจัดอุปสรรคอื่น ๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ต้องให้แน่ใจว่าท่อส่งก๊าซจะไม่ขัดขวางการอพยพของกวางเรนเดียร์เป็นต้น ปัจจุบันท่อส่งก๊าซในเขตดินเยือกแข็งวางอยู่เหนือพื้นดินโดยมีโครงสร้างพิเศษรองรับ กวางคลานใต้ท่อหรือกระโดดข้ามท่อไปไม่ได้ ต้องมีโครงสร้างด้านบนพิเศษเพื่อให้กวางเดินลอดผ่านท่อไปได้

การละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัว

ผู้คนอาศัยอยู่ในเขตชั้นดินเยือกแข็งของอาร์กติกมาหลายพันปี แต่พวกเขาเป็นชนพื้นเมือง (ชุกชี เนเนตส์ ยาคุต อีเวนค์ อลูต ยูปิกและอินูอิต) ที่ไม่ได้ปลูกสร้างบ้าน การดำรงอยู่ของพวกเขาไม่ได้สร้างความเสียหายให้กับพื้นดินที่แข็งตัวในเขตชั้นดินเยือกแข็งของอาร์กติก เมื่อชาวรัสเซียมาถึงอาร์กติกเป็นครั้งแรกพวกเขาประหลาดใจมากเมื่อพบว่าพื้นดินเป็นน้ำแข็งลึกลงไปหลายเมตรและมีเพียงชั้นบนสุดเท่านั้นที่น้ำแข็งจะละลายในฤดูร้อน ผู้นำของอาณานิคมเขียนบันทึกว่าพื้นดินแข็งตัวทำให้ไม่สามารถปลูกข้าวสาลีได้ ที่เมืองยาคุตสค์ของรัสเซียมีการขุดบ่อน้ำเพื่อค้นหาว่าดินที่เป็นน้ำแข็งลึกลงไปแค่ไหน เมื่อปี พ.ศ. 2229 มีการขุดบ่อน้ำลึก 30 เมตรแต่ก็ไม่ถึงก้นของชั้นดินเยือกแข็ง ประมาณ 150 ปีต่อมาเริ่มขุดบ่อน้ำอีกครั้ง ขุดไปจนถึงความลึก 116 เมตรแต่พื้นดินที่ความลึกระดับนี้ก็ยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่

ภาพที่ 2.8.6 การละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัว เมืองสฟาลบาร์ (Svalbard) นอร์เวย์

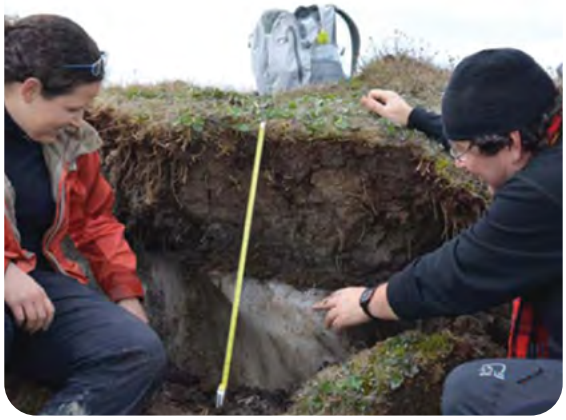


ธรรมชาติของชั้นดินเยือกแข็งเริ่มเป็นที่เข้าใจเมื่อช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยมีการค้นพบว่าชั้นดินเยือกแข็งบางแห่งมีความลึกถึง 1,500 เมตร แต่ชั้นน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิระหว่าง -2 องศาเซลเซียส ถึง -7 องศาเซลเซียส มักมีความหนาประมาณ 100 เมตร

ในบริเวณที่ไม่มีชั้นดินเยือกแข็งอุณหภูมิใต้พื้นดินจะสูงกว่าศูนย์องศาอยู่ 2-3 องศาเสมอจึงสามารถวางท่อน้ำได้อย่างปลอดภัยและสามารถนำน้ำจากลำธารและแม่น้ำสายเล็ก ๆ ผ่านท่อและอุโมงค์มาได้ตามความจำเป็นของเมืองและชุมชนต่าง ๆ ชั้นบนสุดของชั้นดินเยือกแข็งจะละลายในฤดูร้อนแต่ชั้นน้ำแข็งจะยังคงอยู่ตั้งแต่ความลึก 10 เซนติเมตร ทางตอนเหนือไปจนถึง 1 เมตรที่ทางตอนใต้ของเขตชั้นดินเยือกแข็ง

ภาพที่ 2.8.7

หน้าตัดแนวดิ่งของชั้นดินเยือกแข็งที่ประกอบด้วยชั้นน้ำแข็ง



การก่อสร้างบนชั้นดินเยือกแข็งเป็นเรื่องยากเนื่องจากไม่สามารถขุดลงไปได้ ต้องใช้แรงงานมากในการทุบหรือหลอมชั้นดินเยือกแข็ง สามารถเจาะ เลื่อยหรือระเบิดชั้นดินเยือกแข็งได้แต่ค่าใช้จ่ายสูงมากและต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ ชั้นดินเยือกแข็งประกอบด้วยน้ำแข็งจำนวนมาก บางครั้งเป็นชั้น ๆ (ภาพที่ 2.8.7)

ดังนั้นเมื่อชั้นดินเยือกแข็งละลายในช่วงฤดูร้อนก็จะเกิดเป็นชั้น “กึ่งเหลว” ที่อ่อนมาก ไม่สามารถรองรับอาคาร เสาค้ำสะพานหรือสายไฟฟ้าได้ โครงสร้างดังกล่าวจะต้องวางอยู่บนเสาเข็มซึ่งอยู่ลึกลงไปในพื้นดินที่เป็นน้ำแข็งถึงระดับที่น้ำแข็งไม่ละลาย

ปัญหาเพิ่มเติมเกิดจากการละลายของน้ำแข็งในช่วงฤดูร้อนที่ไม่สม่ำเสมออย่างมาก พื้นผิวดินไม่เรียบและลักษณะของพื้นดินทางซ้ายหรือขวาเพียงไม่กี่เมตรอาจเปลี่ยนแปลงไป เป็นไปได้ที่น้ำจะสะสมมากขึ้นในบริเวณหนึ่งในช่วงฤดูร้อนและไม่สามารถไหลลงไปใต้ดินได้เนื่องจากชั้นดินเยือกแข็ง เมื่อถึงฤดูหนาวน้ำที่ขังอยู่จะแข็งเป็นผลึกน้ำแข็ง (เลนส์) และชั้นน้ำแข็ง น้ำแข็งกินพื้นที่มากกว่าน้ำดังนั้นพื้นดินจึงบวมขึ้น เกิดเป็นเนินและความไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจทำลายอาคารและถนนได้ (ภาพที่ 2.8.8, 2.8.9)

ภาพที่ 2.8.8

รางรถไฟบางส่วนที่ได้รับความเสียหายจากผลกระทบของชั้นดินเยือกแข็ง



ภาพที่ 2.8.9

อาคารที่พังเสียหายจากการโป่งตัวและการทรุดตัวไม่สม่ำเสมอบนชั้นดินเยือกแข็ง



เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงและอุณหภูมิสูงขึ้นชั้นดินเยือกแข็งจะละลายในระดับที่ลึกลงไปอีกในช่วงฤดูร้อน เสาเข็มที่ตอกไว้ก่อนนี้อาจไม่ลึกพอ จนเริ่ม “ลอย” ทำให้โครงสร้างอาคารโก่งงอและพังลง

ปัญหาทั้งหมดไม่ได้มีเพียงเท่านี้ เมื่อสภาวะโลกร้อนรุนแรงขึ้น ในปีที่อากาศอุ่นเป็นพิเศษชั้นดินเยือกแข็งจะละลายที่ระดับลึกกว่าปกติ น้ำที่ขังอยู่จะไหลออกมา เกิดโพรงใต้ดิน ดินทรุดตัว เสาค้ำสะพาน สายไฟฟ้าหรือแม้แต่อาคารขนาดเล็กก็อาจทรุดพังลง ผลกระทบนี้เรียกว่า เทอร์โมคาร์สต์ (thermokarst) หรือลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการละลายของชั้นดินเยือกแข็งถาวร ซึ่งอันตรายมาก ผลกระทบวงกว้างอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนนี้ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ในอดีตในขั้นตอนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในภูมิภาคอาร์กติก (ภาพที่ 2.8.10, 2.8.11)

การรั่วไหลของน้ำลงสู่พื้นดินอันเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์ทำให้ความเสี่ยงเพิ่มขึ้น การที่ชั้นดินเยือกแข็งเสื่อมสภาพลงอีกเนื่องจากภาวะโลกร้อนอาจนำไปสู่ปัญหาเทอร์โมคาร์สต์รุนแรงที่เกี่ยวข้องกับการรั่วของท่อน้ำและท่อระบายน้ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายมากนักเมื่อชั้นดินเยือกแข็งก่อตัวขึ้นแล้ว กฎเกณฑ์ที่ต้องปฏิบัติตาม ได้แก่ การกำจัดหิมะออกจากหลังคาและบริเวณโดยรอบอาคารก่อนที่หิมะจะละลาย เนื่องจากไม่ควรปล่อยให้น้ำซึมเข้าไปใต้ตัวอาคาร

แนวทางในการรับมือคืออะไร การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่สามารถหยุดยั้งได้ในระยะเวลาอันสั้น และผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้รุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการทำให้ดินเป็นน้ำแข็งโดยตรงและในการออกแบบอาคารที่มีราคาแพงขึ้นซึ่งสามารถรับมือสภาพการณ์ใหม่ ๆ ได้

ภาพที่ 2.8.10

อาคารถล่มในหมู่บ้านเชอร์สกี้ (Chersky) รัสเซีย



ภาพที่ 2.8.11

มุมอาคารที่พังถล่มในเมืองยาคุตสค์ (Yakutsk) รัสเซีย

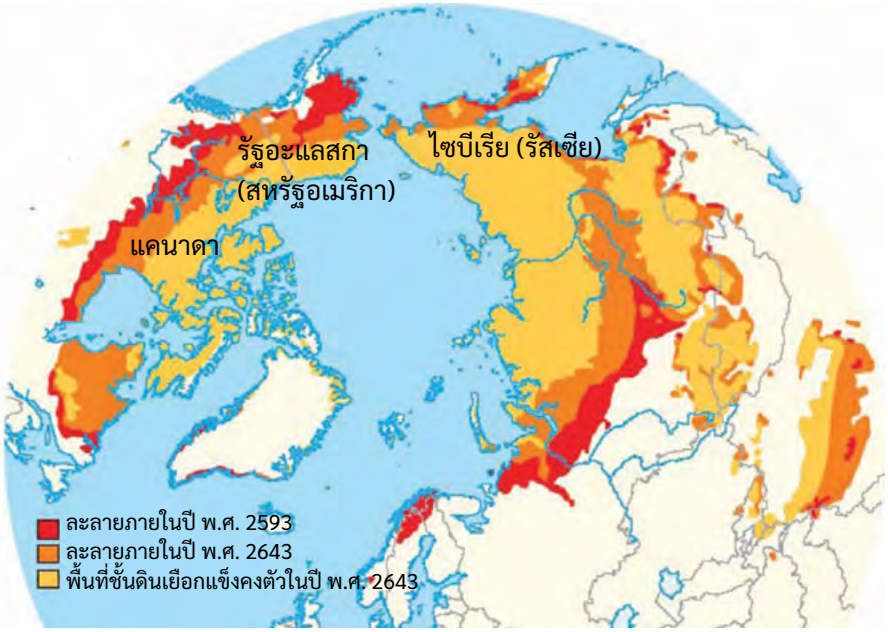


อุปกรณ์ง่าย ๆ ช่วยรักษาสภาพชั้นดินเยือกแข็งในอาร์กติกได้ บางครั้งท่อระบายอากาศใต้ดินก็เพียงพอ อากาศหนาวจัดจากพื้นผิวช่วยทำให้พื้นดินเป็นน้ำแข็ง อุณหภูมิต่ำมากจนไม่ทันละลายในฤดูร้อน วิธีนี้เหมาะกับการสร้างถนนบนคันดินยกสูงเป็นพิเศษ คันดินสามารถรักษาสภาพให้แข็งอยู่ได้ด้วยการวางท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตร ห่างกัน 50 เซนติเมตร จากคันดินด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

พื้นดินสามารถแช่แข็งได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เทอร์โมไซฟอน (thermosiphons) ซึ่งเป็นท่อแนวตั้งที่ปิดผนึกทั้งสองด้าน โดยส่วนล่างฝังอยู่ในพื้นดิน และส่วนบนยื่นขึ้นมาเหนือพื้นดินประมาณสองถึงสามเมตร (ภาพที่ 2.8.13) เติมสารหล่อเย็นอย่าง แอมโมเนียหรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลวลงไปบางส่วน เทอร์โมไซฟอนทำให้พื้นดินเป็นน้ำแข็งในฤดูหนาวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นดินที่ค่อนข้างอุ่น (-2 ถึง -3 องศาเซลเซียส) กับอากาศ (หนาวกว่านี้ 20-40 องศาเซลเซียส) สารทำความเย็นเหลวตรงด้านล่างของท่อจะระเหยเนื่องจากอุณหภูมิดินที่สูงกว่า ทำให้ดินเย็นลง จากนั้นไอของสารทำความเย็นจะลอยขึ้นและควบแน่นในบรรยากาศเย็นเหนือพื้นดินแล้วไหลกลับลงมา กระบวนการนี้จะเกิดซ้ำอีกครั้ง

เทอร์โมไซฟอนส่งความเย็นลงไปใต้ดิน ทำให้อุณหภูมิของดินลดลงมากกว่าปกติเล็กน้อย เพียงพอที่จะทำให้ชั้นดินเยือกแข็งไม่ละลายในฤดูร้อน เทอร์โมไซฟอนไม่ทำงานในฤดูร้อนเนื่องจากอากาศอุ่นกว่าพื้นดินและสารทำความเย็นภายในท่อจะไม่หมุนเวียน ในฤดูร้อนท่อโลหะจะนำความร้อนลงสู่พื้นดินแต่ผลที่ได้อาจจะไม่เท่าในฤดูหนาว นี่คือวิธีการทำให้พื้นดินเป็นน้ำแข็งบริเวณใต้ถนน โครงสร้างท่อส่ง หรือแม้แต่ใต้อาคารขนาดใหญ่ อย่างไรก็ดีควรติดตั้งเทอร์โมไซฟอนห่างกันไม่เกินหนึ่งเมตร (ภาพที่ 2.8.13)

ภาพที่ 2.8.12 **ชั้นดินเยือกแข็งในอนาคตจะละลายทั่วอาร์กติก พื้นที่สีแดงจะละลายภายในปี พ.ศ. 2593 พื้นที่สีส้มจะละลายภายในปี พ.ศ. 2643 และพื้นที่สีเหลืองจะยังคงเป็นน้ำแข็งในปี พ.ศ. 2643**



การคิดว่าเทอร์โมไซฟอนเป็นวิธีง่าย ๆ ในการแก้ปัญหาการละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัวนั้นไม่ถูกต้อง เทอร์โมไซฟอนต้องเปลี่ยนบ่อย ถึงจะใช้ง่ายแต่ราคาแพง มีการประเมินว่าการทำให้พื้นดินใต้ฐานท่อส่งก๊าซในรัสเซียเป็นน้ำแข็งถาวรนั้นต้องใช้เงินไปถึง 10,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ!

เทอร์โมไซฟอนยังคงเป็นเพียงมาตรการชั่วคราวเนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิของพื้นดินได้ไม่กี่องศาและไม่สามารถรับมือกับภาวะโลกร้อนที่รุนแรงกว่านี้ได้ ถนนต้องรองรับด้วยโครงสร้างพิเศษที่ฝังลึกลงไปในดิน เหมือนการสร้างสะพานลอยบนเสาเข็ม เพิ่มต้นทุนการก่อสร้างขึ้นอีกหลายเท่า (ภาพที่ 2.8.14)

ภาพที่ 2.8.13

ถนนที่ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ช่วยทำให้พื้นดินเป็นน้ำแข็ง



ภาพที่ 2.8.14

ถนนที่อยู่บนฐานรากที่ฝังลึกลงไปในพื้นดิน



ไม่สามารถรับประกันได้ว่าพื้นดินจะเป็นน้ำแข็งตลอด และเทคโนโลยีการทำให้เป็นน้ำแข็งก็ไร้ประโยชน์เมื่อต้องเผชิญกับพายุและการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง หลายกรณีได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะช่วยรักษาอาคารและโครงสร้างพื้นฐานได้ ทางออกเดียวคือต้องย้ายผู้คนไปอยู่ที่อื่น

ก๊าซเรือนกระจกปริมาณมากถูกปล่อยออกมาจากดินในทุ่งทุนดราระหว่างกระบวนการละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัว ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกมากขึ้นและเร่งให้โลกร้อนเร็วขึ้น

ความแปรปรวนของอากาศในแถบอาร์กติก

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าเมื่อต้องประเมินสภาพอากาศ ลมและอุณหภูมิล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ความหนาวเย็นสุดขั้วโดยปราศจากลมนั้นย่อมดีกว่าพายุหิมะรุนแรง ซึ่งทำให้แทบไม่สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้เลย แม้แต่การเดินทางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง การทำงานท่ามกลางพายุหิมะเป็นเรื่องยากลำบากและอันตราย ลมแรงกำลังเกิดขึ้นบ่อยครั้งมากขึ้นในภูมิภาคอาร์กติก ส่งผลให้ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทาง อุปกรณ์ป้องกันร่างกาย และสิ่งของจำเป็นในปริมาณที่มากยิ่งขึ้น เพื่อรับมือกับพายุหิมะที่ยาวนาน

ระดับความชื้นในแถบอาร์กติกเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการละลายและน้ำค้างแข็งสลับกัน ซึ่งหมายความว่าถนน สะพาน และสายไฟฟ้ามักถูกปกคลุมด้วยน้ำแข็ง ทำให้เกิดอุบัติเหตุและความเสียหายบ่อยครั้งขึ้น อาคารและโครงสร้างเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็วมากขึ้นเนื่องจากน้ำและน้ำแข็งกระทบกับรอยแตกร้าวขนาดเล็ก น้ำสามารถแทรกซึมผ่านรอยร้าวที่เล็กที่สุดได้ จากนั้นเมื่อกลายเป็นน้ำแข็งจึงขยายตัว ส่งผลให้รอยแตกร้าวใหญ่ขึ้นด้วย เมื่อน้ำแข็งละลาย ก็จะมีน้ำไหลเข้ามามากขึ้น เมื่อน้ำใหม่แข็งตัว รอยแตกร้าวก็ยิ่งขยายตัวมากขึ้น ยิ่งเกิดวงจรนี้ซ้ำบ่อยขึ้น อาคารก็จะเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

พื้นที่ต่ำ เช่น คาบสมุทรยามาล กำลังได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมในฤดูใบไม้ผลิที่รุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งทำให้พื้นที่ขนาดใหญ่จมอยู่ใต้น้ำลึกลงไปหนึ่งเมตรหรือมากกว่านั้น ปัจจุบัน ยามาลมีปริมาณหิมะตกมากขึ้น และหิมะจำนวนมากเหล่านี้ก็ละลายเร็วยิ่งขึ้นในฤดูใบไม้ผลิของอาร์กติก ปัญหาอีกประการหนึ่งในยามาลคือ น้ำทะเลซึมเข้าสู่น้ำใต้ดิน นำไปสู่การกัดเซาะอย่างรวดเร็วของชั้นใต้ดินในอาคารทุกประเภท

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อกลุ่มชนพื้นเมืองทางตอนเหนืออย่างไร

ชนพื้นเมืองในแถบอาร์กติกกำลังประสบความเดือดร้อนจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากวิถีชีวิตและการดำรงชีพตามแบบดั้งเดิมของพวกเขาขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศโดยตรง การล่าสัตว์ การตกปลา การเก็บเกี่ยวจากธรรมชาติ และการเลี้ยงกวางเรนเดียร์เป็นแหล่งอาหาร แหล่งรายได้หลัก และมีบทบาทสำคัญในการสืบสานขนบธรรมเนียมวัฒนธรรมของชนพื้นเมืองและดินแดนที่พวกเขาอาศัยอยู่

ภาพที่ 2.8.15 วิถีชีวิตของชนพื้นเมืองในแถบอาร์กติก





การเลี้ยงกวางเรนเดียร์เป็นส่วนสำคัญของการดำรงชีวิตและวิถีชีวิตของชนพื้นเมืองในแถบเหนือสุด ความถี่ของการละลายของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้พื้นดินมักถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็ง ซึ่งทำให้กวางเรนเดียร์หากินไลเคนได้ยาก การละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัว การเปลี่ยนแปลงของสภาพหิมะ และการละลายของน้ำแข็งในแม่น้ำที่เกิดขึ้นรวดเร็วขึ้นและแข็งตัวในภายหลัง ส่งผลกระทบต่อเส้นทางการอพยพของกวางเรนเดียร์ระหว่างทุ่งหญ้าในฤดูหนาวและฤดูร้อน การเปลี่ยนแปลงเส้นทางการอพยพของกวางเรนเดียร์และการลดลงของประชากรสัตว์ทะเลทำให้ผู้คนต้องแสวงหาแหล่งอาหารและรายได้ใหม่เนื่องจากการล่าสัตว์เป็นส่วนหนึ่งของวิถีชีวิตของผู้คนในแถบเหนือสุด

จะสามารถทำอะไรได้บ้างเพื่อช่วยให้ชนพื้นเมืองในอาร์กติกปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

1.ดำเนินการรณรงค์ให้ข้อมูลกับประชากรในพื้นที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ชุมชนสามารถเตรียมพร้อมรับมือกับความท้าทายต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

2. พัฒนาแนวทางการท่องเที่ยวเชิงนิเวศในพื้นที่เหล่านี้

3. เพิ่มการเข้าถึงบริการด้านสาธารณสุขในเขตตอนเหนือสุด พร้อมทั้งจัดให้มีระบบจ่ายความร้อนและไฟฟ้าอย่างเพียงพอ

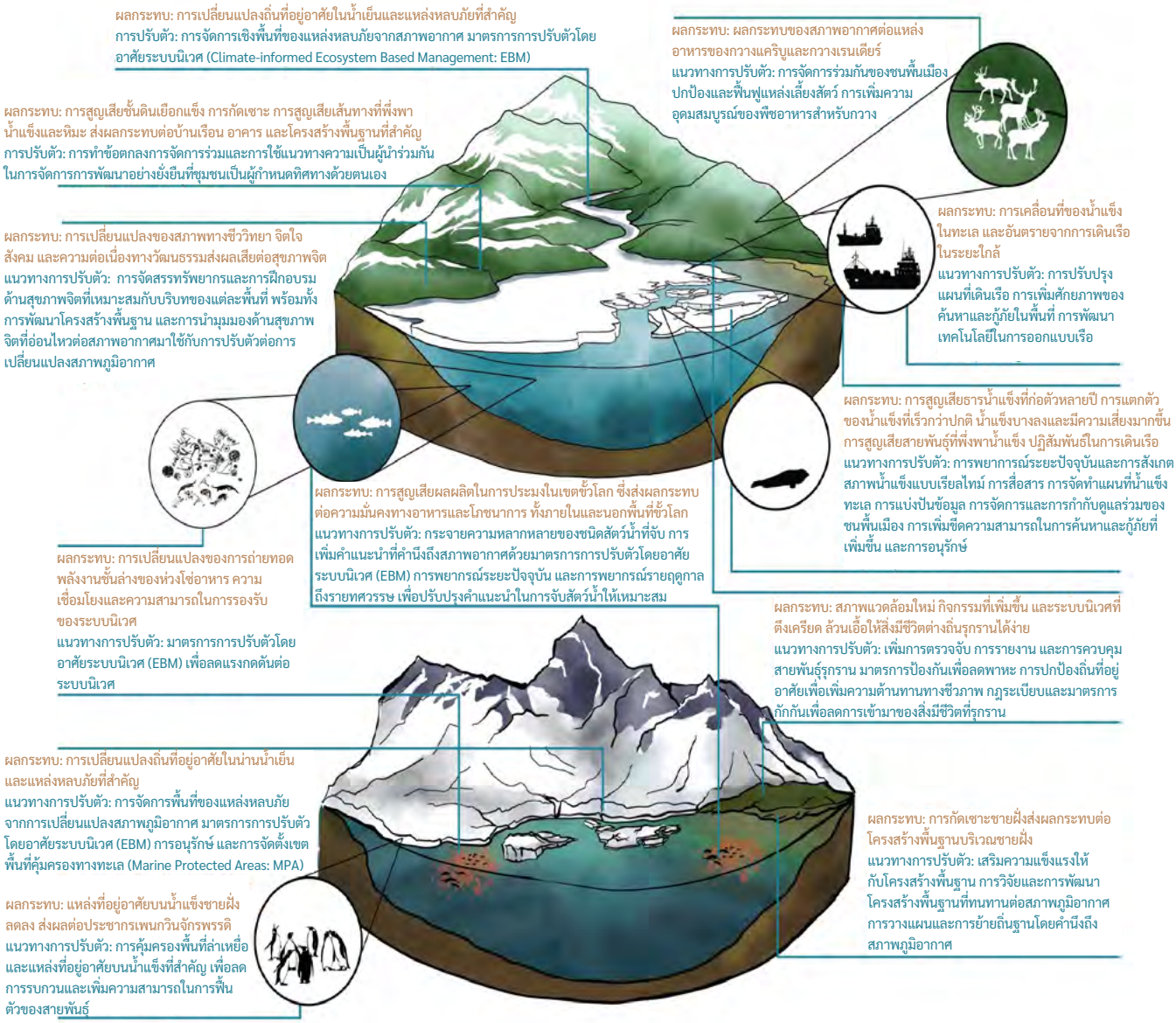
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่ออาร์กติกและแอนตาร์กติกาแตกต่างกันอย่างไร และแต่ละภูมิภาคมีศักยภาพในการปรับตัวต่อสถานการณ์เหล่านี้มากน้อยเพียงใด

ทราบกันแล้วถึงปรากฏการณ์ขั้วโลกขยาย (polar amplification) ซึ่งหมายความว่าขั้วโลกของโลกกำลังอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก นอกจากนี้ยังทราบกันแล้วว่าอาร์กติกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกือบสี่เท่าของค่าเฉลี่ยทั่วโลกในช่วงสี่ทศวรรษที่ผ่านมา และแอนตาร์กติกาก็กำลังอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกถึงสองเท่า นักวิทยาศาสตร์ได้เปรียบเทียบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและทางเลือกในการปรับตัวในอาร์กติกและแอนตาร์กติกา ซึ่งพบว่ามีทั้งความคล้ายคลึงและความแตกต่าง เช่น ลักษณะถิ่นที่อยู่อาศัยที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 2.8.16)





ภาพที่ 2.8.16 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และศักยภาพในการปรับตัว ในแถบอาร์กติกและแอนตาร์กติกา



แล้วผลดีของสภาพอากาศที่อบอุ่นขึ้นล่ะ

เป็นความจริงที่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอาร์กติกสร้างโอกาสบางอย่างได้ เช่น ค่าใช้จ่ายด้านการทำความร้อนลดลง น้ำแข็งที่ละลายในมหาสมุทรอาร์กติกทำให้สามารถใช้เส้นทางเดินเรือระหว่างยุโรปกับญี่ปุ่นและจีนได้ โครงสร้างพื้นฐานสำหรับการเดินเรือจำเป็นต้องพัฒนาไปตามเส้นทางทะเลเหนือ ซึ่งรวมถึงการติดตั้งสัญญาณนำทาง อุปกรณ์กู้ภัยในกรณีฉุกเฉิน และท่าเรือ เพื่อให้เรือสามารถแล่นฝ่าพายุหรือหลบภัยในกรณีที่มีน้ำแข็งปรากฏขึ้นอย่างฉับพลัน

แต่สภาพอากาศในอาร์กติกที่ไม่แน่นอนมากขึ้นเรื่อย ๆ และภาวะโลกร้อนก็จะทำให้เกิดพายุหิมะบ่อยขึ้น รวมถึงความผันผวนของอุณหภูมิที่รุนแรงและฉับพลันมากขึ้น

แม้ฤดูที่ต้องใช้ความร้อนอาจสั้นลง แต่สภาพอากาศที่คาดเดาไม่ได้มากขึ้นหมายความว่าจะต้องเรียนรู้ที่จะปรับระดับความร้อนตามอุณหภูมิจริงนอกหน้าต่าง ไม่ใช่ตามวันที่ในปฏิทิน นั่นหมายถึงการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิกับหม้อน้ำเพื่อให้ผู้อยู่อาศัยสามารถปรับอุณหภูมิในบ้านได้ตามต้องการ บริการด้านที่อยู่อาศัยของรัสเซียยังไม่พร้อมสำหรับมาตรการดังกล่าว เนื่องจากต้องใช้แรงงานและอุปกรณ์เพิ่มเติม



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลกระทบเชิงลบมากกว่าเชิงบวกในทุกภูมิภาคของอาร์กติก นักอุตุนิยมวิทยาและนักเศรษฐศาสตร์ต่างสรุปว่า การปรับตัวต่อการละลายของชั้นดินเยือกแข็ง การกัดเซาะชายฝั่ง และผลกระทบเชิงลบอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นเป็นไปได้ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้น การหาวิธีลดภาวะโลกร้อนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

คำถาม

1 ที่ใดที่อุณหภูมิกำลังเพิ่มสูงขึ้นเร็วกว่า: ทั่วทั้งโลก หรือในเขตอาร์กติก

2 เหตุใดอุณหภูมิของอากาศจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทุ่งน้ำแข็งในแถบอาร์กติกแตกในฤดูใบไม้ผลิจนเผยให้เห็นน่านน้ำเปิด

3 เหตุใดหมีขั้วโลกจึงได้รับผลกระทบจากการลดลงของแผ่นน้ำแข็ง หมีขั้วโลกจำเป็นต้องพึ่งพาน้ำแข็งหรือไม่

4 ปัจจุบันแมวน้ำในทะเลสีขาวกำลังเผชิญกับภัยคุกคามประเภทใด

5 เหตุใดการละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัวจึงเป็นอันตรายต่ออาคาร มีคำแนะนำอย่างไรบ้างให้อาคารและโครงสร้างพื้นฐานสามารถปรับตัวเข้ากับการละลายของชั้นดินเยือกแข็งคงตัวได้

6 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศส่งผลต่อชีวิตของชนพื้นเมืองในอาร์กติกอย่างไร สามารถทำอะไรได้บ้างเพื่อช่วยให้ชนพื้นเมืองปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป





กิจกรรม

1

การทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลอง: เพื่อสังเกตว่าปริมาตรของน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อแข็งตัว

วัสดุอุปกรณ์: ขวดแก้วที่ปิดสนิท น้ำ

วิธีทดลอง: เติมน้ำใส่ขวดแก้วให้เต็ม ปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปแช่ในช่องแช่แข็ง สังเกตว่ามีอะไรเกิดขึ้นกับขวดเมื่อว่าน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ทำไมถึงเกิดเหตุการณ์นี้ ลองเปรียบเทียบกับกระบวนการที่เกิดจากชั้นดินเยือกแข็ง

2

การทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลอง: เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของสสารเมื่อแข็งตัวและละลาย

วัสดุอุปกรณ์: กล่องพลาสติกหรือกระดาษที่บรรจุครีมเปรี้ยว (ซาวครีม)
หมายเหตุ: ดินที่ผ่านการแช่แข็งและละลายจะไม่เหมือนเดิมหลังการละลายอีกครั้ง ชั้นน้ำแข็งอาจเกิดขึ้นภายในดิน ซึ่งเมื่อละลายจะกลายเป็นน้ำและดินแยกจากกัน ครีมเปรี้ยวมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกันเมื่อถูกแช่แข็งและละลาย

วิธีทดลอง: นำครีมเปรี้ยวที่บรรจุในห่อกระดาษหรือพลาสติกใส่ไว้ในช่องแช่แข็ง เมื่อครีมแข็งตัว จะไม่ได้แข็งเป็นชิ้นเดียว แต่จะเกิดเป็นชั้นน้ำแข็งหลายชั้น เมื่อครีมละลาย ครีมเปรี้ยวจะแยกตัวเป็นของเหลวสีขาวและสารสีขาวที่ข้นกว่า (เมื่อคนส่วนผสมนี้แล้วจะกลับมามีลักษณะเหมือนครีมเปรี้ยวอีกครั้งและรับประทานได้)

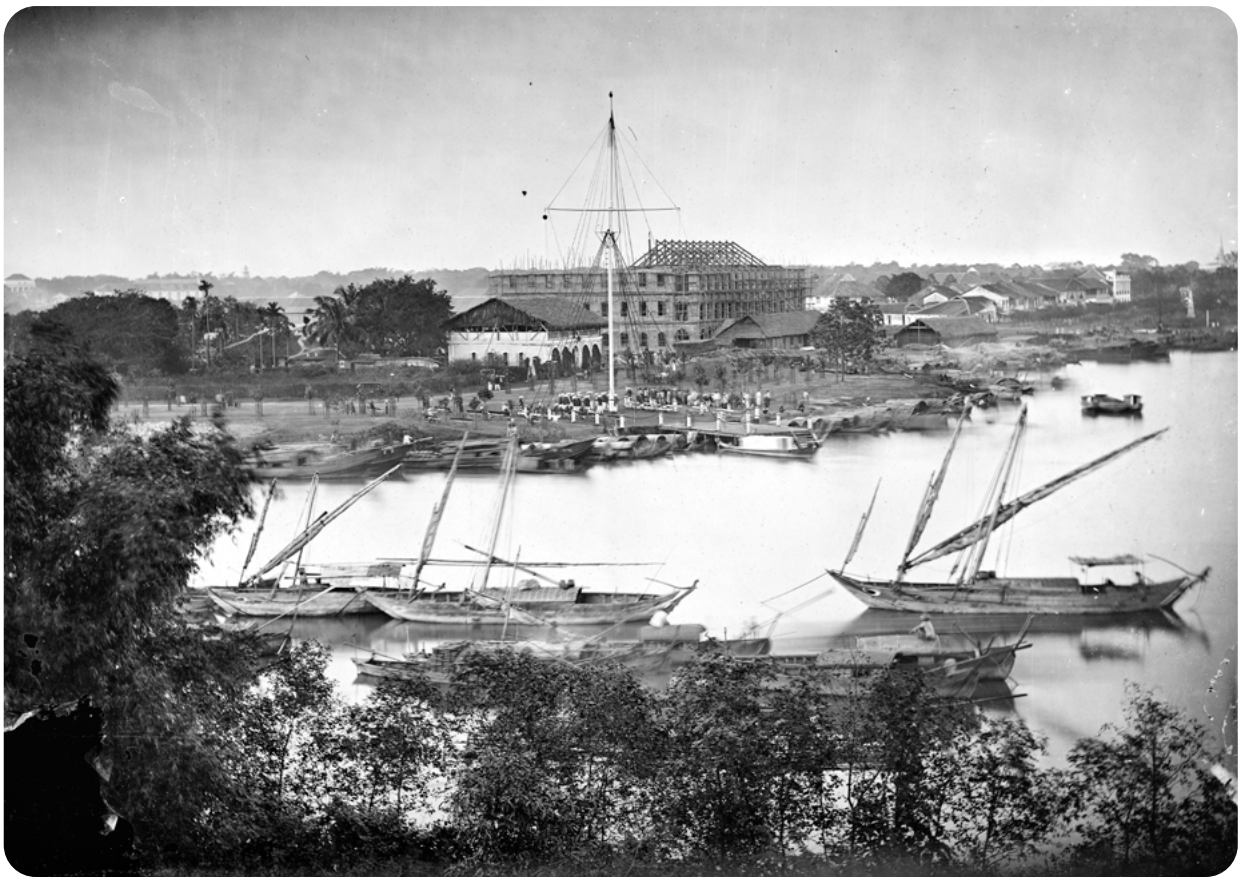
2.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศส่งผลต่อเมืองและสุขภาพของมนุษย์อย่างไร

ประชากรครึ่งหนึ่งของโลกอาศัยอยู่ในเมือง

ตั้งแต่โบราณกาล ประชากรมนุษย์ในทุกประเทศและทุกภูมิภาคของโลกถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ คนเมืองและคนชนบท จากประวัติศาสตร์ เมืองต่าง ๆ มักจะเอื้อต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและงานช่างมากกว่า โรงงานแห่งแรก ๆ ก็ล้วนตั้งอยู่ในเมือง เพราะเป็นสถานที่ที่ปลอดภัยกว่า เนื่องจากมีการป้องกันด้วยกำแพงเมือง ขณะที่ผู้คนที่อาศัยอยู่นอกเมืองหรือหมู่บ้าน มักประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น การเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์เป็นหลัก

ตั้งแต่ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ประชากรจำนวนมากหลั่งไหลเข้ามาในเมืองและเมืองใหญ่ กระบวนการนี้เรียกว่า**การขยายตัวของเมือง**

ภาพที่ 2.9.1 ไซง่อน แคว้นโคชินไชน่า พ.ศ. 2410



การขยายตัวของเมือง
คือกระบวนการที่เมืองและชุมชนเมืองกลายเป็นศูนย์กลางหลักของสังคม สาเหตุของกระบวนการนี้เกิดจากการเติบโตของอุตสาหกรรมในเขตเมือง การพัฒนาหน้าที่ทางวัฒนธรรมและการเมืองของเมือง รวมถึงการแบ่งงานกันทำตามพื้นที่ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

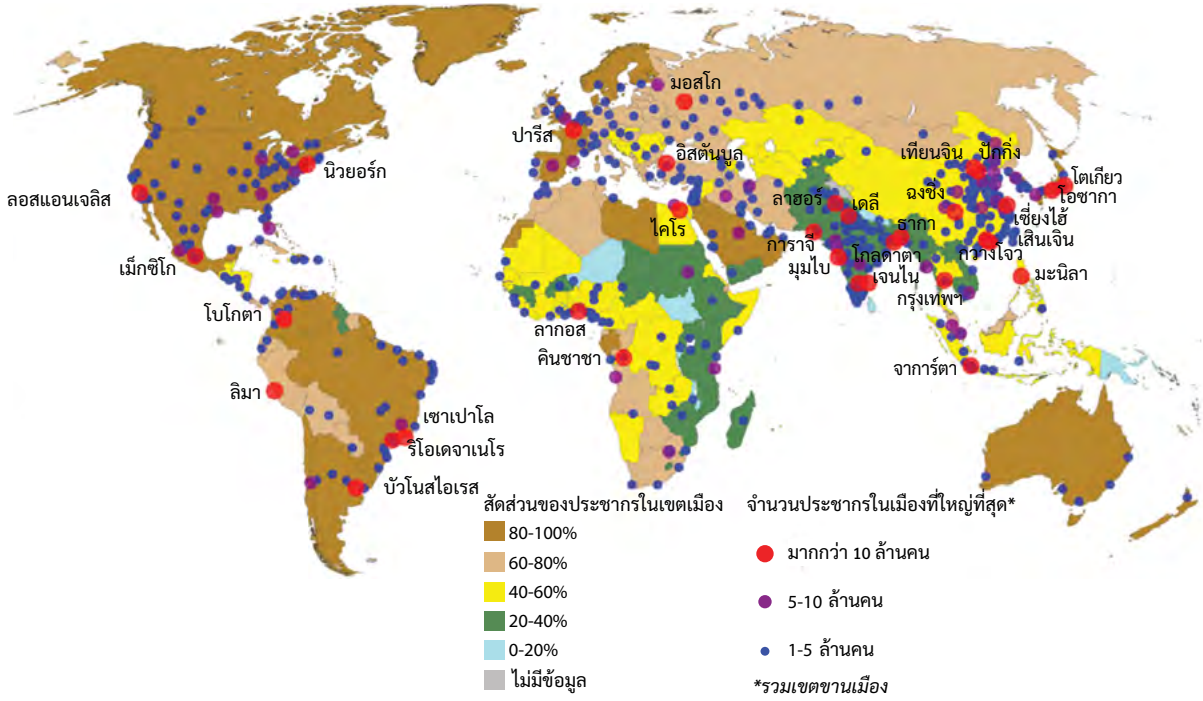


ภายในปี พ.ศ. 2551 เนื่องจากการขยายตัวของเมือง จึงทำให้สัดส่วนของประชากรโลกที่อาศัยอยู่ในเมืองเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 เป็นครั้งแรกและยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลาต่อมา (ภาพที่ 2.9.2) ภายในกลางปี พ.ศ. 2568 ประมาณ 4,600 ล้านคนจากจำนวนประชากรมากกว่า 8,000 ล้านคนทั่วโลกอาศัยอยู่ในเมืองหรือเมืองเล็ก ๆ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 57 ของประชากรโลก ตามข้อมูลขององค์การสหประชาชาติ ประชากรในเมืองจะเพิ่มขึ้นเกือบ 600 ล้านคนภายในปี พ.ศ. 2573 ทำให้มีจำนวนทั้งสิ้น 5,200 ล้านคน (ประมาณร้อยละ 60 ของประชากรโลก)

ปัจจุบันมีเมืองอยู่ 34 เมืองทั่วโลกที่มีประชากรมากกว่า 10 ล้านคน โดย**มหานคร**เหล่านี้ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเอเชีย (21 เมือง) ละตินอเมริกา (6 เมือง) และแอฟริกา (3 เมือง) เมืองที่ใหญ่ที่สุดคือกลุ่มเมืองในเขตมหานครโตเกียว ซึ่งมีประชากรมากกว่า 38 ล้านคน (ดูตารางที่ 2.9.1) รองลงมาคือเดลี (26.5 ล้านคน) และเซี่ยงไฮ้ (24.5 ล้านคน) จากการคำนวณของสหประชาชาติ คาดว่าจำนวนมหานครจะเพิ่มขึ้นเป็น 43 เมืองภายในปี พ.ศ. 2573 โดยเดลีจะกลายเป็นเมืองที่ใหญ่ที่สุดในโลก ด้วยจำนวนประชากรเกือบ 39 ล้านคน

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาสภาพอากาศในเขตเมืองจึงมีความสำคัญสำหรับผู้คนอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของประชากรโลก

ภาพที่ 2.9.2 **สัดส่วนประชากรเมืองต่อประชากรทั้งหมด และเมืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของโลกในปี พ.ศ. 2561**



ตารางที่ 2.9.1 15 เมืองที่ใหญ่ที่สุดในโลก

ลำดับที่	เมือง	ประเทศ	ประชากร (ล้านคน)
1	โตเกียว	ญี่ปุ่น	38.1
2	เดลี	อินเดีย	26.5
3	เซี่ยงไฮ้	จีน	24.5
4	มุมไบ	อินเดีย	21.4
5	เซาเปาโล	บราซิล	21.3
6	ปักกิ่ง	จีน	21.2
7	เม็กซิโกซิตี้	เม็กซิโก	21.2
8	โอซากา	ญี่ปุ่น	20.3
9	ไคโร	อียิปต์	19.1
10	นิวยอร์ก	สหรัฐอเมริกา	18.6
11	ธากา	บังกลาเทศ	18.2
12	การาจี	ปากีสถาน	17.1
13	บัวโนสไอเรส	อาร์เจนตินา	15.3
14	โกลกาตา	อินเดีย	15.0
15	อิสตันบูล	ตุรกี	14.4

ภาพที่ 2.9.3 โตเกียวซึ่งมีประชากรมากกว่า 38 ล้านคน เป็นเมืองที่มีประชากรมากที่สุดในโลก



เพราะเหตุใดจึงเรียกเมืองว่าเป็นเกาะความร้อน

เมืองถือเป็นจุดร้อนทางสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะเฉพาะบนโลกใบนี้ โดยคำว่า “ร้อน” มีความหมายในเชิงกายภาพอย่างแท้จริง มลพิษที่เกิดจากการปล่อยมลสารของโรงงานและรถยนต์จะสะสม ‘แน่นิ่ง’ อยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้พื้นดินเหนือเขตเมือง ก่อให้เกิดผลกระทบแบบเรือนกระจก ส่งผลให้อุณหภูมิในเมืองสูงกว่าบริเวณโดยรอบอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุนี้ นักวิทยาศาสตร์จึงนิยามเมืองว่าเป็น “เกาะความร้อน”

เกาะความร้อน
คือบริเวณใจกลางของเมืองขนาดใหญ่ที่มีอุณหภูมิของอากาศสูงกว่าพื้นที่ชานเมืองหรือบริเวณโดยรอบ ผลของเกาะความร้อนในเขตเมือง (urban heat island effect) จะเห็นได้ชัดเจนที่สุดในช่วงเย็นและเวลากลางคืน โดยเฉพาะในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งอุณหภูมิระหว่างใจกลางเมืองกับพื้นที่โดยรอบอาจแตกต่างกันได้ถึง 10–15 องศาเซลเซียส

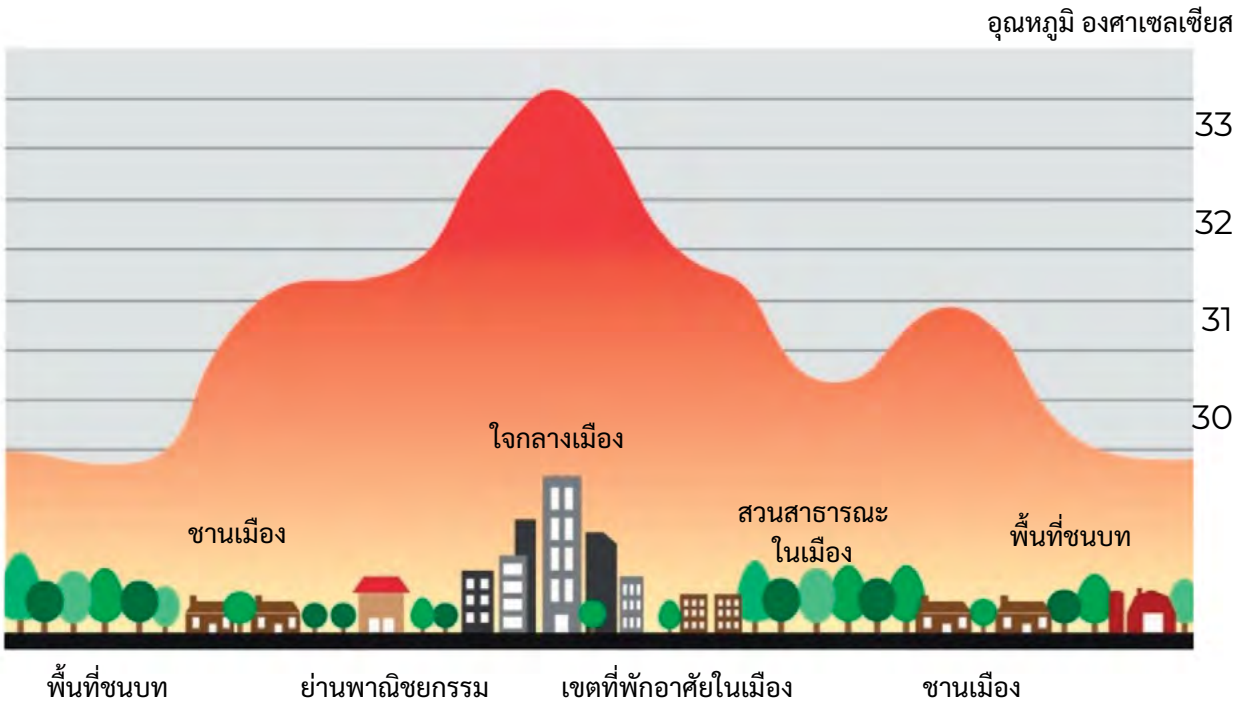
ปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตมหานครทวีความรุนแรงขึ้นจากกระบวนการภาวะโลกร้อน

ทุกคนล้วนมีประสบการณ์ตรงกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตเมือง หากก้าวออกจากอาคารในเมืองในช่วงเย็นของวันที่อากาศร้อนในฤดูร้อน จะพบว่าอุณหภูมิบนท้องถนนยังคงอบอุ่นจนสามารถเดินเล่นด้วยเสื้อผ้าบางเบาได้อย่างสบาย แต่หากอยู่นอกเมือง ในช่วงเวลาเดียวกันจะสัมผัสได้ถึงความเย็นที่อาจต้องสวมเสื้อคลุม แม้จะอยู่ในเดือนที่ร้อนที่สุดของปี เหตุผลคือ อากาศบริเวณพื้นผิวในเขตเมืองเย็นลงช้ากว่า เพราะความร้อนยังคงถูกเก็บไว้โดยผนังและหลังคาของอาคารต่าง ๆ ซึ่งดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน





ภาพที่ 2.9.4 การกระจายของอุณหภูมิอากาศเหนือเมือง (เกาะความร้อนในเขตเมือง)



การศึกษาครั้งแรกเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศในเมือง



การศึกษาครั้งแรกเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศในเมืองดำเนินการโดย ลู้ก ฮาวเวิร์ด (Luke Howard) (พ.ศ. 2315-2407) นักอุตุนิยมวิทยาสมัครเล่นในกรุงลอนดอน ผู้หลงใหลในก้อนเมฆและสภาพอากาศมาตลอดชีวิต

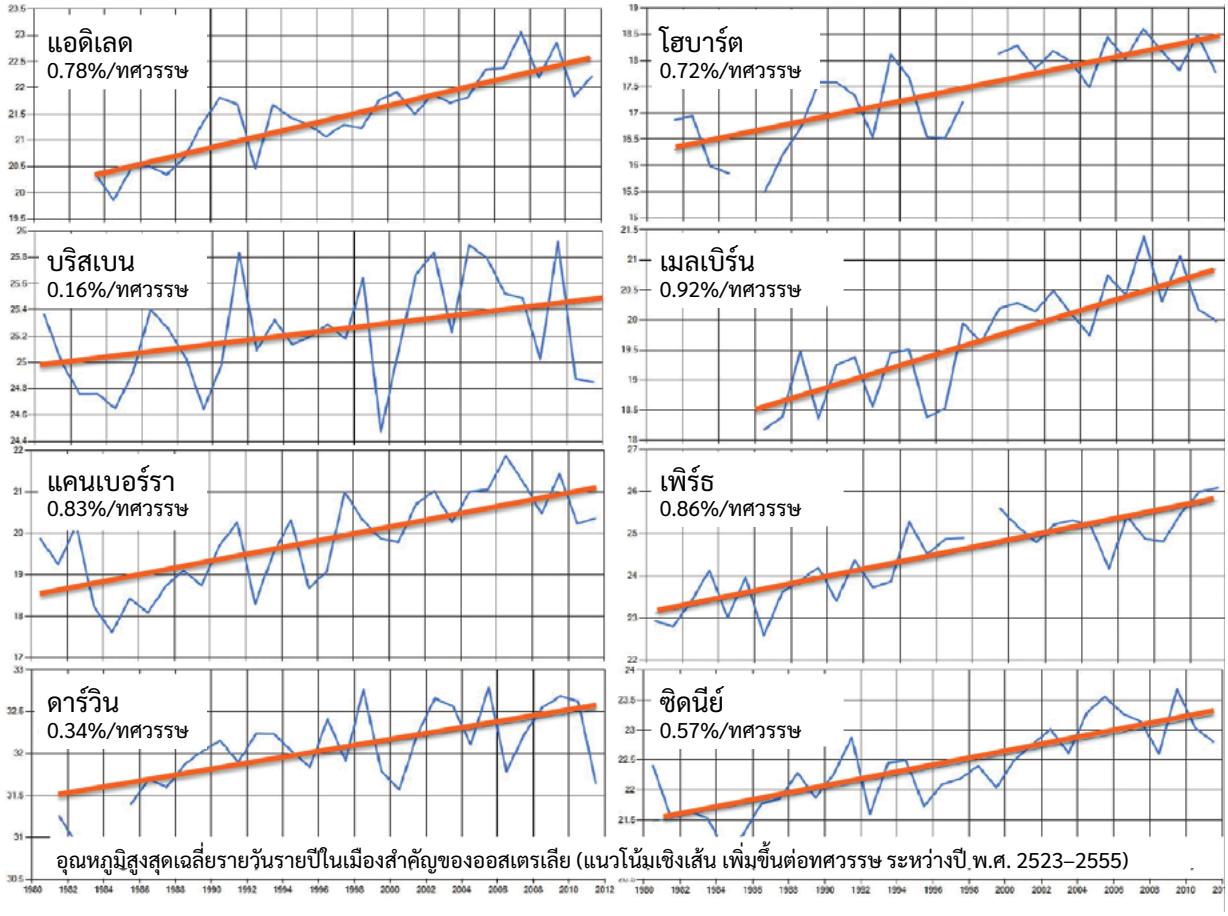
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2349-2374 ฮาวเวิร์ด ได้ทำการวัดความดันบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ปริมาณน้ำฝน และการระเหยในเขตชานเมืองของลอนดอนเป็นประจำทุกวัน ในการสังเกตการณ์ของเขา เขาใช้รายงานในหนังสือพิมพ์เกี่ยวกับเหตุการณ์สภาพอากาศเฉพาะเป็นแหล่งข้อมูลประกอบการสังเกต ฮาวเวิร์ดมิได้ศึกษาสภาพอากาศเฉพาะในลอนดอน แต่ทำการศึกษาสภาพอากาศทั่วไปโดยใช้ลอนดอนเป็นฐานในการสังเกตการณ์ของเขา สิ่งที่ทำให้เขาถูกยกย่องว่าเป็นผู้บุกเบิกด้านภูมิอากาศวิทยาในเมือง คือความพยายามที่จะเปรียบเทียบข้อมูลจากการวัดอุตุนิยมวิทยาของเขาเองกับข้อมูลของราชสมาคม (Royal Society) ณ ที่แห่งหนึ่งในใจกลางกรุงลอนดอน การเปรียบเทียบดังกล่าวเผยให้เห็นสิ่งที่นักวิจัยสมัยใหม่เรียกว่าปรากฏการณ์ “เกาะความร้อนในเมือง”

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสุขภาพของคนเมืองอย่างไร

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสุขภาพ ได้แก่ พฤติกรรมการใช้ชีวิต ความมั่นคงทางอาหาร พันธุกรรม อาชีพ สิ่งแวดล้อม และการเข้าถึงบริการสาธารณสุข และในปัจจุบันเริ่มเห็นชัดเจนมากขึ้นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเห็นได้ชัดเป็นพิเศษในเขตเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา อุณหภูมิอากาศในกรุงมอสโกเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 องศาเซลเซียส ขณะที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของโลกในช่วงเวลาเดียวกันเพิ่มขึ้นเพียง 1.2 องศาเซลเซียส เมืองใหญ่อื่น ๆ ทั่วโลกก็มีแนวโน้มที่อุณหภูมิอากาศจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 2.9.5)

ภาพที่ 2.9.5 **การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยต่อปีในเมืองใหญ่ของออสเตรเลีย ระหว่างปี พ.ศ. 2523–2555 โดยค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละทศวรรษ**



ผู้เชี่ยวชาญจากองค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่า ภาวะโลกร้อนจะทำให้เกิดช่วงอากาศร้อนจัดในเมืองบ่อยขึ้น รุนแรงขึ้น และยาวนานขึ้น เป็นที่ทราบกันดีว่า ความกดอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นที่ผันผวน ส่งผลให้สภาพความเป็นอยู่ในเมืองไม่สบายตัวมากขึ้น และในปัจจุบันก็มีรายงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เกี่ยวกับกรณีที่ความร้อนจัดส่งผลร้ายต่อผู้สูงอายุ เด็กเล็ก และผู้ที่มีปัญหาสุขภาพ ความร้อนที่รุนแรงจะมาพร้อมกับความเข้มข้นของละอองเกสรและอนุภาคอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดอาการแพ้และโรคหืด

ผู้ที่อาศัยและทำงานในใจกลางเมือง รวมถึงผู้ที่ต้องปฏิบัติงานกลางแจ้งเป็นเวลานาน เช่น คนงานซ่อมถนน คนงานก่อสร้าง และพนักงานส่งของ ถือเป็นกลุ่มที่เผชิญความเสี่ยงสูงเป็นพิเศษในวันที่อากาศร้อนจัด

อุณหภูมิที่สูงจัดเป็นอันตรายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะสำหรับกลุ่มเปราะบาง เช่น เด็ก สตรีมีครรภ์ และผู้สูงอายุ ตามรายงานของสถาบันวิจัยด้านสาธารณสุขของสหรัฐอเมริกาอย่าง สถาบันชี้วัดและประเมินผลด้านสุขภาพ (Institute of Health Metrics and Evaluation: IHME) พบว่า ในปี พ.ศ. 2562 มีผู้เสียชีวิตจากการสัมผัสอากาศร้อนจัดทั่วโลกมากกว่า 300,000 ราย กองทุนเพื่อเด็กแห่งสหประชาชาติ (United Nations International Children's Emergency Fund: UNICEF) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2563 มีเด็กทั่วโลกราว 740 ล้านคนต้องเผชิญกับอุณหภูมิสูงจัด (ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่มีอุณหภูมิเกิน 35 องศาเซลเซียส เฉลี่ยมากกว่า 83.54 วันต่อปี) และคาดว่าตัวเลขนี้จะเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 6 ในโลกที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1.7 องศาเซลเซียส ภายในปี พ.ศ. 2593

แม้ว่าจำนวนผู้เสียชีวิตจากคลื่นความร้อนและความร้อนจัดมักไม่ได้ถูกรายงานอย่างครบถ้วน แต่ยังมีผู้เสียชีวิตหลายร้อยรายในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น กัมพูชา เมียนมา ฟิลิปปินส์ และไทย คาดว่าคลื่นความร้อนของจีนในปี พ.ศ. 2565 ทำให้มีผู้เสียชีวิตถึง 50,900 ราย ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าจากปี พ.ศ. 2564 การศึกษาเกี่ยวกับการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับความร้อนในอินเดียประมาณการว่ามีผู้เสียชีวิตเฉลี่ยราว 1,000 รายต่อปีในช่วงปี พ.ศ. 2551-2562 เนื่องจากคลื่นความร้อน

จากการศึกษาวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารเนเจอร์เมดิซิน (Nature Medicine) พบว่ามีผู้เสียชีวิตจากสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับความร้อนเกือบ 62,000 คนในยุโรปในช่วงฤดูร้อนปี พ.ศ. 2565 การศึกษาวิจัยดังกล่าวได้วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและอัตราการเสียชีวิตระหว่างปี พ.ศ. 2558-2565 ของประเทศในยุโรป 35 ประเทศ ซึ่งมีประชากรรวม 543 ล้านคน และนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทางระบาดวิทยา เพื่อคำนวณจำนวนผู้เสียชีวิตจากความร้อน นักวิจัยพบว่าอิตาลีเป็นประเทศที่ได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด โดยมีผู้เสียชีวิตประมาณ 18,000 ราย รองลงมาคือสเปนซึ่งมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 11,000 ราย และเยอรมนีซึ่งมีผู้เสียชีวิตประมาณ 8,000 ราย ความร้อนที่รุนแรงส่งผลกระทบต่อผู้สูงอายุและผู้หญิงอย่างไม่สมส่วน จากจำนวนผู้เสียชีวิตเกือบ 62,000 ราย พบว่าอัตราการเสียชีวิตจากความร้อนในผู้หญิงสูงกว่าผู้ชายถึงร้อยละ 63 อายุก็เป็นปัจจัยสำคัญเช่นกัน โดยจำนวนผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มผู้ที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไป ทั่วโลก อัตราการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับความร้อนของผู้คนในกลุ่มอายุนี้เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 85 ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 และ พ.ศ. 2560-2564

การพยากรณ์ล่วงหน้าเกี่ยวกับคลื่นความร้อนที่กำลังจะเกิดขึ้นนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากจะช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์มีเวลาเตรียมความพร้อม องค์การ WMO แนะนำให้มีการแจ้งเตือนล่วงหน้าอย่างน้อยสองวันก่อนที่ช่วงเวลาของความร้อนจัดจะเริ่มต้นขึ้น

สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส และบางประเทศได้ดำเนินมาตรการเพื่อรับมือกับความท้าทายจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในบริบทของภาวะโลกร้อน ตัวอย่างเช่น เมืองฟิลาเดลเฟียในสหรัฐอเมริกาได้ส่งเสริมระบบ 'สำนักงานช่วยเหลือ' (good offices) ในช่วงคลื่นความร้อน สื่อมวลชนรายงานสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ พร้อมให้คำแนะนำวิธีหลีกเลี่ยงโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อน ในหนังสือพิมพ์และบนจอขนาดใหญ่ใจกลางเมืองจะแสดงหมายเลขโทรศัพท์สายด่วนอย่างเด่นชัด บริการทางการแพทย์ฉุกเฉินและแผนกดับเพลิงจะจัดเตรียมเจ้าหน้าที่เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังการจัดสถานที่ปรับอากาศพิเศษสำหรับผู้สูงอายุ โดยมีบริการขนส่งพิเศษฟรีเพื่อนำผู้สูงอายุมาพักผ่อนหลบร้อนจากสภาพอากาศที่รุนแรง

อุณหภูมิที่ประชาชนที่มาจากเขตภูมิอากาศร้อนถือว่าเป็นเรื่องปกติ อาจถูกจัดว่าเป็นคลื่นความร้อนได้ในเขตที่มีภูมิอากาศเย็นกว่า หากอุณหภูมินั้นอยู่นอกแบบแผนปกติของภูมิอากาศในพื้นที่นั้น ตัวอย่าง เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา คำจำกัดความของคลื่นความร้อนขึ้นอยู่กับภูมิภาค ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยทั่วไปจะหมายถึงอุณหภูมิที่แตะหรือเกิน 90 องศาฟาเรนไฮต์ (+32.2 องศาเซลเซียส) ติดต่อกันสามวัน ส่วนในรัฐแคลิฟอร์เนียซึ่งมีภูมิอากาศร้อนกว่า คลื่นความร้อนจะหมายถึงอุณหภูมิที่แตะหรือเกิน 100 องศาฟาเรนไฮต์ (+37.8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลาอย่างน้อยสามวันติดต่อกัน กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งชาติของสหรัฐอเมริกาาจะออกคำเตือนและคำแนะนำเมื่อมีแนวโน้มว่าจะเกิดช่วงเวลาที่มีอากาศร้อนผิดปกติ



ข้อควรระวังเมื่ออากาศร้อน

- สวมใส่เสื้อผ้าที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ เพราะป้องกันไม่ให้ร่างกายร้อนเกินไป โดยช่วยให้ผิวหนังระบายอากาศได้
- พกขวดน้ำติดตัวไว้เสมอ ควรเป็นน้ำที่ไม่เย็นเกินไป ควรดื่มน้ำอย่างน้อยวันละ 3 ลิตรในช่วงอากาศร้อน
- หลีกเลี่ยงแสงแดดโดยตรงให้ได้มากที่สุด แสงแดดจะแรงที่สุดตั้งแต่เที่ยงวันจนถึง 16.00 น. ดังนั้นควรอยู่แต่ในที่ร่มหรือในอาคารในช่วงเวลาดังกล่าว
- สวมหมวกหรือคลุมศีรษะเมื่อต้องออกแดด
- หลีกเลี่ยงการซื้อผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่าย เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในอุณหภูมิที่สูง จึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดอาหารเป็นพิษได้
- รับประทานผลไม้ ผัก สลัดต่างๆ และซุปเย็นให้มาก
- หลีกเลี่ยงที่มีไขมันสูงและอาหารที่มีรสเค็ม
- อย่าเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายหักโหม
- ผ่อนคลายจิตใจ ความเครียดทางประสาทจะเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคลมแดด ลมร้อน และความผิดปกติของหลอดเลือดและหัวใจ
- อย่านั่งใต้เครื่องปรับอากาศโดยตรง เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างถนนที่ร้อนระอุกับห้องปรับอากาศนั้นสูงมาก และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันเช่นนี้ อาจก่อให้เกิดไข้หวัดหรือปอดบวมได้

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบเชิงลบต่อสุขภาพของมนุษย์ (ภาพที่ 2.9.6) โรคติดเชื้ออันตราย เช่น โรคสมองอักเสบและมาลาเรีย แพร่กระจายไปยังพื้นที่ที่ไม่เคยพบมาก่อน และช่วงเวลาของปีที่มีอันตรายจากการติดเชื้อก็จะยาวนานขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ความเสี่ยงต่อการติดเชื้อเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะส่งผลต่อการแพร่กระจายและเปลี่ยนแปลงรูปแบบการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อ ส่งผลให้ปัญหาสุขภาพที่มีอยู่แล้วในหลายประเทศทั่วโลกทวีความรุนแรง โรคที่เกิดจากพาหะ เช่น มาเลเรียและไข้เลือดออก กำลังคุกคามประชากรมากกว่า 4,000 ล้านคน รวมถึงเด็ก 1 ใน 4 คนทั่วโลก และภัยคุกคามดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศเหมาะสมสำหรับยุงพาหะนำโรคเหล่านี้เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีมาตรการเพิ่มเติมในการป้องกันการระบาดของโรคไข้เลือดออกและมาลาเรีย

ไข้เลือดออก เป็นโรคร้ายแรงที่คุกคามประชากรทั่วโลกประมาณ 3,900 ล้านคน ชุมชนที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความเสี่ยงสูงที่จะติดไข้เลือดออกจากยุงลายสายพันธุ์เอเดส อัลโปพิคตัส (Aedes albopictus) และ เอเดส อียิปไต (Aedes aegypti) อุณหภูมิโดยรอบที่สูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจสร้างสภาพแวดล้อมที่อบอุ่นมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของยุงเหล่านี้มากขึ้น วารสารเดอะแลนซิต (The Lancet) ระบุว่าความเหมาะสมของสภาพภูมิอากาศต่อการแพร่ระบาดของไข้เลือดออกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 46.3 ระหว่างปี พ.ศ. 2494-2503 และ เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7 ระหว่างปี พ.ศ. 2557-2566 ยุงเหล่านี้เจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำอุดมสมบูรณ์และขาดแคลนน้ำ ดังนั้นในโลกที่อุณหภูมิสูงขึ้น ไข้เลือดออกอาจแพร่กระจายมากขึ้นทั้งในพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งและน้ำท่วม

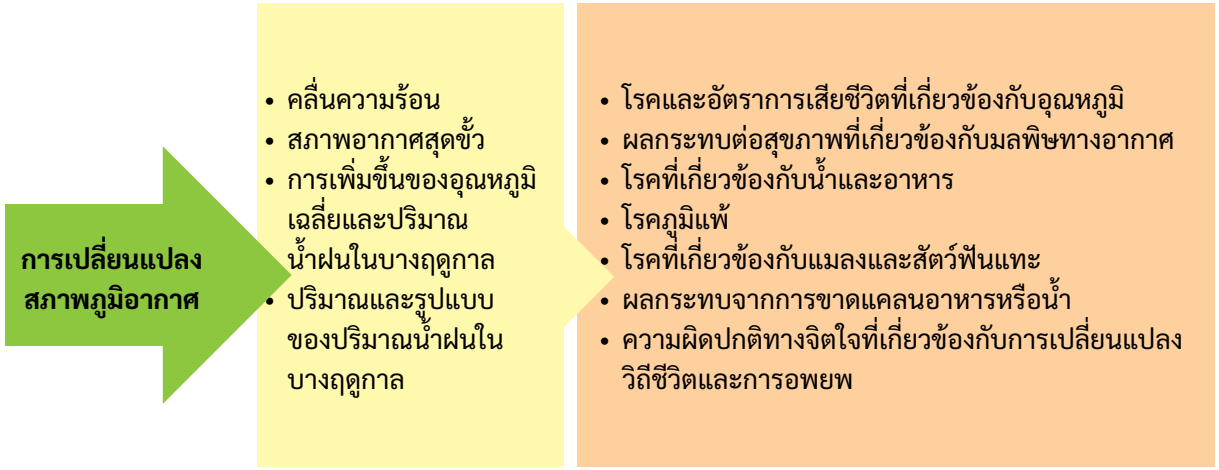
มาเลเรีย (จากภาษาอิตาเลียน ‘mala aria’ ซึ่งแปลว่า ‘อากาศเสีย’) หรือที่รู้จักกันในชื่อไข้จับสั่น เป็นโรคติดเชื้อที่ติดต่อสู่มนุษย์โดยการถูกยุงลายกัด ทำให้มีไข้สูง การแพร่กระจายของโรคมาลาเรียขึ้นอยู่กับยุงที่มีเชื้อมาลาเรียในพื้นที่และอุณหภูมิโดยรอบที่เชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดโรคสามารถเติบโตในยุงได้ โรคมาลาเรียมักเกิดขึ้นในประเทศเขตร้อน แต่จะพบได้น้อยกว่าในพื้นที่สูงของเขตร้อน เนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ยุงและปรสิตในยุงเจริญเติบโตได้ช้ากว่า

ในปี พ.ศ. 2562 มีผู้ป่วยโรคมาลาเรียประมาณ 229 ล้านรายทั่วโลก และมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 409,000 ราย เมื่อสภาพอากาศอบอุ่นขึ้น พื้นที่ที่เกิดโรคมาลาเรียจะขยายไปสู่เขตภูมิอากาศอบอุ่นขึ้นซึ่งอยู่ไกลจากเส้นศูนย์สูตร และ ‘ฤดูกาลของมาเลเรีย’ (ช่วงเวลาของปีที่มีการระบาดมากที่สุด) จะยาวนานขึ้น การศึกษาวิจัยบางกรณีแสดงให้เห็นว่ามาเลเรียแพร่กระจายไปยังพื้นที่สูงในประเทศเคนยา โคลอมเบีย และเอธิโอเปีย ซึ่งก่อนหน้านี้มีอากาศหนาวเย็นเกินกว่าที่โรคจะเติบโตได้





ภาพที่ 2.9.6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพของมนุษย์



การศึกษาล่าสุดเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ตีพิมพ์ในวารสารการแพทย์แลนเซ็ต (Lancet) นำเสนอชุดตัวบ่งชี้ที่ช่วยให้เข้าใจผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น อัตราการเสียชีวิตจากความร้อน ความไม่มั่นคงด้านอาหาร และการสัมผัสกับมลพิษทางอากาศ

สำหรับประเด็นความร้อนจัด ตัวอย่างหนึ่งที่ระบุไว้คือ ในกลุ่มประเทศเกาะขนาดเล็กที่กำลังพัฒนา พบว่ามีอุณหภูมิที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากถึง 103 วันต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วงปี พ.ศ. 2561–2565 ในขณะที่ยุโรป อเมริกาเหนือ และโอเชียเนีย มีจำนวนวันดังกล่าวน้อยกว่า 30 วัน

การศึกษายังประเมินว่า ภายใต้สถานการณ์โลกร้อนขึ้น 2 องศาเซลเซียส จะมีประชากรอีก 525 ล้านคนที่เผชิญกับภาวะขาดแคลนอาหารในช่วงปี พ.ศ. 2584-2603 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2538-2557

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขยายตัวของเมือง และการย้ายถิ่นฐานของมนุษย์ล้วนเป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลให้โรคต่าง ๆ เช่น ไข้เลือดออกเพิ่มสูงขึ้น การศึกษาพบว่า ‘จำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในทุก ๆ ทศวรรษนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 และปัจจุบันประชากรโลกเกือบครึ่งหนึ่งมีความเสี่ยงต่อโรคที่คุกคามชีวิตนี้’

น้ำท่วมยังเป็นภัยต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากเหตุการณ์น้ำท่วมทำให้ระบบน้ำประปาและระบบระบายน้ำเสียหยุดชะงัก ส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคในลำไส้เพิ่มสูงขึ้น ในบางพื้นที่ของโลก น้ำท่วมยังอาจพาสัตว์มีพิษ เช่น งูพิษ และจระเข้ เข้าสู่เขตชุมชนได้ เช่นที่เกิดขึ้นในประเทศออสเตรเลียเมื่อปี พ.ศ. 2554

การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและรูปแบบการใช้ชีวิตอาจกระตุ้นให้เกิดความเครียดทางจิตใจและภาวะซึมเศร้า อาจเคยสังเกตเห็นว่าบางครั้งเมื่อสภาพอากาศไม่ดี ก็รู้สึกไม่อยากไปไหนหรือทำอะไร แล้วหากผู้คนต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่เลวร้ายบ่อยครั้งขึ้น จะส่งผลต่อความรู้สึกและสุขภาพจิตอย่างไรบ้าง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเศรษฐกิจในเมืองอย่างไร

เหตุการณ์สภาพอากาศที่เลวร้ายอาจส่งผลกระทบต่อระบบขนส่ง ระบบไฟฟ้า และการจ่ายน้ำในเขตเมืองได้ น้ำท่วมอาจทำให้อาคาร ถนน ทางรถไฟ ท่าเรือ และสนามบินจมอยู่ใต้น้ำ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้พื้นผิวถนนเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้ต้องซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง อุณหภูมิที่ลดลงอย่างฉับพลันในฤดูหนาวอาจทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะจนสายไฟฟ้าเสียหาย ส่งผลให้บ้านเรือน โรงเรียน โรงพยาบาล และธุรกิจต่าง ๆ ไม่มีไฟฟ้าใช้

ผู้อยู่อาศัยในประเทศทางตอนเหนือที่มีภูมิอากาศหนาวเย็นอาจลดค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนในบ้านได้เมื่ออุณหภูมิอากาศในฤดูหนาวสูงขึ้น แต่ในทางกลับกัน เมืองต่าง ๆ ในประเทศทางตอนใต้ที่มีภูมิอากาศร้อนจะต้องเผชิญกับค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น เนื่องจากจะมีความต้องการเครื่องปรับอากาศมากขึ้นในช่วงฤดูร้อน

การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อเมืองต่าง ๆ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับผลที่อาจเกิดจากภาวะโลกร้อนและสามารถชดเชยต้นทุนบางส่วนได้ ตัวอย่างเช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมสามารถชดเชยได้บางส่วนด้วยการประหยัดค่าทำความร้อนในฤดูหนาว

จะปรับตัวและใช้ชีวิตในเมืองและชุมชนให้มีสุขภาพดีและสามารถรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ของคณะกรรมการ IPCC ได้ตั้งข้อสังเกตในรายงาน AR6 ว่า การเติบโตของประชากรเมืองอย่างรวดเร็ว ประกอบกับความต้องการที่ยังไม่ได้รับการตอบสนองในด้านที่อยู่อาศัย โครงสร้างพื้นฐาน และบริการที่ดีต่อสุขภาพเหมาะสม และยั่งยืน ยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญ อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของเมืองก็เปิดโอกาสให้มีการออกแบบมาตรการปรับตัว ทั้งในการวางแผนเมือง การพัฒนาเมืองและโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งเป็นสิ่งที่เร่งด่วนอย่างยิ่ง เนื่องจากมีการคาดการณ์ว่าจะมีประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองเพิ่มขึ้นอีก 2,500 ล้านคนภายในปี พ.ศ. 2593 โดยร้อยละ 90 ของการเพิ่มขึ้นนี้กระจุกตัวอยู่ในเอเชียและแอฟริกา

เมืองและชุมชนเมืองหลายแห่งได้ดำเนินการมาตรการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อผลกระทบและความเสี่ยงจากสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นแล้วหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ โดยบูรณาการเข้ากับแผนและนโยบายทางสังคมและเศรษฐกิจ มาตรการเหล่านี้ครอบคลุมถึงการแทรกแซงและการวางแผนทางวิศวกรรม เช่น การพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในเมือง การป้องกันน้ำท่วม การออกแบบและเสริมความแข็งแกร่งให้กับอาคาร การจัดตั้งศูนย์พักพิงจากพายุไซโคลน การนำกฎหมายอาคารที่ทนทานต่อพายุเฮอริเคนมาใช้ การพัฒนามาตรฐาน ระเบียบ และแนวทางสำหรับการก่อสร้าง การปรับปรุงการจัดการน้ำจากพายุฝน ระบบระบายน้ำ และระบบป้องกันน้ำท่วม และในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องก็มีการเสริมโครงสร้างพื้นฐานให้แข็งแกร่งขึ้นเพื่อทนต่อสภาพดินเยือกแข็งคงตัว นอกจากนี้ ในการออกแบบเมืองที่มีความสามารถในการปรับตัวและใช้แนวทางแก้ไขโดยใช้ธรรมชาติเป็นฐานก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยมุ่งเป้าไปที่การระบายความร้อนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปลูกต้นไม้ตามหลังคา กำแพง และสวนสาธารณะ การขยายพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ธรรมชาติพร้อมกันจะช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ปรับปรุงคุณภาพอากาศ และควบคุมวัฏจักรของน้ำ รวมทั้งช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากความร้อนและโรคทางเดินหายใจ และบรรเทาปัญหาสุขภาพจิตที่เกิดจากการใช้ชีวิตในเมืองที่แออัด การปลูกต้นไม้บนหลังคาในสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 2.9.7) เป็นตัวอย่างวิธีการที่เมืองต่าง ๆ ดำเนินการเพื่อบรรเทาผลกระทบของน้ำฝนที่ไหลบ่า ซึ่งเป็นมลพิษหลักต่อแหล่งน้ำในขณะเดียวกันก็ช่วยให้ตัวอาคารเย็นลงด้วย

มาตรการที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ ได้แก่ การออกแบบและปรับปรุงบ้าน โรงเรียน และสถานพยาบาล เพื่อลดผลกระทบจากความร้อนจัด การจัดการการเพิ่มขึ้นของโรคติดเชื้อ เช่น มาเลเรีย และการเข้าถึงน้ำและบริการสุขาภิบาลที่ดีขึ้น การดำเนินการในภาคส่วนต่าง ๆ เพื่อจัดการกับความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถสร้างประโยชน์ต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ได้ การเปลี่ยนผ่านจากยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในและโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลไปสู่พลังงานหมุนเวียนจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปรับปรุงคุณภาพอากาศ และลดความเสี่ยงของโรคทางเดินหายใจ นโยบายและการออกแบบที่ส่งเสริมการเดินเท้าและการใช้จักรยานในเมือง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในภาคการขนส่ง ลดการปล่อยมลพิษ และช่วยให้คุณภาพอากาศดีขึ้น พร้อมทั้งส่งเสริมสุขภาพกายและจิตของผู้อยู่อาศัย อาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการออกแบบผังเมืองที่ดีจะช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร และลดความเสี่ยงจากความเครียดจากความร้อนและโรคระบบทางเดินหายใจ ระบบอาหารที่เน้นการบริโภคพืชและอาหารเพื่อสุขภาพจะช่วยลดการปล่อยก๊าซในภาคเกษตรกรรม พร้อมกับมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาทุพโภชนาการอีกด้วย

ภาพที่ 2.9.7 **การปลูกต้นไม้บนหลังคาในสหรัฐอเมริกาช่วยระบายน้ำฝนและระบายความร้อนให้กับอาคาร**



คำถาม

1. ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ของโลกอาศัยอยู่ในเขตเมืองมากกว่า หรืออยู่นอกเมืองมากกว่ากัน
2. ที่ใดร้อนกว่ากัน ในเมืองหรือนอกเมือง
3. ทำไมเกาะความร้อนจึงส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์
4. จงระบุมาตรการในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตเมืองมา 3 มาตรการ
5. ผลกระทบด้านลบของภาวะโลกร้อนต่อสุขภาพของมนุษย์มีอะไรบ้าง และ “โรคที่มียุงหรือแมลงเป็นพาหะ” คืออะไร
6. ควรปฏิบัติตัวอย่างในในช่วงที่อากาศร้อนจัด





กิจกรรม

1

หากคุณไปเที่ยวพักผ่อนในพื้นที่ชนบทช่วงฤดูร้อน ลองวางเครื่องวัดอุณหภูมิไว้นอกบ้านที่มีร่มเงา โดยวางสูงจากพื้นในระดับเดียวกับความสูงของคน แล้วจดบันทึกอุณหภูมิที่เครื่องวัดอุณหภูมิแสดงในช่วงเช้า (ก่อนที่ดวงอาทิตย์จะเริ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น) จากนั้นเปรียบเทียบกับการพยากรณ์อุณหภูมิอากาศในตอนกลางคืนของเมืองใหญ่ที่ใกล้ที่สุดในวันเดียวกัน ตัวเลขที่ได้ต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

2

ใช้หนังสือเรียน หนังสืออ้างอิง และอินเทอร์เน็ต ค้นคว้าและจดบันทึกว่า จะสามารถช่วยเหลือผู้มีอาการลมแดด ผิวหนังไหม้แดด หนาวจัดจนเป็นตะคริวเยือกแข็ง ผู้ที่มีอาการแพ้ละอองเกสรอย่างรุนแรง หรือผู้ที่ถูกเห็บกัดได้อย่างไร คุณสามารถใช้มาตรการป้องกันใดบ้างมาดูแลสุขภาพในช่วงที่อากาศร้อนจัดได้



2.10 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปัญหาสังคมอย่างไร

โลกที่ต่างกันระหว่างประเทศพัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา

ทั่วโลกมีประเทศประมาณ 200 ประเทศ ทุกประเทศมีความแตกต่างกันในด้านที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ อาณาเขต สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ภูมิอากาศ ประชากร เศรษฐกิจ มาตรฐานการครองชีพ ประวัติศาสตร์ และขนบธรรมเนียมประเพณี ประเทศเหล่านี้มีส่วนร่วมในระดับที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และต่างก็ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงนี้ในลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ประเทศต่าง ๆ ยังมีความสามารถในการรับมือกับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศใหม่ไม่เท่ากันอีกด้วย

ประเทศต่าง ๆ มักถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ตามระดับของการพัฒนา ได้แก่ กลุ่มที่เรียกว่า ‘ประเทศพัฒนาแล้ว’ และ ‘ประเทศกำลังพัฒนา’

ประเทศพัฒนาแล้วนั้นค่อนข้างร่ำรวย มีสภาพความเป็นอยู่ที่ดี และมีเศรษฐกิจที่เข้มแข็ง โดยภาคอุตสาหกรรม ภาคบริการ และภาคการเงินมีบทบาทสำคัญ ประชาชนในประเทศเหล่านี้โดยทั่วไปจะมีประกันสังคม เข้าถึงบริการสุขภาพและการศึกษาที่ดี มีโอกาสในการทำงานที่เติมเต็มชีวิต และมีรายได้ค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้จ่ายในร้านอาหาร ช้อปปิ้ง หรือท่องเที่ยวได้ กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วโดยทั่วไปมักรวมถึง (แต่ไม่จำกัดเฉพาะ) สหรัฐอเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ สหราชอาณาจักร ประเทศในยุโรป ญี่ปุ่น สิงคโปร์ และรัสเซีย

บางประเทศในยุโรปตะวันออก มีสิ่งที่เรียกว่า ‘เศรษฐกิจในช่วงเปลี่ยนผ่าน’ ถือเป็นประเทศกลุ่มย่อยภายในกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว คำว่า ‘**เศรษฐกิจในช่วงเปลี่ยนผ่าน**’ นี้มาจากการเปลี่ยนผ่านของประเทศเหล่านี้จากระบบการวางแผนเศรษฐกิจแบบรวมศูนย์มาเป็นระบบเศรษฐกิจแบบตลาด (Market economy) ตั้งแต่ช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 1990 เป็นต้นมา





ประเทศกำลังพัฒนาเป็นกลุ่มประเทศที่อยู่ในขั้นเริ่มต้นของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ประเทศเหล่านี้จำนวนมากยังคงพึ่งพาการเกษตร การค้าสินค้าโภคภัณฑ์ และการทำเหมืองแร่เป็นหลัก ประชากรจำนวนมากยังมีมาตรฐานการครองชีพที่ต่ำ เข้าถึงบริการสุขภาพได้อย่างไม่ทั่วถึง มีโครงการสังคมน้อย และมีโอกาสทางการศึกษาและการจ้างงานน้อยเมื่อเทียบกับประเทศพัฒนาแล้ว

กลุ่มประเทศกำลังพัฒนาเป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายอย่างมาก โดยรวมถึงประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่ (ประเทศอุตสาหกรรมใหม่) เช่น ไทย จีน อินเดีย เกาหลีใต้ ตุรกี บราซิล อาร์เจนตินา และเม็กซิโก ซึ่งมีการเติบโตอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมและบริการ ประเทศที่มีรายได้ปานกลางระดับบน เช่น อินโดนีเซีย มองโกเลีย และแอฟริกาใต้ และประเทศที่มีรายได้ปานกลางระดับล่าง เช่น เวียดนาม ปัจจุบันจีนและอินเดียเป็นหนึ่งในสิบประเทศที่มีขนาดเศรษฐกิจใหญ่ที่สุดในโลก สิ่งของมากมายที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น เสื้อผ้า รองเท้า จาน เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และของเล่น ผลิตขึ้นในประเทศเหล่านี้ โดยเฉพาะในจีน จีนเป็นประเทศผู้นำของโลกในด้านปริมาณสินค้าที่ผลิตในแต่ละปี รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา

และยังมีอีก 46 ประเทศที่ถือว่าเป็นประเทศที่**ด้อยพัฒนาที่สุด**ในโลก ประเทศเหล่านี้รวมถึงประเทศหมู่เกาะเล็ก ๆ ประเทศที่ไม่มีทางออกสู่ทะเลในพื้นที่ภูเขา รวมถึงประเทศที่มีอาณาเขตซึ่งประชากรหนาแน่นหรือมีสภาพภูมิอากาศที่ไม่เอื้อต่อการดำรงชีวิต ประเทศเหล่านี้มีความยากจนอย่างมาก เศรษฐกิจอ่อนแอ และประชาชนรวมถึงวิถีชีวิตของพวกเขามีความเปราะบางสูงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยธรรมชาติ ประเทศที่ด้อยพัฒนาที่สุดส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียและแอฟริกา ตัวอย่างประเทศเหล่านี้ในเอเชีย ได้แก่ อัฟกานิสถาน กัมพูชา สปป.ลาว เมียนมา และเนปาล ส่วนในแอฟริกา ได้แก่ บุรุนดี ชาด สาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก ไลบีเรีย มาลาวี โมซัมบิก ไนเจอร์ และโซมาเลีย

ความยากจนในประเทศเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นไปในวงกว้าง โดยประชากรส่วนใหญ่อาศัยอยู่ด้วยเงินไม่ถึงสองดอลลาร์ต่อวัน หลายคนขาดแคลนอาหาร น้ำดื่มสะอาด โรงพยาบาล และโรงเรียน ครอบครัวที่ยากจนมักพยายามมีลูกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ลูกช่วยทำงานบ้าน ช่วยหารายได้เข้าครอบครัว และเลี้ยงดูพ่อแม่ยามแก่ชรา สภาพสุขาภิบาลที่ไม่ดี การขาดแคลนอาหารและน้ำสะอาด และการเข้าถึงบริการสุขภาพที่ไม่ทั่วถึง ส่งผลให้เด็กจำนวนมากเสียชีวิตก่อนโตเป็นผู้ใหญ่ ดังนั้นการมีลูกหลายคนจึงเป็นการรับประกันว่าอย่างน้อยลูกบางคนอาจมีชีวิตรอด ปัจจุบันมีประชากรราว 880 ล้านคน (คิดเป็นร้อยละ 12 ของประชากรโลก) อาศัยอยู่ในประเทศที่ยากจนเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ซึ่งมีส่วนร่วมในเศรษฐกิจโลกน้อยกว่าร้อยละ 2





ความไม่เสมอภาคทางสังคม

ในปี พ.ศ. 2566 ประชากรโลกมีมากกว่าแปดพันล้านคนแล้ว ประชากรส่วนใหญ่ของโลกจำนวน 6.64 พันล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 83 ของทั้งหมดอาศัยอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา และมีเพียงร้อยละ 17 หรือประมาณ 1,360 ล้านคน (ที่เรียกกันว่า 'พันล้านทองคำ') เท่านั้นที่อาศัยอยู่ในประเทศพัฒนาแล้ว

ไม่น่าแปลกใจที่ประชากรร้อยละ 17 ซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศที่ร่ำรวยจะบริโภคทรัพยากรเป็นส่วนใหญ่ของโลก เนื่องจากรายได้ที่สูงและความต้องการในการดำเนินชีวิต การดำเนินกิจการอุตสาหกรรมและการผลิตสิ่งของใช้ประจำวันให้แก่ประชากรในประเทศที่ร่ำรวยจึงจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรและพลังงานในปริมาณมหาศาล ประเทศที่บริโภคพลังงานมากที่สุด ได้แก่ ไอซ์แลนด์ นอร์เวย์ แคนาดา สหรัฐอเมริกา และประเทศร่ำรวยในตะวันออกกลาง เช่น โอมาน ซาอุดีอาระเบีย และกาตาร์ โดยเฉลี่ยแล้วประชากรในประเทศเหล่านี้บริโภคมากกว่าประชากรในบางประเทศที่ยากจนเป็นอันดับต้น ๆ 100 เท่า ตัวอย่างเช่น ตลอดชีวิตคนอเมริกันโดยเฉลี่ยต้องใช้ทรัพยากรมากกว่าคนทั่วโลกโดยเฉลี่ยถึง 3.5 เท่า และใช้พลังงานมากกว่าคนอินเดียโดยเฉลี่ยถึง 9 เท่า ดังนั้น ผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้คนในประเทศพัฒนาแล้ว (หรือที่เรียกว่า 'ภคาร์บอน') จึงสูงกว่าผู้คนในประเทศกำลังพัฒนามาก ดังนั้นพวกเขาจึงต้องรับผิดชอบต่อผลสืบเนื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากกว่า

ช่องว่างระหว่างคุณภาพชีวิตของคนร่ำรวยและคนยากจนในโลกนั้นกว้างมาก รายได้เฉลี่ยใน 20 ประเทศที่ร่ำรวยเป็นอันดับต้น ๆ สูงกว่ารายได้เฉลี่ยใน 20 ประเทศที่ยากจนเป็นอันดับต้น ๆ ถึง 37 เท่า กล่าวคือ รายได้ทุก ๆ 100 ดอลลาร์ที่ประชาชนในยุโรปหรือสหรัฐอเมริกาได้รับ พลเมืองในเนปาลหรือเอธิโอเปียจะได้รับเพียง 2.50 ดอลลาร์เท่านั้น รายได้ของคนที่ร่ำรวย 500 อันดับแรกของโลก มีมูลค่าสูงกว่ารายได้รวมของประชากรที่ยากจนเป็นอันดับต้น ๆ 416 ล้านคนทั่วโลกเสียอีก

อัตราการเกิดที่สูงในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ หมายความว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศเหล่านี้สูงกว่าประเทศพัฒนาแล้วถึง 3.5 เท่า ประชากรของประเทศที่ยากจนเป็นอันดับต้น ๆ หลายประเทศในแอฟริกาและเอเชียอาจเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าได้ภายในเวลาไม่ถึง 40 ปี ดังนั้น จำนวนประชากรที่ยากจนที่สุดในโลกจึงยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ช่องว่างระหว่างคนรวยและคนจนในโลกนั้นกว้างมาก ผู้คนในประเทศพัฒนาแล้วซึ่งมีเพียงร้อยละ 17 ของประชากรโลก กลับบริโภคทรัพยากรส่วนใหญ่ของโลกและใช้พลังงานมากกว่าร้อย 70 ของทั้งหมด ในขณะที่ทั่วโลกมีประชากรเกือบ 2.5 พันล้านคนที่ยังคงใช้ชีวิตอยู่ด้วยเงินไม่ถึงสองดอลลาร์ต่อวัน ตามรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) มีประชากร 770 ล้านคนที่ขาดแคลนน้ำดื่มสะอาด และมี 821 ล้านคนที่ไม่มีอาหารที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตอย่างกระฉับกระเฉงและมีสุขภาพดี



คงจะเป็นความเข้าใจผิดหากคิดว่าความยากจนจำกัดอยู่แค่ในประเทศที่ด้อยพัฒนาที่เป็นอันดับต้น ๆ เพราะในประเทศที่ร่ำรวยก็ยังมีพื้นที่ล้าหลังและคนจนอยู่เช่นกัน ตัวอย่างเช่น สำนักงานสำมะโนประชากร (The Census Bureau) ของสหรัฐอเมริการายงานว่าในปี พ.ศ. 2564 มีประชาชนยากจนอยู่ราว 38 ล้านคน หรือประมาณร้อยละ 12 ของประชากรทั้งหมด ส่วนในประเทศเยอรมนี ในปี พ.ศ. 2565 มีประชาชนเกือบ 1 ใน 7 คน หรือราว 13.5 ล้านคน ที่ใช้ชีวิตอยู่ในระดับเส้นความยากจนหรือต่ำกว่านั้น ผู้คนที่ยากจนที่สุดในประเทศพัฒนาแล้ว มักเป็นผู้ที่อพยพมาจากประเทศกำลังพัฒนาเพื่อมาหางานทำ รวมถึงผู้คนที่อาศัยอยู่ในชนบท และในเมืองอุตสาหกรรมที่กำลังเสื่อมถอย ที่มีการปิดเหมืองแร่และโรงงานต่าง ๆ ลงเนื่องจากไม่สามารถทำกำไรได้

แต่สถานการณ์ของคนจนในอเมริกากับคนจนในแอฟริกานั้นแตกต่างกันมาก! เส้นความยากจนในสหรัฐอเมริกา คิดเป็นรายได้ 22,000 ดอลลาร์ต่อปี สำหรับครอบครัวที่มีสมาชิก 4 คน หรือประมาณวันละ 15 ดอลลาร์ต่อคน ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนเงินที่น้อยมากเมื่อเทียบกับค่าครองชีพที่สูงในประเทศนั้น แต่สำหรับคนยากจนในประเทศกำลังพัฒนา คนจนในอเมริกามีที่อยู่อาศัยเป็นของตัวเองพร้อมห้องน้ำและอ่างอาบน้ำ กลับดูเหมือนเศรษฐีอย่างร็อกกี้เฟลเลอร์ (Rockefeller) เลยทีเดียว

ความไม่เท่าเทียมกันอย่างชัดเจนในด้านสภาพความเป็นอยู่ ก็คือการกระจายรายได้และโอกาสที่ไม่เท่าเทียมกันระหว่างผู้คนบนโลก ได้เพิ่มสูงขึ้นจนกลายเป็นปัญหาสังคมที่เร่งด่วนที่สุดอย่างหนึ่งในปัจจุบัน ตามที่ระบุไว้ในรายงานการพัฒนามนุษย์ของโครงการ UNDP ปี พ.ศ. 2556 ว่า “ทุกคนมีสิทธิ์ที่จะมีชีวิตที่เปี่ยมความหมายตามค่านิยมและความปรารถนาของตนเอง ไม่มีใครควรถูกกำหนดให้มีชีวิตที่สั้นหรือทุกข์ยาก เพียงเพราะเขาหรือเธอเกิดมาในชนชั้นหรือประเทศที่ ‘ผิด’ เชื้อชาติหรือเผ่าพันธุ์ที่ ‘ผิด’ หรือเพศที่ ‘ผิด’” น่าเสียดายที่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกลับยิ่งเพิ่มความเหลื่อมล้ำทางสังคม และทำให้การแก้ปัญหาความยากจนนั้นยิ่งซับซ้อนยิ่งขึ้น การระบาดใหญ่ของโควิด-19 ที่ผ่านมา ยิ่งทำให้ปัญหาเหล่านี้รุนแรงขึ้น และภายในระยะเวลาเพียงสองปี ก็ได้ลบล้างความก้าวหน้าในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การลดความยากจน และการลดความเหลื่อมล้ำไปบางส่วน (รายงานการพัฒนามนุษย์ของโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ ปี พ.ศ. 2564-2565)





การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ปัญหาสังคมย่ำแย่ลง

เป็นที่เห็นกันแล้วว่า ทุกภูมิภาคและประเทศทั่วโลกต่างก็ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่นกัน บางพื้นที่ เช่น พื้นที่ชายฝั่ง เขตอาร์กติก เขตภูเขา หรือภูมิภาคหรือประเทศเกษตรกรรม ได้รับผลกระทบมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ สาเหตุเป็นเพราะวิถีชีวิตและเศรษฐกิจของประชากรในท้องถิ่นนั้นพึ่งพาสภาพธรรมชาติและสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ย่อมนำไปสู่ปัญหาใหญ่ทั้งต่อเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่เหล่านั้น

ผู้คนในประเทศและภูมิภาคที่ยากจนมักพึ่งพาเกษตรกรรมเป็นหลักในการดำรงชีวิต ดังนั้นเมื่อเกิดภัยแล้ง น้ำท่วม หรือพายุเฮอริเคนขึ้นมา ก็อาจสูญเสียแหล่งรายได้เพียงอย่างเดียวไปในทันที ประเทศอย่างบังกลาเทศ เฮติ หรือชาด ไม่เพียงแต่เป็นกลุ่มแรก ๆ ที่สัมผัสได้ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่านั้น แต่ยังขาดทรัพยากรและความสามารถในการรับมือกับความเสี่ยงเหล่านั้นอีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศยากจนส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อผู้หญิงเป็นพิเศษ เพราะมักเป็นผู้รับผิดชอบหลักในการเลี้ยงดูลูก ดูแลผู้ป่วยและผู้สูงอายุ ปลูกพืช เก็บน้ำและเชื้อเพลิง รวมถึงจัดหาอาหารให้ครอบครัว ซึ่งงานเหล่านี้ทั้งหมดล้วนได้รับผลกระทบอย่างมากจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ในทุกภูมิภาค แม้แต่ในประเทศที่มีรายได้สูง เด็กเล็ก ผู้สูงอายุ และผู้พิการก็อาจตกอยู่ในความเสี่ยงเป็นพิเศษ เพราะสุขภาพของพวกเขาขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นอย่างมาก

ความอยุติธรรมด้านสภาพภูมิอากาศ
หมายถึง สถานการณ์ที่ผู้คนซึ่งมีส่วนรับผิดชอบต่อภาวะโลกร้อนน้อยที่สุด กลับต้องเผชิญกับผลกระทบจากมันมากที่สุด

การอพยพเนื่องจากสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ผู้คนนับสิบล้านต้องอพยพหนีจากผลกระทบของพายุ ภัยแล้ง และน้ำท่วม จากการวิจัยของโรงเรียนภูมิอากาศโคลัมเบีย (Columbia Climate School) แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย พบว่า ในปี พ.ศ. 2560 มีผู้คนราว 23 ล้านคนทั่วโลกต้องย้ายถิ่นฐานเนื่องจากเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน และอีกราว 44 ล้านคนต้องพลัดถิ่นเพราะ ‘วิกฤตด้านมนุษยธรรม’ ซึ่งน่าจะรุนแรงขึ้นจากผลกระทบต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จำนวนผู้ที่ได้รับผลกระทบนี้อาจเพิ่มขึ้นเป็น 200-250 ล้านคนภายในปี พ.ศ. 2593

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการอพยพครั้งใหญ่ประกอบไปด้วยบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงและแม่น้ำคงคาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีประชากรหนาแน่น หากระดับน้ำในแม่น้ำเหล่านี้เพิ่มขึ้นสองเมตรตามที่คาดการณ์ไว้ จะทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ ผู้คนที่ทำงานในไร่นาเหล่านี้จะถูกบังคับให้ต้องหาที่อยู่อาศัยและแหล่งทำกินใหม่

ภัยแล้งหรืออุทกภัยที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งซึ่งส่งผลกระทบอย่างรุนแรงเป็นพิเศษต่อภาคเกษตรกรรม จะบีบให้ผู้คนจำนวนมากในชนบทต้องย้ายเข้าเมืองเพื่อหางานทำ การอพยพเช่นนี้นำไปสู่การเกิดชุมชนแออัด ซึ่งเป็นย่านที่อยู่อาศัยของผู้อพยพยากจนที่ขาดบริการพื้นฐานที่เพียงพอ และมักมีอัตราอาชญากรรมสูง

ผู้คนจำนวนมากจากหมู่เกาะแคริบเบียนกำลังอพยพออกจากบ้านเกิด เนื่องจากพายุโซนร้อนและพายุทอร์นาโดที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง โดยประเทศเหล่านี้มีขีดความสามารถที่จำกัดในการรับมือกับสภาพภูมิอากาศที่เลวร้ายลง

ภาพที่ 2.10.1 ชุมชนแออัดในริโอเดจาเนโร (บราซิล)



ภาพที่ 2.10.2

ค่ายผู้อพยพซึ่งถูกบีบให้ทิ้งบ้านเกิดเนื่องจากภัยแล้งรุนแรง (โซมาเลีย ปี พ.ศ. 2554)



ภาพที่ 2.10.3

สภาพหลังพายุเฮอริเคนไฮยันพัดผ่าน (ฟิลิปปินส์ ปี พ.ศ. 2556)



ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ได้เปิดรับผู้ลี้ภัยจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากรัฐเกาะในโอเชียเนีย เกาะในหมู่เกาะตูวาลูและคิริบาส ซึ่งตั้งอยู่ไม่ไกลจากออสเตรเลีย กำลังถูกน้ำทะเลท่วมทีละน้อยจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น นักสิ่งแวดล้อมในออสเตรเลียกำลังผลักดันให้รัฐบาลจัดสรรโควต้าพิเศษสำหรับผู้ลี้ภัยจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเหล่านี้ เช่นเดียวกับรัฐบาลของมัลดีฟส์ที่ได้ทำข้อตกลงกับศรีลังกา (ซึ่งก็เป็นประเทศเกาะเช่นกัน) ในการย้ายถิ่นฐานของประชาชนหากมีความเสี่ยงที่หมู่เกาะนี้จะจมลงใต้ทะเลในอนาคตอันใกล้



ประเทศเกาะคิริบาสประกอบด้วยเกาะปะการังเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ยเพียงสองเมตร ดังนั้นระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นอาจทำให้เกาะเหล่านี้ถูกน้ำท่วมภายใน 50 ปีข้างหน้า ในปี พ.ศ. 2555 รัฐบาลของเกาะคิริบาสตัดสินใจซื้อที่ดินในสาธารณรัฐฟิจิ เพื่อให้ประชาชนจากเกาะที่อาจจมลงใต้ทะเลสามารถย้ายถิ่นฐานไปได้

ความขัดแย้งใหม่

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถก่อให้เกิดความขัดแย้งรุนแรงระหว่างผู้คนในภูมิภาคต่าง ๆ โดยเฉพาะในเรื่องสิทธิในที่ดิน การขาดแคลนน้ำ และการลี้ภัยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีผลกระทบทางสังคมอย่างกว้างขวาง (ภาพที่ 2.10.4)

พื้นที่ที่ถูกทำเครื่องหมายด้วยสีแดงมีความเสี่ยงสูงต่อวิกฤตที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเป็นพื้นที่ที่เผชิญกับภัยคุกคามจากภัยแล้งที่ยาวนาน การขาดแคลนน้ำ ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ความเค็มของดิน การล้มเหลวในการทำเกษตรกรรม การขาดแคลนพลังงาน และปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดวิกฤตทางการเมืองและสังคม และทำให้มีการย้ายถิ่นฐานมากขึ้น

ภาพที่ 2.10.4 บริเวณที่มีโอกาสเกิดวิกฤติการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



ความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อการช่วยเหลือทางสังคม

โครงการช่วยเหลือพิเศษสำหรับประชากรกลุ่มเปราะบางที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อลดความเสี่ยงทางสังคมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งอาจรวมถึง การฝึกอบรมและการเปลี่ยนแนวทางอาชีพสำหรับผู้คนในชนบท เพื่อให้มีทางเลือกในการทำมาหากินนอกภาคส่วนเกษตรกรรม โครงการย้ายถิ่นฐานของผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ที่ถูกคุกคาม การสร้างงานในพื้นที่ยากจน การวิจัยเพื่อพัฒนาพันธุ์พืชที่ทนแล้งได้มากขึ้น และการจัดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับภัยธรรมชาติ แต่ทั้งหมดนี้ต้องใช้เงิน ซึ่งประเทศยากจนและประชาชนที่ยากจนไม่มี

มีการจัดตั้งแหล่งทุนและเครื่องมือทางการเงินหลากหลายประเภทเพื่อช่วยให้ประเทศกำลังพัฒนาสามารถเอาชนะปัญหาสังคมที่เกิดจากผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผู้บริจาครายหลักได้แก่ รัฐบาลของประเทศพัฒนาแล้ว บริษัทขนาดใหญ่ และองค์กรระหว่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์การสหประชาชาติ

คำถาม

1 ประเทศที่พัฒนาแล้วแตกต่างจากประเทศกำลังพัฒนาอย่างไร

2 คนส่วนใหญ่ในโลกอาศัยอยู่ในประเทศพัฒนาแล้วหรือประเทศกำลังพัฒนา

3 ประเทศใดบ้างที่เปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากที่สุด เพราะเหตุใด

4 ทำไมผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงส่งผลรุนแรงที่สุดต่อคนจนของโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ปัญหาสังคมใดแย่ลงบ้าง

5 สัตว์และพืชไม่สามารถปรับตัวทันกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศอย่างรวดเร็ว แล้วมนุษย์เล่า จะสามารถปรับตัวได้หรือไม่





กิจกรรม

1

บนแผนที่โลก ให้ขีดเส้นใต้ 20 ประเทศชั้นนำในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจ และระบายสีประเทศเหล่านั้นด้วยสีเขียว จากนั้นบนแผนที่เดียวกัน ให้ขีดเส้นใต้ 20 ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (สามารถดูข้อมูลได้จากวิกิพีเดีย) และระบายสีประเทศเหล่านั้นด้วยสีแดง

จงสังเกตว่ามีความซ้อนทับกันมากไหม มีกี่ประเทศชั้นนำของโลกที่ตอนนี้กลายเป็น ‘สีน้ำตาลสกปรก’ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศเหล่านั้นเป็นผู้ก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพภูมิอากาศของโลกมากที่สุด

อธิบายว่าทำไมประเทศเหล่านี้จึงควรถูกตำหนิมากที่สุดในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้น

2

ลองจินตนาการว่าคุณกำลังทำงานให้กับกองทุนระหว่างประเทศที่จัดสรรเงินเพื่อโครงการต่อสู้กับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คุณจะให้เงินสนับสนุนโครงการช่วยเหลือประเทศยากจนโครงการใดเป็นอันดับแรก



3

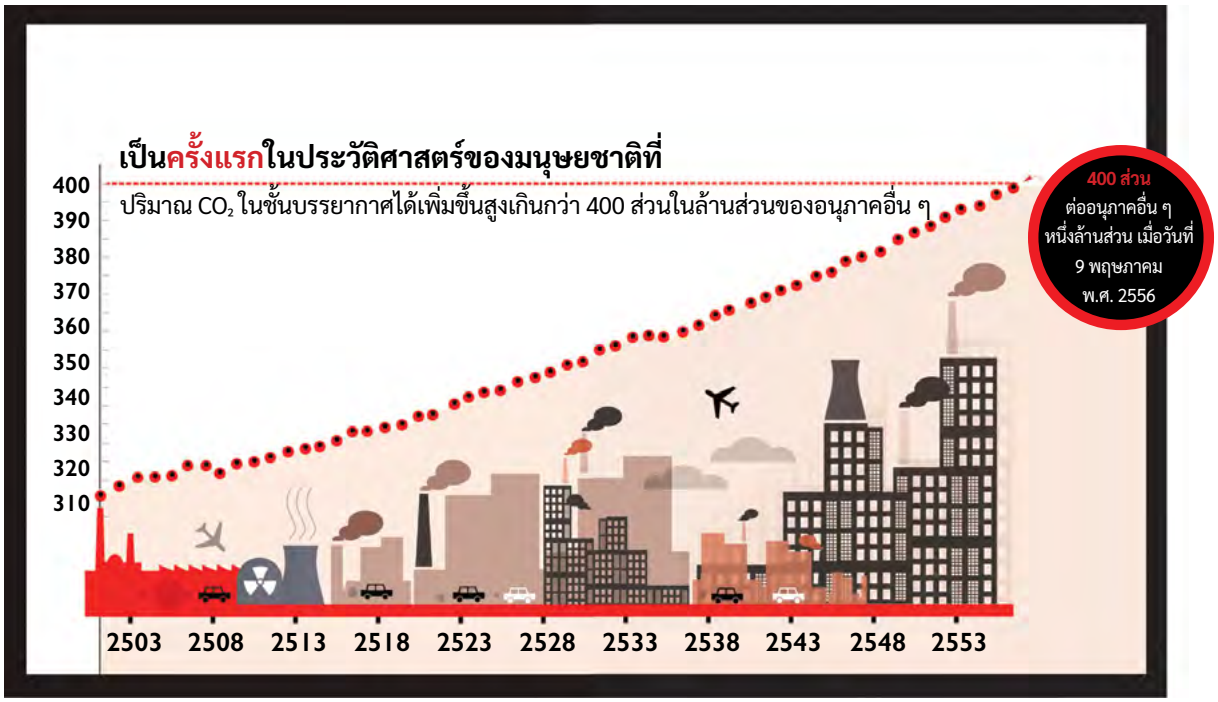
วิธีป้องกัน การเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ ที่เป็นอันตราย

3 วิธีการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตราย

เป็นที่ทราบแล้วว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งทำให้ก๊าซเหล่านี้ในบรรยากาศ (ภาพที่ 3.1.1) มีความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามธรรมชาติในชั้นบรรยากาศได้เปลี่ยนแปลงไปในช่วงหลายแสนปีที่ผ่านมา (ซึ่งรวมถึงช่วงเวลาที่โลกอุ่นขึ้นระหว่างยุคน้ำแข็ง และช่วงเย็นลงในยุคน้ำแข็ง) โดยที่ CO_2 อยู่ในช่วงระหว่าง 180 ถึง 300 ส่วนในล้านส่วนของอนุภาคอื่น ๆ

ในปี พ.ศ. 2556 ระดับ CO_2 ในชั้นบรรยากาศมีค่าเกินกว่า 400 ppm (ส่วนในล้านส่วน) เป็นครั้งแรกในรอบอย่างน้อย 800,000 ปี และความเข้มข้นนี้ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2565 ได้แตะถึง 421 ppm สาเหตุคือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ (Net Greenhouse Gas หรือ GHG) จากกิจกรรมของมนุษย์ทั่วโลก ซึ่งหมายถึง ปริมาณการปล่อยทั้งหมดลบด้วยปริมาณที่ดูดซับได้ เช่น โดยป่าไม้ ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2565 ระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าทุกช่วงเวลาอื่นใดในประวัติศาสตร์ของมนุษย์ และก๊าซเหล่านี้ในบรรยากาศจะยังคงเข้มข้นมากขึ้น จนกว่าการปล่อยก๊าซประจำปีจะลดลงอย่างเพียงพอ จนสมดุลกับปริมาณที่ธรรมชาติสามารถดูดซับได้

ภาพที่ 3.1.1 ความเข้มข้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503



ทุกคนบนโลกมีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศปีแล้วปีเล่า มนุษย์คือผู้บริโภคปลายทางของสินค้าและบริการ ซึ่งกระบวนการผลิตสิ่งเหล่านี้ต้องใช้พลังงาน และพลังงานส่วนใหญ่ก็มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไป (เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ) การผลิตสินค้าและบริการคิดเป็นเกือบร้อยละ 75 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

ได้มีการกล่าวถึงผลกระทบที่ร้ายแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพของสังคมและโลกแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยืนยันว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วงที่ผ่านมานั้นกระจายตัวไปอย่างกว้างขวาง รวดเร็ว ทวีความรุนแรง และไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในช่วงหลายพันปี การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้คาดว่าจะยังคงดำเนินต่อไป เพราะภายใต้ทุกสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ระบุในรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC การอบอุ่นขึ้นของพื้นผิวโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้น 1.5 องศาเซลเซียสในสองทศวรรษข้างหน้า เว้นแต่จะมีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างทันที รวดเร็ว และในปริมาณมาก การจำกัดการอบอุ่นขึ้นให้ไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสหรือแม้แต่ 2 องศาเซลเซียสจะกลายเป็นสิ่งที่เกินเอื้อมในเร็ว ๆ นี้

เพื่อที่จะลดความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและจำกัดการอบอุ่นขึ้นของโลก การลดการปล่อย CO_2 มีเทน และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ อย่างรวดเร็ว ทันที และต่อเนื่องในทศวรรษนี้ และการบรรลุการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 เป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง นอกจากนี้ การลด ‘แรงขับเคลื่อนสภาพภูมิอากาศที่มีอายุสั้น’ เช่น ละอองลอยและสารมลพิษในอากาศ จะไม่เพียงแต่ลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเท่านั้น แต่ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศ ลดผลกระทบทางสุขภาพ และนำไปสู่ประโยชน์ในด้านการพัฒนาที่ยั่งยืนอื่น ๆ การลดเหล่านี้ควรใช้แนวทางที่เน้นธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ เก็บกักคาร์บอน ฟอกน้ำ และลดความเสี่ยงจากการระบาดของโรค โดยสรุป การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศควรเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัวให้เท่าทันกับโลกและสังคมเช่นกัน

หลายประเทศได้เริ่มลงมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว จนถึงปี พ.ศ. 2565 ประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่สามารถลดการปล่อยก๊าซเหล่านี้อย่างต่อเนื่องมาได้นานกว่าสิบปี ขณะที่ประเทศกำลังพัฒนาหลาย ๆ ประเทศก็ได้เริ่มใช้มาตรการเพื่อชะลอการเติบโตของการปล่อยก๊าซเช่นกัน แต่ถึงอย่างนั้น นักวิทยาศาสตร์ก็ได้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสิ่งที่ทำไปแล้วยังไม่เพียงพอ มนุษย์จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงทั้งระบบ ทั้งในทุกประเทศ และในทุกภาคส่วนของเศรษฐกิจและสังคม เพื่อนำไปสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ภายในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษนี้

แล้วสิ่งนี้หมายถึงอะไรในทางปฏิบัติ และจะลดความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้อย่างไร คำตอบคือมีหลายแนวทางที่สามารถทำได้

วิธีแรกคือ **การหันมาใช้แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสภาพภูมิอากาศมากขึ้น** ถ้าเปรียบเทียบแหล่งพลังงานจากฟอสซิลประเภทต่าง ๆ ถ่านหินถือว่าเป็นตัวการที่ก่อมลพิษมากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันและผลิตภัณฑ์จากน้ำมัน ส่วนที่ก่อมลพิษน้อยที่สุดคือก๊าซธรรมชาติ



แต่การผลิตพลังงานโดยไม่ต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเลยนั้นเป็นไปได้ มนุษย์รู้จักใช้พลังงานจากธรรมชาติมาตั้งแต่โบราณ ไม่ว่าจะเป็นความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังลม กระแสน้ำ หรือแม้แต่ชีวมวล ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนเป็นพลังงานหมุนเวียน เทคโนโลยีสมัยใหม่ทำให้มนุษย์สามารถใช้พลังงานเหล่านี้ได้อย่างแพร่หลายมากขึ้น การเร่งใช้พลังงานหมุนเวียนจึงควรเกิดขึ้นควบคู่ไปกับการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ แหล่งพลังงานที่ไม่ปล่อยคาร์บอนอย่างพลังงานนิวเคลียร์ ก็สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหลายประเทศได้เช่นกัน ตราบเท่าที่มีมาตรการด้านความปลอดภัยที่จำเป็นอย่างครบถ้วน

วิธีที่สองในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ **การลดการใช้พลังงานในชีวิตประจำวัน** เช่น การพัฒนาเครื่องจักรและเครื่องใช้ภายในบ้านให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น การออกแบบอาคารให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเพิ่มระบบไฟฟ้าและการจัดเก็บพลังงาน กระบวนการอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เช่น การผลิตเหล็กหรือซีเมนต์ ก็จำเป็นต้องถูกแทนที่ด้วยกระบวนการที่ไม่ปล่อยคาร์บอน และการเปลี่ยนมาใช้ระบบไฟฟ้าในภาคขนส่งก็ต้องดำเนินไปให้รวดเร็วขึ้น และต้องมีการเปลี่ยนนิสัยบางอย่างเพื่อประหยัดพลังงานและน้ำด้วยเช่นกัน

วิธีที่สามคือ การใช้พืชช่วย หรือใช้เทคโนโลยีที่**ดึง CO_2 ออกจากชั้นบรรยากาศ** พืชและต้นไม้ดูดซับ CO_2 ดังนั้น การลดการตัดไม้ทำลายป่าและการปลูกต้นไม้เพิ่ม จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ การทำเกษตรอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการฟื้นฟูดูแลระบบนิเวศธรรมชาติ ก็สามารถช่วยให้ดินดูดซับคาร์บอนได้มากขึ้น พร้อมกับสร้างประโยชน์อื่น ๆ ต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ในอีกด้านหนึ่ง เทคโนโลยีใหม่ที่มุ่งดึง CO_2 ออกจากชั้นบรรยากาศ เช่น การดักจับและกักเก็บคาร์บอน หรือการกำจัด CO_2 โดยตรง กำลังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาและทดลองใช้ เทคโนโลยีเหล่านี้ให้ความหวังว่า ในอนาคตอันใกล้จะสามารถดักจับการปล่อยมลพิษบางส่วนที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น การปล่อยก๊าซตกค้างจากภาคเกษตรกรรม

ท้ายสุด การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาซับซ้อนระดับโลกที่จะแก้ไขได้ก็ต่อเมื่อได้รับความร่วมมือจากทุกประเทศ และต้องอาศัย “การมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน” โดยเฉพาะภาคธุรกิจซึ่งควรมีบทบาทในการจัดการความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศ และเปิดเผยความเสี่ยงดังกล่าวให้เป็นส่วนหนึ่งของแนวปฏิบัติทางธุรกิจ



3.1 แหล่งพลังงาน ‘สีเขียว’

3.1.1 พลังงานคืออะไร

ทุกสิ่งทุกอย่างที่เคยถูกสร้างขึ้นในโลก ไม่ว่าจะโดยธรรมชาติหรือโดยมนุษย์ ล้วนเกิดขึ้นจากการใช้พลังงานทั้งสิ้น และการจะได้พลังงานในรูปแบบใดก็ตาม ก็จำเป็นต้องได้มันมาจากที่ใดที่หนึ่ง

ลองนึกถึงช็อกโกแลตแท่งหนึ่ง ซึ่งถูกส่งจากโรงงานมาที่ร้าน มีคนงานที่ผลิตและบรรจุหีบห่อไว้ สำหรับการผลิตสิ่งนี้ พวกเขาใช้เมล็ดโกโก้และน้ำตาล ซึ่งถูกนำมาจากไร่ที่มีคนอื่นปลูกโกโก้และอ้อย คนที่มีส่วนในการทำช็อกโกแลตเหล่านี้ล้วนต้องกินข้าวและซื้อเสื้อผ้าให้ตัวเอง เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตช็อกโกแลตก็ล้วนทำมาจากวัสดุ (เช่น เหล็ก พลาสติก ฯลฯ) ซึ่งได้มาจากแร่ธาตุต่าง ๆ (เช่น แร่เหล็ก ฯลฯ) ที่ขุดขึ้นมาจากดิน และเครื่องจักรเหล่านั้นก็ขับเคลื่อนด้วยพลังงาน เพราะฉะนั้น ทุกสิ่งที่มนุษย์มี ล้วนเกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน แม้แต่ตัวมนุษย์เองก็เติบโตมาจากตัวอ่อนเล็ก ๆ ที่ต้องใช้พลังงานจากสารเคมีในการเจริญเติบโตเช่นกัน

เป็นไปได้จริงหรือที่มนุษย์จะเป็นผู้รับจากธรรมชาติตลอดเวลาโดยไม่คืนอะไรกลับไปเลย แน่นอนว่าไม่ใช่! มนุษย์นำพลังงานที่ได้รับมาเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปแบบอื่น แล้วส่งกลับคืนสู่โลก ดังนั้นพลังงานจึงไม่เคยหายไป แต่เพียงแค่เปลี่ยนสถานะไปเท่านั้น เกือบจะทุกศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับกฎทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงและการถ่ายโอนพลังงานกลและพลังงานความร้อน มีชื่อว่า ‘**อุณหพลศาสตร์** (thermodynamics)’ ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ และกฎอนุรักษ์พลังงานก็คือกฎข้อแรกของอุณหพลศาสตร์นั่นเอง

กฎข้ออื่น ๆ ของอุณหพลศาสตร์บอกว่า ในขณะที่พลังงานเปลี่ยนสถานะ จะมีพลังงานส่วนน้อยบางส่วนสูญเสียไปและกระจายออก ซึ่งไม่สามารถ ‘รวบรวมกลับมา’ ได้อีก

ลองมาดูกันว่าผู้คนในปัจจุบันใช้พลังงานอย่างไร แล้วทำไมการใช้พลังงานกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศถึงเกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดขนาดนั้น

แล้วมนุษยชาติจะสามารถใช้พลังงานเพื่อเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจและสังคมของโลก ให้โลกใบนี้เขียวขจี เจริญรุ่งเรือง และเปี่ยมไปด้วยความสุขได้หรือไม่ ที่สำคัญที่สุดคือ มนุษย์ทุกคนจะเริ่มต้นลงมือเพื่อการเปลี่ยนแปลงนับตั้งแต่วันนี้ได้อย่างไร

3.1.2 แหล่งพลังงานหลัก

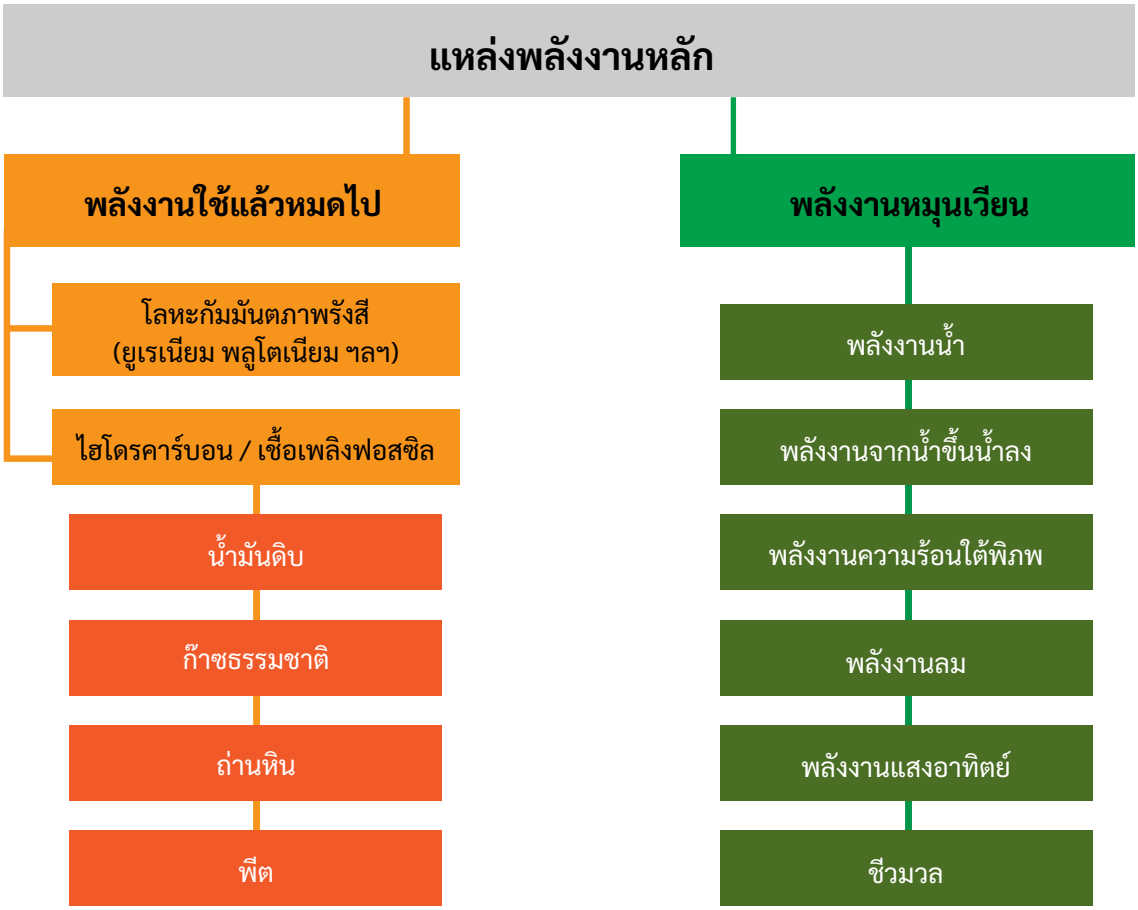
มนุษย์ใช้พลังงานมาตลอด นักวิทยาศาสตร์เริ่มต้นใคร่ครวญเกี่ยวกับกระบวนการนี้มาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยเริ่มศึกษารูปแบบพลังงานที่เรียบง่ายที่สุด นั่นคือ พลังงานกล ซึ่งในตอนนั้นเรียกกันว่า 'พลังชีวิต' ต่อมาจึงมีการค้นพบพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ตามมา เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานความร้อน และพลังงานนิวเคลียร์ ในการค้นพบพลังงานรูปแบบใหม่ ๆ เหล่านี้ มนุษย์ก็ได้สำรวจที่มาของพลังงานเหล่านั้น และหาทางนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ หรือ ตู้เย็น ซึ่งทั้งหมดนี้ทำงานได้ด้วยกระแสไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาในบ้าน และไฟฟ้านี่เองคือรูปแบบพลังงานที่มนุษย์คุ้นเคยมากที่สุด นั่นหมายความว่าไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในหลายด้านของชีวิตในสังคมยุคใหม่ และจะยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อบทบาทของพลังงานไฟฟ้าในด้านการขนส่งและการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นผ่านทางเทคโนโลยี เช่น ยานยนต์ไฟฟ้าและปั๊มความร้อน บทบาทของไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากกระบวนการผลิตบางอย่างที่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้า เช่น การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

ไฟฟ้ามาจากไหน

ผู้คนเรียนรู้ที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการแปรรูปพลังงานจากแหล่งต่าง ๆ ที่พบในธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้ว แหล่งพลังงานธรรมชาติบนโลกจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (แบบดั้งเดิม) และพลังงานหมุนเวียน (ทางเลือก) (ภาพที่ 3.1.2)

ภาพที่ 3.1.2 แหล่งพลังงานธรรมชาติหลัก

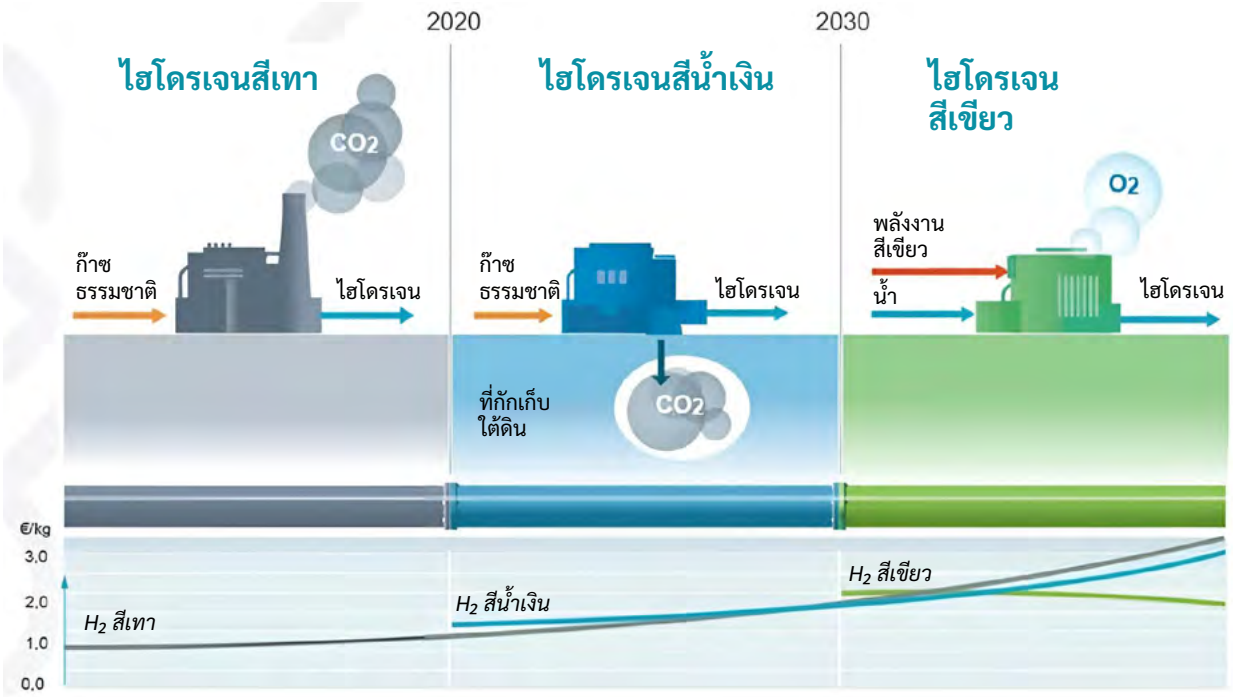


แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปจะถูกผลิตหรือทดแทนในธรรมชาติได้ช้ามากเมื่อเทียบกับการที่พลังงานเหล่านั้นถูกมนุษย์ใช้ไป แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปหลัก ๆ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และพีท ซึ่งยังเรียกอีกอย่างว่า ‘ไฮโดรคาร์บอน’ หรือ ‘เชื้อเพลิงฟอสซิล’ แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปยังรวมถึงโลหะกัมมันตภาพรังสี (เช่น ยูเรเนียม พลูโตเนียม ฯลฯ) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงานนิวเคลียร์

แหล่งพลังงานหมุนเวียนดึงพลังงานจากกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในธรรมชาติ แสงแดด ลม น้ำที่ไหล ฝน น้ำขึ้นน้ำลง และความร้อนที่แผ่ขึ้นมาจากพื้นดินสามารถให้พลังงานในปริมาณมหาศาล นอกจากนี้ แหล่งพลังงานเหล่านี้แทบจะไม่สิ้นสุด กล่าวคือ พลังงานเหล่านี้จะหมดไปได้ก็ในอนาคตที่ห่างไกลเกินนึกถึง เมื่อระบบสุริยะสิ้นสุดวงจรชีวิตของมันเอง ชีวมวล (เส้นใยพืช ขี้เถ้าสัตว์ และถ่านจากไม้ ซึ่งเคยใช้กันอย่างแพร่หลายในอดีต) ก็เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนเช่นกัน เพราะพวกมันถูกทดแทนได้อย่างรวดเร็วในธรรมชาติ

เชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่มีอัตราการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ คือ **ไฮโดรเจน** โดยไฮโดรเจนสามารถแบ่งออกเป็นสีเทา สีน้ำเงิน หรือสีเขียว ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของการผลิต ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติที่มีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน และไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ตามลำดับ (ภาพที่ 3.1.3) แม้ว่าในอดีตไฮโดรเจนจะถูกใช้เป็นวัตถุดิบต้นทางในอุตสาหกรรมหนักเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันมันได้กลายมาเป็นพลังงานแนวหน้าในการลดคาร์บอนในอุตสาหกรรมขนส่งและการเดินเรือ

ภาพที่ 3.1.3 ประเภทของไฮโดรเจน วิธีการผลิต และปีที่เริ่มต้นการผลิต



3.1.3 เชื้อเพลิงฟอสซิล

วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตบนโลกดำเนินไปจากสิ่งที่เรียบง่ายไปสู่สิ่งที่ซับซ้อน ครั้งหนึ่ง โลกเคยมีเพียงสิ่งมีชีวิตง่าย ๆ และพืชซึ่งดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ แล้วแปรเปลี่ยนพลังงานเหล่านั้นให้กลายเป็นตัวของมันเอง และร่องรอยการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นก็ยังคงหลงเหลืออยู่จนถึงปัจจุบัน นั่นก็คือ พลังงานที่สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นเคยสะสมไว้ยังคงดำรงอยู่ในสิ่งที่รู้จักกันในชื่อว่า ‘เชื้อเพลิงฟอสซิล’ ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายไปแล้ว น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และพีท ล้วนเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล

เชื้อเพลิงฟอสซิลคือมรดกตกทอดจากสิ่งมีชีวิตที่เคยอยู่บนโลกนี้มาก่อนมนุษย์ และมนุษย์ควรใช้มันอย่างประหยัดและด้วยความสำนึกในคุณค่า โดยจะต้องไม่ลืมว่า ไม่มีมรดกใดที่ไม่มีวันหมดสิ้น หากใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้อย่างไม่ไตร่ตรอง มนุษย์ก็จะไม่เหลืออะไรไว้ให้ลูกหลานเลย

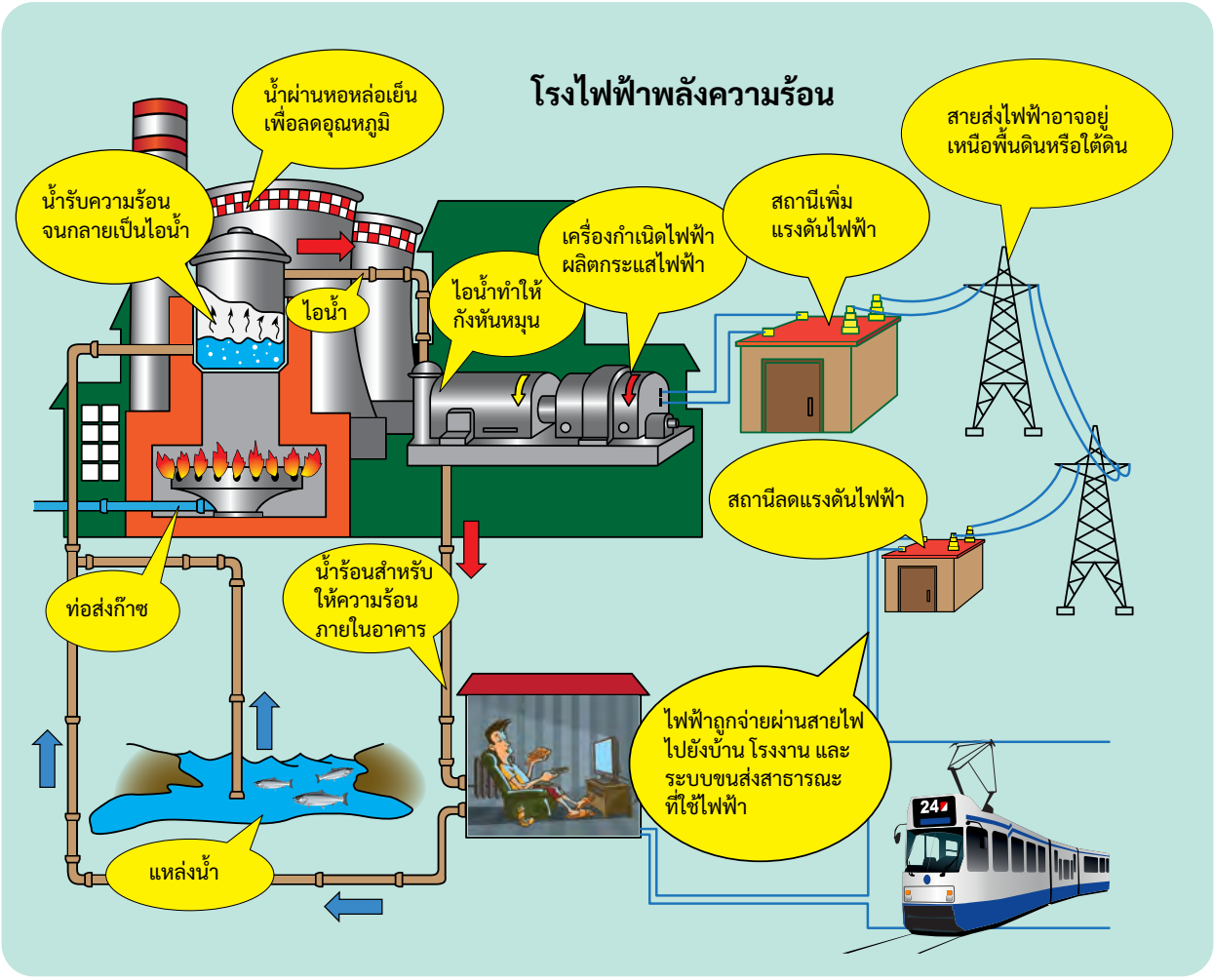
การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งรู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า ไฮโดรคาร์บอน เช่น ถ่านหิน น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ กระบวนการนี้เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยห้องเครื่องของโรงไฟฟ้าจะติดตั้งหม้อไอน้ำไว้ และเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้จะให้ความร้อนกับน้ำในหม้อนี้ จนน้ำกลายเป็นไอน้ำ แรงดันไอน้ำจะทำให้ใบพัดของกังหันหมุน และกังหันนี้จะขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา จากนั้นไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังบ้านเรือนและสถานที่ต่าง ๆ ผ่านสายส่งไฟฟ้า (ภาพที่ 3.1.4)

แหล่งพลังงานไฮโดรคาร์บอน (เชื้อเพลิงฟอสซิล) ได้แก่ น้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ (รวมถึงก๊าซจากชั้นถ่านหินและหินดินดาน) น้ำมันจากหินดินดาน และสารไวไฟอื่น ๆ ตลอดจนแร่ธาตุที่ได้จากการทำเหมืองใต้ดินหรือเหมืองเปิด เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก่อตัวขึ้นภายในเปลือกโลกเป็นเวลาหลายล้านปี จากซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายไปแล้ว เมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ ก็จะสามารถดึงพลังงานความร้อนออกมาใช้ประโยชน์ได้





ภาพที่ 3.1.4 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน



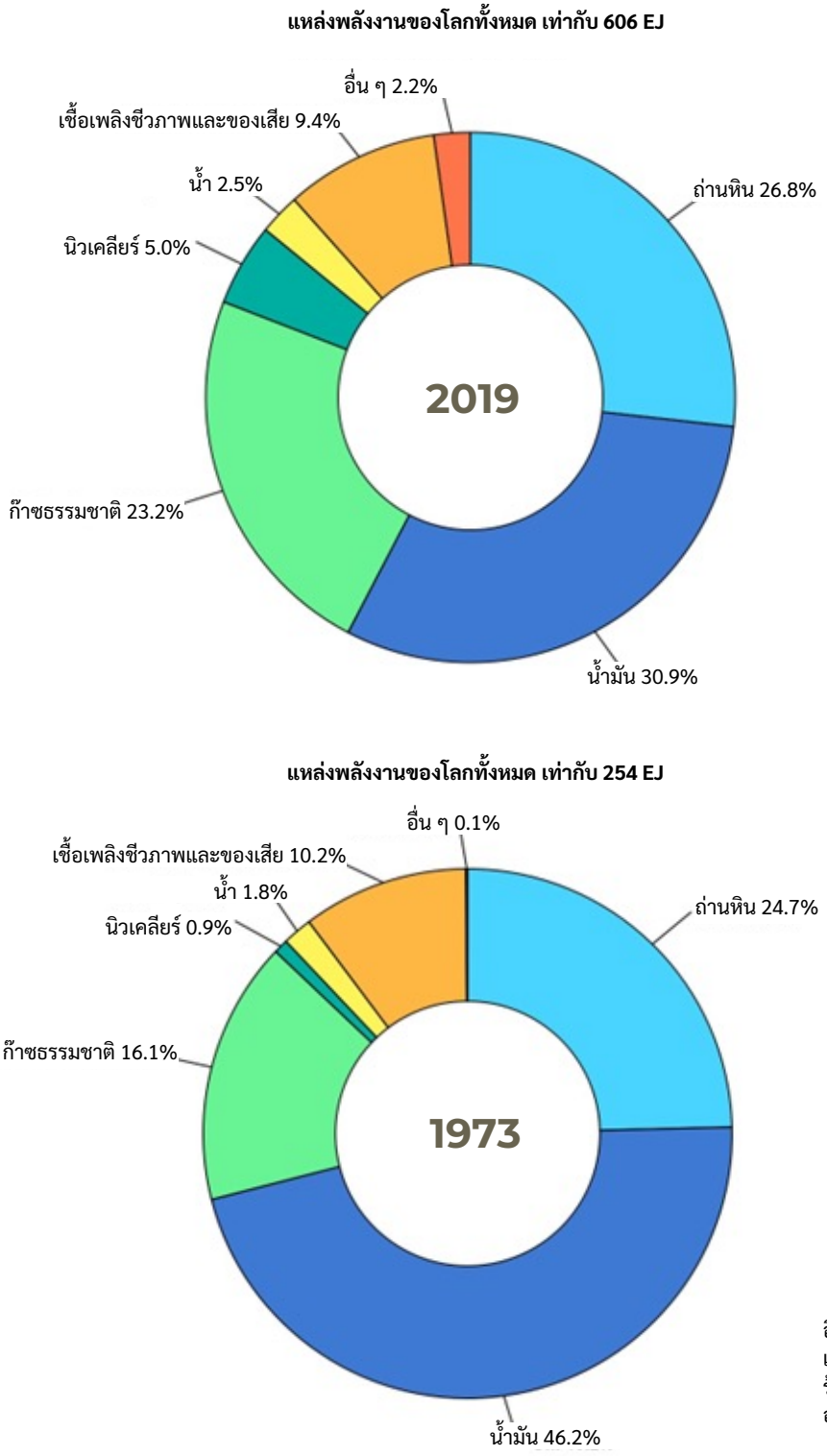
มีการค้นพบว่า การผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถผสมผสานกับการให้ความร้อนแก่น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยน้ำที่ได้รับความร้อนจะถูกส่งผ่านท่อไปยังระบบทำความร้อนและระบบน้ำร้อนของอาคารที่พักอาศัย โรงพยาบาล โรงเรียน และโรงเรียนอนุบาล โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่อื่น ๆ โรงไฟฟ้าแบบนี้เรียกว่า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Heat and Power หรือ CHP) โดยทั่วไป โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงไฟฟ้าที่ผลิตเฉพาะกระแสไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งโรงไฟฟ้าแบบหลังนี้เรียกว่าโรงไฟฟ้าควบแน่น (Condensation Power Plants)

ในบางกรณี การส่งน้ำร้อนจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมไปยังอาคารชุดอาจไม่สะดวกหรือไม่สามารถทำได้จริง ในกรณีเช่นนี้ จะมีการสร้างโรงหม้อไอน้ำ (boiler house) ขึ้น โดยใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่น้ำ เพื่อส่งไปยังระบบทำความร้อนของอาคารในพื้นที่ใกล้เคียง

การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มมากขึ้นในช่วงการปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งเริ่มขึ้นในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 1700 ในประเทศอังกฤษ ก่อนหน้านั้นเป็นเวลาหลายพันปี แหล่งพลังงานที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ ไม้ พลังงานแสงอาทิตย์ ลม และน้ำ แม้ว่าในบางพื้นที่จะมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่แล้วบ้างก็ตาม

ในปี พ.ศ. 2562 เชื้อเพลิงฟอสซิลยังคงเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลก โดยคิดเป็นร้อยละ 80.9 ของพลังงานปฐมภูมิทั้งหมดที่ใช้ทั่วโลก โดยมีสัดส่วนการใช้งาน ได้แก่ น้ำมันดิบร้อยละ 30.9 ถ่านหินร้อยละ 26.8 และก๊าซธรรมชาติร้อยละ 23.2 (ภาพที่ 3.1.5)

ภาพที่ 3.1.5 แหล่งพลังงานปฐมภูมิของโลกในปี พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2516



อื่น ๆ : แหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น ลม แสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำ ฯลฯ

การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีข้อเสียสำคัญอยู่สองประการ ประการแรกคือ เชื้อเพลิงฟอสซิลไม่ใช่ทรัพยากรที่ไม่มีวันหมด และปริมาณสำรองของโลกกำลังลดน้อยลง โดยเฉพาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ประการที่สองคือ การเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ่านหิน จะปล่อยสารมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมากออกสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งการสะสมของก๊าซเหล่านี้จะเพิ่มปรากฏการณ์เรือนกระจกให้มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอื่น ๆ และอาจเป็นอันตรายต่อสภาพอากาศ สิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์

มนุษย์เริ่มใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเมื่อไร



เหมืองถ่านหินที่เก่าแก่ที่สุดในโลกเปิดขึ้นในฮอลแลนด์เมื่อปี พ.ศ. 1656 แต่มีหลักฐานว่าผู้คนใช้ถ่านหิน ลิกไนต์ และพีทเป็นแหล่งเชื้อเพลิงมานานกว่านั้นมาก

ในยุคกลาง ถ่านหินเริ่มถูกขุดขึ้นในหลายแห่งของยุโรปแล้ว มันกลายเป็นสิ่งที่ราคาถูกกว่าไม้และมีการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น แม้กระทั่งในครัวเรือนที่ยากจน แต่เนื่องจากบ้านในสมัยนั้นไม่ได้มีปล่องไฟ ทำให้ห้องเต็มไปด้วยควันฉุน จนทำให้หายใจลำบาก

การใช้ถ่านหินเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเริ่มต้นการปฏิวัติอุตสาหกรรม

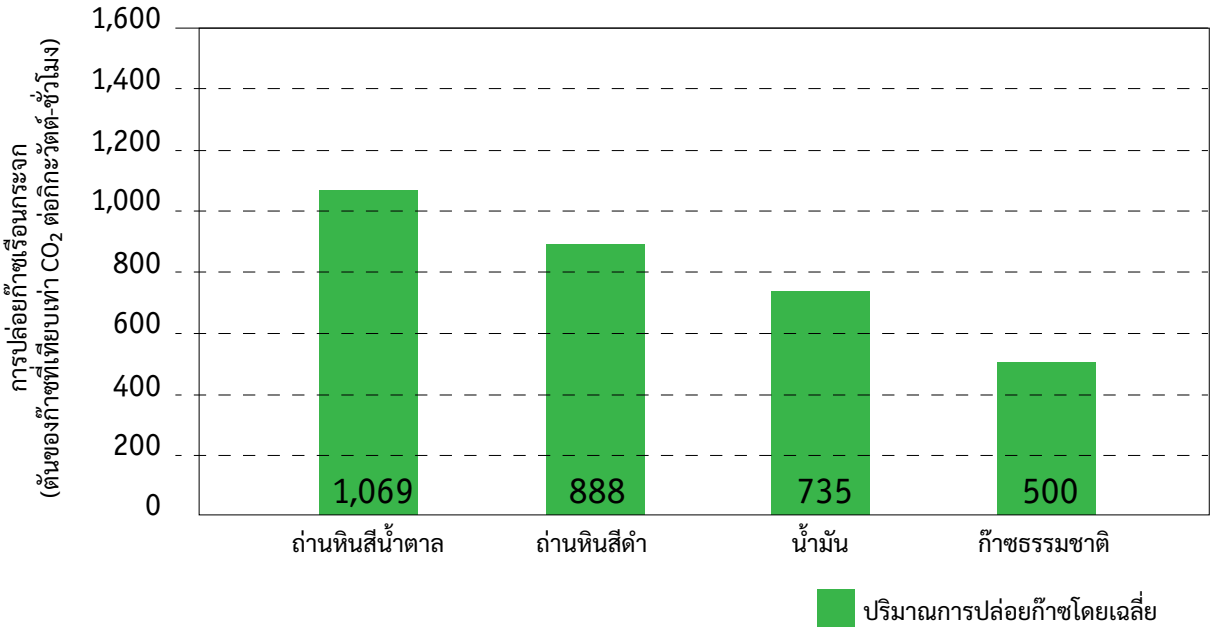
ถึงคริสต์ศตวรรษที่ 19 มีการขุดถ่านหินถึง 700 ล้านตันในแต่ละปี จากนั้นผู้คนก็หันมาสนใจน้ำมัน



น้ำมันดิบเป็นที่รู้จักของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยโบราณ แต่เริ่มถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 หลังจากที่นักเคมีชาวอเมริกัน เบนจามิน ซิลลิแมน (Benjamin Silliman) พบว่าสามารถสกัดน้ำมันก๊าซจากน้ำมันดิบได้ การเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมน้ำมันที่ตามมานั้นยังได้รับการขับเคลื่อนจากวิธีใหม่ในการสกัดน้ำมันโดยการเจาะบ่อแทนที่จะขุดบ่อธรรมดา ส่วนก๊าซธรรมชาติเข้ามามีบทบาทในการใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่างแพร่หลายเพียงในคริสต์ศตวรรษที่ 20

การประเมินโดยนักวิทยาศาสตร์ได้แสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตพลังงานทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อประโยชน์ต่อสภาพภูมิอากาศ มนุษยชาติจำเป็นต้องลดการใช้พลังงานจากไฮโดรคาร์บอนและหันมาใช้แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสภาพภูมิอากาศมากขึ้น

ภาพที่ 3.1.6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้แหล่งพลังงานไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ



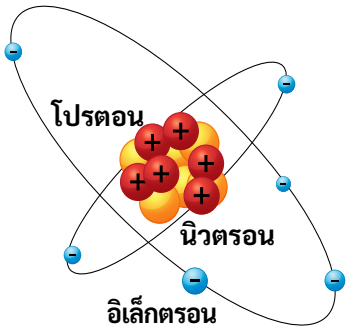
ตาราง 3.1

ปริมาณการปล่อยมลพิษเฉลี่ยสู่ชั้นบรรยากาศ
จากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดต่าง ๆ ในสหภาพยุโรป (กรัม/กิกะจูล)

ประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิล	ฝุ่น	คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)	ไนตรัสออกไซด์ (NO_x)	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)
ถ่านหินสีน้ำตาล	3,254	89	183	1,361
ถ่านหินสีดำ	1,203	89	292	765
น้ำมัน	16	16	195	1,350
ก๊าซธรรมชาติ	0.1	15	93	1

3.1.4 พลังงานนิวเคลียร์

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แทบจะไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเลย ซึ่งนำไปสู่คำถามว่าพลังงานนิวเคลียร์อาจเป็นคำตอบต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้หรือไม่ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เวลาศึกษาพัฒนาวิทยาการมาอย่างยาวนาน ก่อนจะสามารถนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือนได้ เริ่มแรกนั้น นักวิทยาศาสตร์พบว่าสารทุกชนิดประกอบขึ้นจากอนุภาคขนาดเล็กที่คล้ายกันจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า โมเลกุล ต่อมามีการค้นพบเพิ่มเติมว่าโมเลกุลนั้นก็ถูกสร้างขึ้นจากชุดอนุภาคที่เล็กกว่า เรียกว่า อะตอม อะตอมประเภทต่าง ๆ ถูกจัดแบ่งตามคุณสมบัติทางเคมี และเรียกรวมกันว่า ‘ธาตุเคมี’ โดยธาตุต่าง ๆ ได้รับการจัดลำดับเป็นตัวเลขและนำมาใส่รวมกันในตารางธาตุของเมนเดเลเยฟ (Mendeleev’s Periodic Table)



ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ โมเลกุลของสารต่าง ๆ สามารถสลายตัวออกเป็นอะตอม และรวมตัวใหม่กลายเป็นโมเลกุลของสารชนิดใหม่ได้ กระบวนการนี้เรียกว่า ‘ปฏิกิริยาเคมี’ ในระหว่างปฏิกิริยาเคมี พลังงานที่ยึดอะตอมไว้ด้วยกันจะถูกปลดปล่อยออกมา สารประกอบที่เกิดขึ้นใหม่อาจต้องการพลังงานมากกว่าหรือน้อยกว่าสารตั้งต้น ดังนั้นปฏิกิริยาเคมีอาจดูดซับพลังงานจากสิ่งแวดล้อมหรือปลดปล่อยพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ตัวอย่างเช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ให้พลังงานความร้อน

แต่จะเป็นอย่างไรหากการเปลี่ยนแปลงของธาตุไม่ได้เกิดขึ้นเพียงในระดับโมเลกุล หากแต่เกิดเล็กลงไปถึงระดับอะตอม นักวิทยาศาสตร์พบว่า อะตอมประกอบด้วยอนุภาคย่อยลงไปอีก ได้แก่ นิวเคลียส ซึ่งประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนที่ยึดแน่นอยู่ด้วยกัน และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อยู่รอบนอก นิวเคลียสของธาตุบางชนิดสามารถสลายตัวได้ โดยแรกสุดการสลายตัวของอะตอมจะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนในปริมาณมหาศาล (ซึ่งสามารถเก็บรวบรวมและนำไปใช้งานได้) และหลังจากนั้น อนุภาคพิเศษที่เรียกว่า รังสี จะถูกปล่อยออกมา กระบวนการนี้เรียกว่า ‘การสลายตัวของกัมมันตรังสี’ หรือ ‘กัมมันตภาพรังสี’

กัมมันตภาพรังสีเป็นปรากฏการณ์ที่มีอยู่โดยธรรมชาติบนโลก ตามข้อมูลของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency: IAEA) ปริมาณรังสีพื้นหลังตามธรรมชาติที่มนุษย์ได้รับโดยเฉลี่ยทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 2.4 มิลลิซีเวิร์ต (mSv) ต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณรังสีในระดับต่ำที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และในบางกรณียังถือว่าจำเป็นต่อการดำรงอยู่ของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติด้วย อย่างไรก็ตาม หากได้รับรังสีในปริมาณสูงกว่านี้อาจก่อให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้





ในปี พ.ศ. 2518 ผู้เชี่ยวชาญในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทดลองคำนวณความน่าจะเป็นของอุบัติเหตุร้ายแรงภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นครั้งแรก ผลการศึกษาระบุว่า อุบัติเหตุดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเพียงหนึ่งครั้งในรอบ 10,000 ปี อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์ดังกล่าวกลับเกิดขึ้นจริงในเพียงสี่ปีถัดมา ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทรีไมล์ไอแลนด์ ใกล้เมืองแฮร์ริสเบิร์ก ความเสียหายโดยตรงจากอุบัติเหตุครั้งนั้นถูกประเมินว่ามีมูลค่าประมาณหนึ่งพันล้านดอลลาร์สหรัฐ และความเสียหายทางอ้อมมีมูลค่าหนึ่งแสนล้านดอลลาร์สหรัฐ แม้ว่าจะมีผู้ได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของรังสีน้อยมากก็ตาม เจ็ดปีให้หลัง ได้เกิดอุบัติเหตุขึ้นอีกครั้งที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ใกล้เมืองเชอร์โนบิล ในอดีตสหภาพโซเวียต ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ด้านนิวเคลียร์ในพื้นที่นั้นก็เคยยืนยันเช่นเดียวกันว่า อุบัติเหตุในลักษณะนี้มีโอกาสเกิดขึ้นเพียงหนึ่งครั้งในรอบ 10,000 ปี

คลอส เทาเบอ (Klaus Taube) อดีตผู้อำนวยการบริษัทอินเทอราทอม (Interatom) ประเทศเยอรมนี ได้ให้ความเห็นว่า การใช้เพียงค่าสถิติเพื่อประมาณการโอกาสเกิดอุบัติเหตุเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ระเบิดนั้นเป็นเรื่องไร้สาระที่อ้างหลักวิทยาศาสตร์ปลอม ๆ เท่านั้น

มนุษย์ได้เรียนรู้วิธีควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์และนำพลังงานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวมาใช้ กระบวนการนี้เป็นกลไกพื้นฐานของการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ใช้การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นแหล่งพลังงาน กระบวนการอันซับซ้อนดังกล่าวสามารถให้พลังงานในปริมาณมหาศาลจากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เพียงปริมาณเล็กน้อย โดยไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ ในด้านผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ พลังงานนิวเคลียร์ถือว่ามีความสะอาดอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ต้องไม่ลืมว่า กระบวนการสกัดแร่ยูเรเนียมเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นใช้พลังงานสูง และก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก





ข้อเสียหลักของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์คือ จะมีนิวเคลียสใหม่เกิดขึ้นจากกระบวนการสลายตัวของกัมมันตรังสีในการสังเคราะห์สร้างพลังงาน เรียกว่า นิวเคลียสลูก ซึ่งนิวเคลียสลูกก็สามารถปล่อยกัมมันตรังสีได้เช่นกัน ทั้งยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและไม่สามารถปล่อยกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติได้ เนื่องจากเป็นอันตราย นักวิทยาศาสตร์พิจารณาอย่างรอบคอบมายาวนานถึงแนวทางต่าง ๆ ในการกำจัด ‘กากกัมมันตรังสี’ อย่างปลอดภัย ปัจจุบันมีการดำเนินการพัฒนาโครงการนำร่องสำหรับเทคโนโลยีพลังงานนิวเคลียร์รุ่นใหม่ โดยมุ่งใช้กากกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่มีอยู่เดิมเป็นต้นขั้วเชื้อเพลิง และใช้เทคโนโลยีทันสมัยอย่างเครื่องปฏิกรณ์นิวตรอนเร็ว ซึ่งสร้างขึ้นจากหลักการวัฏจักรเชื้อเพลิงขั้นสูง นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่กำลังดำเนินการศึกษาอยู่และมีคาดว่าจะมีผลลัพธ์ที่ดีในอนาคต ได้แก่การวิจัยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็กแบบโมดูลาร์ ซึ่งอาจนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเมืองต่าง ๆ โดยตรงได้ หากแนวทางเหล่านี้ดำเนินการได้ตามแผนอย่างสมบูรณ์ ก็อาจกล่าวได้ว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะปลอดภัยอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม ประเด็นด้านสุขภาพและความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยังคงเป็นข้อกังวลสำคัญ อันตรายที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ยังคงมีอยู่ แม้กระทั่งหลังจากที่โรงไฟฟ้าปิดไปแล้ว ก็ยังมีข้อถกเถียงอย่างต่อเนื่องว่าควรส่งเสริมการพัฒนาโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต่อไป หรือควรยุติการใช้งานพลังงานนิวเคลียร์

เหตุระเบิดที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชอร์โนบิลเมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2539 ได้สร้างความตื่นตระหนกแก่ประชาคมโลก มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บสาหัสจำนวนมาก พื้นที่กว่า 5 ล้านเฮกตาร์ (เทียบเท่ากับขนาดของประเทศสโลวาเกีย) กลายเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ทำการเกษตรได้อีกต่อไป มีการกำหนดเขตหวงห้ามรัศมี 30 กิโลเมตรรอบพื้นที่เกิดเหตุ และชุมชนขนาดเล็กหลายร้อยแห่งก็ต้องถูกทิ้งร้างและรื้อทำลายไป

เวลาล่วงเลยมาแล้วหลายปี ในปัจจุบัน ผู้ออกแบบโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยืนยันว่า ความผิดพลาดในอดีตจะไม่เกิดขึ้นอีกด้วยการใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์รุ่นใหม่ที่ได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวการณ์ปัจจุบันที่สภาพภูมิอากาศกำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง การพยากรณ์ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ผิดปกติย่อมเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เช่นในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในญี่ปุ่น แน่นอนว่ามีการพิจารณาถึงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2554 แผ่นดินไหวรุนแรงและคลื่นสึนามิที่ตามมาได้ส่งผลให้ระบบหล่อเย็นทั้งแบบภาวะปกติและฉุกเฉินของแกนเครื่องปฏิกรณ์ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่นล้มเหลว ส่งผลให้เกิดการระเบิดจากความร้อนตามมา สารกัมมันตรังสีปริมาณมากรั่วไหลสู่ทะเลและชั้นบรรยากาศ และส่งผลกระทบไปยังหลายประเทศ สามปีให้หลัง ระดับรังสีในบริเวณชายฝั่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟุกุชิมะ-1 (Fukushima-1) ยังคงสูงกว่าระดับปกติมากกว่า 100 เท่า ประชาชนมากถึง 80,000 คนต้องอพยพออกจากพื้นที่ แม้ว่าทางการญี่ปุ่นจะให้คำมั่นว่าสถานการณ์ได้เข้าสู่ภาวะปกติแล้ว แต่สองปีต่อจากนั้น กลับพบว่าสารกัมมันตรังสีได้แพร่เข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินใต้สถานีไฟฟ้า และมีระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเกิดการรั่วไหลเพิ่มเติมจากถังเก็บน้ำปนเปื้อนรังสีอีกด้วย

พลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง แต่ก็มีอันตรายเช่นกัน หากไม่สามารถควบคุมความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ อาจส่งผลให้พลังงานรูปแบบนี้ไม่ปลอดภัย หรือมีต้นทุนสูง อย่างไรก็ตาม มีความสนใจพลังงานนิวเคลียร์เพิ่มขึ้นในช่วงหลัง เนื่องจากความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และแรงกดดันในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

3.1.5 แหล่งพลังงานหมุนเวียน

อย่างที่ได้เห็นไปแล้ว แหล่งพลังงานหมุนเวียน คือแหล่งพลังงานที่ใช้กระบวนการและทรัพยากรธรรมชาติซึ่งมีอยู่อย่างแทบไม่จำกัด หรือสามารถฟื้นฟูได้อย่างรวดเร็วตามธรรมชาติ แหล่งพลังงานเหล่านี้ ได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม กระแสน้ำ พลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง และความร้อนใต้พิภพ พลังงานในรูปแบบเหล่านี้มักถูกเรียกว่า ‘พลังงานทางเลือก’ หรือ ‘พลังงานสีเขียว’ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศเหมือนกับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน พลังงานชีวมวลก็จัดอยู่ในกลุ่มพลังงานสีเขียวเช่นกัน แม้จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากพลังงานสีเขียวประเภทอื่น ๆ ด้วยเหตุผลหลายประการ

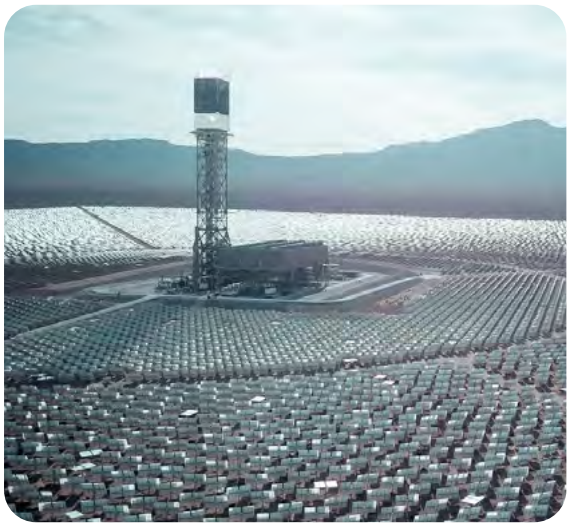
ในปี พ.ศ. 2565 พลังงานหมุนเวียนคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 29 ของการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 27 ในปี พ.ศ. 2562 ในปัจจุบัน การสร้างโรงผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการสร้างโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงทรัพยากรหมุนเวียนได้ ตัวอย่างเช่น ประเทศในภูมิภาคแอฟริกาซับซาฮาราหลายประเทศได้บรรลุเป้าหมายด้านพลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งปัจจุบันคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 85 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดในภูมิภาคดังกล่าว

ผู้เชี่ยวชาญคาดการณ์ความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนในอนาคตไว้หลากหลายรูปแบบ ความเป็นไปได้ที่ดีที่สุดคือ สัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนในแหล่งพลังงานหลักทั่วโลกจะต้องเพิ่มจากร้อยละ 16 ในปี พ.ศ. 2563 เป็นร้อยละ 77 ในปี พ.ศ. 2593 เพื่อควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส ที่สำคัญคือ หากเพิ่มกำลังผลิตพลังงานหมุนเวียนได้สามเท่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานขึ้นอีกเท่าตัว จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 80 ของอัตราการลดการปล่อยก๊าซที่จำเป็นทั้งหมดเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้

การพัฒนาเทคโนโลยี การเติบโตของตลาด และนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศ มีส่วนสำคัญในการลดต้นทุนของพลังงานหมุนเวียนและขยายการใช้งานไปทั่วโลกแม้ต้นทุนของวัสดุและอุปกรณ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ตาม ประเทศจีนถือเป็นผู้ผลักดันสำคัญที่ทำให้ต้นทุนของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมบนบกลดลงทั่วโลก เนื่องจากตลาดภายในประเทศมีขนาดใหญ่

ภาพที่ 3.1.7 ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานชีวภาพและสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์





ตาราง 3.2 เปรียบเทียบต้นทุนของเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนประเภทต่าง ๆ

	ต้นทุนติดตั้งรวม (2565 USD/kw)			อัตราความสามารถในการผลิต (%)			ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย (2565 USD/kWh)		
	2553	2565	% ความเปลี่ยนแปลง	2553	2565	% ความเปลี่ยนแปลง	2553	2565	% ความเปลี่ยนแปลง
พลังงานชีวมวล	2 904	2 162	-26%	72	72	1%	0.082	0.061	-25%
ความร้อนใต้พิภพ	2 904	3 478	20%	87	85	-2%	0.053	0.056	6%
พลังงานน้ำ	1 407	2 881	105%	44	46	4%	0.042	0.061	47%
พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV)	5 124	876	-83%	14	12	23%	0.445	0.049	-89%
พลังงานแสงอาทิตย์เข้มข้น (CSP)	10 082	4 274	-58%	30	36	19%	0.380	0.118	-69%
พลังงานลมบริเวณชายฝั่ง	2 179	1 274	-42%	27	37	35%	0.107	0.033	-69%
พลังงานลมนอกชายฝั่ง	5 217	3 461	-34%	38	42	10%	0.197	0.081	-59%

หมายเหตุเกี่ยวกับคำศัพท์: ต้นทุนติดตั้งรวม หมายถึง ต้นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ปัจจัยกำลังการผลิต หมายถึง ระยะเวลารวมที่โรงไฟฟ้าดำเนินการผลิตไฟฟ้า ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย หมายถึง ต้นทุนเฉลี่ยในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน CSP ย่อมาจาก concentrated solar power solar PV ย่อมาจาก solar photovoltaics.

ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ธรรมชาติมอบไว้สำหรับการกำเนิดชีวิตบนโลก ดังนั้นจึงควรมองหาวิธีในการใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์โดยตรง แสงแดดยามเที่ยงสามารถให้พลังงานความร้อนกับพื้นผิวโลกในแต่ละตารางเมตรได้ประมาณหนึ่งเมกะวัตต์

ห้องที่มีหน้าต่างย่อมอบอุ่นขึ้นเมื่อแสงแดดส่องเข้ามา หากแสงแดดยังส่องผ่านเข้ามาแต่ภายในบ้านยังคงเย็นอยู่ ลองเปิดม่านและเช็ดกระจกหน้าต่างให้สะอาด แสงอาทิตย์จะสามารถช่วยเพิ่มความอบอุ่นภายในห้องได้อีกเล็กน้อย ในอดีตตามหมู่บ้านต่าง ๆ ในยุโรป ผู้คนมักใช้มู่ลี่ไม้หรือบานเกล็ดไม้เพื่อลดความร้อนจากแสงแดดในช่วงกลางวัน โดยจะเปิดบานหน้าต่างเพื่อรับแสง และปิดบานเกล็ดในตอนกลางคืนเพื่อเก็บกักความอบอุ่นที่สะสมไว้ภายในบ้าน

ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ มนุษย์ได้เรียนรู้เทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการ ‘ดักจับแสงอาทิตย์’ ปัจจุบันมีสองวิธีหลักในการใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์

หน่วยการวัดพลังงานไฟฟ้า

วัตต์ (Watt) คือหน่วยของพลังงาน หนึ่งวัตต์ถูกกำหนดให้เท่ากับหนึ่งจูลต่อวินาที (1 J/s) ซึ่งหมายถึงอัตราการถ่ายเทหรือแปลงพลังงานที่หนึ่งจูลต่อวินาที

- **1 วัตต์ (W)** เท่ากับกำลังของเครื่องส่งสัญญาณในโทรศัพท์มือถือทั่วไป
- **1 กิโลวัตต์ (kW, 1,000 W)** เท่ากับกำลังของเครื่องทำความร้อนขนาดเล็ก โดยประมาณเท่ากับพลังงานความร้อนที่ดวงอาทิตย์ให้กับพื้นที่หนึ่งตารางเมตรในช่วงเที่ยงวัน
- **1 เมกะวัตต์ (MW, 1,000 kW)** เท่ากับกำลังของรถจักรหัวรถไฟ มีพลังงานเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3 ถึง 10 เมกะวัตต์
- **1 กิกะวัตต์ (GW, 1,000 MW)** คือหน่วยวัดกำลังผลิตของบรรดาโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดในโลก
- **1 เทราวัตต์ (TW, 1,000 GW)** เท่ากับพลังงานสูงสุดของกำลังฟ้าผ่า

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collectors) ทำหน้าที่ดักจับความร้อนจากดวงอาทิตย์ น้ำจะไหลผ่านท่อที่อยู่ภายในแผงรับพลังงานและได้รับความร้อน (บางครั้งใช้อากาศหรือน้ำยาป้องกันการแข็งตัวแทนน้ำ) แผงรับพลังงานประเภทนี้สามารถนำมาใช้ในการทำความร้อนให้กับอาคาร และใช้สำหรับผลิตน้ำร้อนเพื่อการใช้งานในชีวิตประจำวันได้

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cells) เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการเก็บและแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแปลงแสงแดดให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างที่คุ้นเคยกันดีคือ เครื่องคิดเลขที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์และโคมไฟสนามที่เก็บพลังงานในช่วงกลางวันและส่องแสงในเวลากลางคืน โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ซึ่งเรียกว่า ‘โซลาร์ฟาร์ม’ ก็ใช้หลักการเดียวกัน

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งบนหลังคาบ้านโดยเอียงทำมุมกับแนวราบในองศาที่เท่ากับละติจูดของพื้นที่ที่ใช้งานอยู่



เซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถนำมาใช้ในการให้พลังงานกับยานพาหนะต่าง ๆ เช่น เรือ รถ และแม้แต่เครื่องบิน! ในประเทศอิตาลีและญี่ปุ่น เซลล์แสงอาทิตย์ถูกติดตั้งบนหลังคาของขบวนรถไฟ เพื่อผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และระบบเตือนภัย

ข้อดีหลักของพลังงานแสงอาทิตย์ คือสามารถใช้ได้อย่างอิสระ ไม่จำกัด และปลอดภัย การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือมลพิษใด ๆ ดังนั้น วิธีการผลิตพลังงานรูปแบบนี้จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ

พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำร้อนและไฟฟ้า

การใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์ในการผลิตพลังงาน เป็นสิ่งที่มนุษย์ทำมาอย่างยาวนานในประเทศเขตร้อน ซึ่งบนหลังคาบ้านมักมีถังเก็บน้ำ โดยน้ำภายในถังเหล่านี้ก็มักจะได้รับความร้อนจากแสงแดด และสามารถนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันได้

ที่ประเทศอิสราเอล ทุกอาคารจะต้องติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์สำหรับการทำน้ำร้อน เมืองไฟรบวร์กในประเทศเยอรมนีเป็นตัวอย่างที่ดีในการนำศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการให้พลังงานแก่คนทั้งชุมชน การทดลองลักษณะนี้เริ่มแพร่หลายมากขึ้นทั่วโลก



ข้อเสียของพลังงานแสงอาทิตย์คือต้องพึ่งพาสภาพอากาศและช่วงเวลาของวันเป็นอย่างมาก และมีต้นทุนสูงเนื่องจากใช้ธาตุหายากในการผลิต อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีใหม่ ๆ ช่วยลดต้นทุนการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างรวดเร็วและขยายขอบเขตการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลล่าสุดแสดงให้เห็นว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนลดลงกว่าร้อยละ 80 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ส่งผลให้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก อย่างไรก็ตาม การจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุยังคงเป็นปัญหาอยู่ เนื่องด้วยแผงโซลาร์เซลล์มีธาตุที่มีสารพิษเป็นส่วนประกอบ ตลาดสำหรับการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ยังไม่เกิดขึ้นอย่างเต็มรูปแบบ และแผงเหล่านี้มีอายุการใช้งานยาวนานหลายทศวรรษ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือการใช้พลังงานและน้ำสะอาดปริมาณมากเพื่อผลิตแผงโซลาร์เซลล์ วิศวกรกำลังพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และผู้ผลิตจำเป็นต้องพัฒนาระบบสำหรับการกำจัดและรีไซเคิลแผงที่หมดอายุการใช้งาน

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกมีขนาดเท่าใด และมีแนวทางการจัดการพลังงานแสงอาทิตย์หลังช่วงเวลาพระอาทิตย์ตกดินอย่างไร

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตมากที่สุดในโลกคือ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ โรงไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ทาลาทาน (Talatan PV Power Station) ในประเทศจีน โดยเป็นฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์ที่ครอบคลุมพื้นที่ถึง 609.6 ตารางกิโลเมตร Talatan PV Power Station สามารถผลิตไฟฟ้าได้เป็นปริมาณมหาศาลถึง 9 กิกะวัตต์ โดยมีผลผลิตพลังงานเฉลี่ยต่อปีประมาณ 9,600 กิกะวัตต์-ชั่วโมง ทั้งนี้ โรงไฟฟ้าทาลาทานไม่ได้เป็นเพียงตัวอย่างชั้นนำของอนาคตด้านพลังงานหมุนเวียนเท่านั้น แต่ยังเป็นกรณีศึกษาอันโดดเด่นที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิศาสตร์และเศรษฐกิจของพื้นที่เพื่อผลประโยชน์ของประชาชนอีกด้วย

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อันดับสองของโลก ณ ปี พ.ศ. 2565 คือ บัดลา โซลาร์พาร์ก (Bhadla Solar Park) ตั้งอยู่ในเขตจอดห์ปูร์ รัฐราชสถาน ประเทศอินเดีย โรงไฟฟ้าแห่งนี้เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.25 กิกะวัตต์ และยังเป็นโซลาร์ฟาร์มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก ครอบคลุมพื้นที่เกือบ 14,000 เอเคอร์ ใช้งบประมาณในการก่อสร้างประมาณ 1.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ประโยชน์ที่สำคัญของโครงการนี้ได้แก่ การช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานฟอสซิลของประเทศอินเดีย ในพื้นที่ชนบท พลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นแหล่งแสงสว่างภายในบ้านที่ปลอดภัยและดีต่อสุขภาพมากกว่าการใช้ตะเกียงน้ำมัน นอกจากนี้ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เช่น บัดลา โซลาร์พาร์ก ยังช่วยกระตุ้นการเติบโตทางเศรษฐกิจและสร้างงานในพื้นที่โดยรอบ

อีกหนึ่งตัวอย่างที่น่าสนใจคือโรงไฟฟ้าโซลานา เจเนอเรติง สเตชัน (Solana Generating Station) ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากเมืองฟีนิกซ์ รัฐแอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ไปทางตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 110 กิโลเมตร โรงไฟฟ้าแห่งนี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 280 เมกะวัตต์จากพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นหนึ่งในโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีกระจกพาราโบลิค (Parabolic Mirror) ที่มีกำลังผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในโลก แต่ความพิเศษของโรงไฟฟ้าโซลานา เจเนอเรติง สเตชันไม่ได้อยู่ที่ขนาดของมันเท่านั้น แต่อยู่ที่ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าต่อเนื่องได้นานถึงหกชั่วโมงหลังจากพระอาทิตย์ตก โดยอาศัยถังเก็บความร้อนแบบพิเศษ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกเป็นช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในภูมิภาคนี้



โครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดัวเตียง (Dau Tieng Solar Power Complex) ในประเทศเวียดนาม เป็นหนึ่งในฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โครงการนี้แล้วเสร็จในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 โดยมีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 420 เมกะวัตต์ และครอบคลุมพื้นที่ 540 เฮกตาร์ ใกล้กับทะเลสาบดัวเตียง ในจังหวัดเตยนินห์ (Tay Ninh) โรงไฟฟ้าแห่งนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 688 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เพียงพอสำหรับจ่ายไฟฟ้าให้แก่ครัวเรือนเกือบ 320,000 หลังคาเรือน ณ เดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลอยน้ำ ซีราตา (Cirata Floating Solar Power Plant) ในประเทศอินโดนีเซีย ถือเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลอยน้ำที่ใหญ่ที่สุดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเปิดใช้งานอย่างเป็นทางการเมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 โรงไฟฟ้าแห่งนี้มีกำลังการผลิต 192 เมกะวัตต์ และครอบคลุมพื้นที่ 250 เฮกตาร์ในอ่างเก็บน้ำซีราตา จังหวัดชวาตะวันตก นับเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลอยน้ำที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสามของโลก โครงการนี้พัฒนาโดยบริษัทมาสดาร์ (Masdar) และคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 300 กิกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี เพียงพอสำหรับจ่ายไฟให้กับบ้านเรือนราว 50,000 หลัง พร้อมลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 214,000 ตันต่อปี

ผู้เชี่ยวชาญจำนวนมากมองว่าพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานแห่งอนาคต และเป็นหนึ่งในทางเลือกหลักที่สามารถทดแทนแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลแบบดั้งเดิมได้ รัฐบาลของหลายประเทศให้การสนับสนุนการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ ขณะที่บริษัทเอกชนก็ลงทุนอย่างมากในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศจีนเป็นผู้นำระดับโลกด้านพลังงานหมุนเวียน โดยมีสัดส่วนกำลังการผลิตจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์รวมกันเกือบครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตทั่วโลก รองลงมาคือสหรัฐอเมริกาและอินเดีย แม้ประเทศเยอรมนีจะไม่ใช่ประเทศที่มีแสงแดดจัด แต่ก็เป็นหนึ่งในประเทศผู้นำของโลกในการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศอื่น ๆ ที่มีบทบาทโดดเด่น ได้แก่ สเปน สวีเดน คอสตาริกา ไอซ์แลนด์ อิตาลี ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เคนยา โมร็อกโก นิวซีแลนด์ นอร์เวย์ อุรุกวัย และสหราชอาณาจักร รายชื่อประเทศเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่าพลังงานแสงอาทิตย์กำลังมีบทบาทสำคัญมากขึ้นทั้งในประเทศพัฒนาแล้ว ประเทศกำลังพัฒนา และประเทศเศรษฐกิจเกิดใหม่ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทห่างไกลของประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งไม่ได้เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยให้สามารถเข้าถึงบริการด้านพลังงานที่ทันสมัยและมีต้นทุนต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พลังงานลม

ลมเป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย หลักการของพลังงานลมคือการเปลี่ยนพลังงานกล (พลังงานจากการเคลื่อนไหว) ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า กังหันลมขนาดเล็กหรือของเล่นที่ขับเคลื่อนด้วยลมอาจให้ความสนุกสนาน แต่หากสร้างกังหันลมขนาดใหญ่และติดตั้งในพื้นที่ที่มีลมแรง การหมุนของใบพัดสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในระดับสาธารณะได้

กังหันลมมีการใช้งานมาตั้งแต่สมัยโบราณ แต่เริ่มได้รับความนิยมมากเป็นพิเศษในยุโรปช่วงยุคกลาง เป็นช่วงเวลายาวนานในประวัติศาสตร์ที่มนุษย์มีเพียงกังหันลมและกังหันน้ำเป็นเครื่องจักรสำหรับใช้งาน โดยกังหันลมส่วนใหญ่นำมาใช้ในการโม่ข้าวให้เป็นแป้ง แปรรูปไม้ หรือใช้ในระบบชลประทาน ในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีการใช้กังหันลมในการสูบน้ำออกจากพื้นที่ที่ถมทะเล เพื่อเปลี่ยนเป็นพื้นที่การเกษตร

กังหันลมสมัยใหม่สำหรับผลิตไฟฟ้าเองก็ใช้หลักการเดียวกับกังหันลมแบบดั้งเดิม

กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้ามักตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งมีลมพัดอย่างต่อเนื่อง และเมื่อไม่นานมานี้ ก็มีการสร้างกังหันลมในทะเลได้แล้ว ในปัจจุบัน สามารถสร้าง ‘ฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่ง’ ได้ในระยะ 10 - 12 กิโลเมตรหรือไกลกว่านั้นจากชายฝั่ง เสาโครงสร้างของกังหันจะถูกฝังไว้ในโครงสร้างที่พื้นทะเลลึกถึง 30 เมตร เทคโนโลยีล่าสุดยังเอื้อให้สามารถติดตั้งกังหันลมบนแท่นลอยน้ำได้อีกด้วย





ในบริเวณนอกชายฝั่งฟากตะวันออกของประเทศอังกฤษ มีโครงการผลิตพลังงานลมในทะเลสองโครงการ ซึ่งในปัจจุบันถือว่าเป็นโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมที่กำลังดำเนินการอยู่ที่ใหญ่ที่สุดในโลก โครงการทั้งสองได้แก่ ฮอร์นซี 2 ขนาด 1.32 กิกะวัตต์ และ ฮอร์นซี 1 ขนาด 1.2 กิกะวัตต์ ซึ่งเมื่อรวมกันถือว่าเป็นฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งที่ใหญ่ที่สุดในโลก



โครงการฮอร์นซี 2 มีพื้นที่ 462 ตารางกิโลเมตร และสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับบ้านเรือนมากกว่า 1.3 ล้านหลังคาเรือน เมื่อรวมกันแล้ว ฮอร์นซี 1 และ 2 สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับบ้านเรือนรวมกันได้ถึง 2.5 ล้านหลังคาเรือน ทั้งนี้ โครงการฮอร์นซี 3 ขนาด 2.8 กิกะวัตต์ก็กำลังอยู่ในขั้นวางแผน และคาดว่าจะเริ่มดำเนินการได้ภายในไม่กี่ปีข้างหน้า

ตัวอย่างอีกแห่งคือ โครงการเกรทเตอร์ชางฮั่ว มีกำลังผลิตรวม 900 เมกะวัตต์ และถือเป็นฟาร์มกังหันลมไกลฝั่งที่ใหญ่ที่สุดและเป็นแห่งแรกในไต้หวัน ฟาร์มกังหันลมแห่งนี้มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้ไต้หวันสามารถขยายขอบเขตการใช้พลังงานทดแทนได้อย่างรวดเร็ว และเป็นที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้ไต้หวันสามารถบรรลุเป้าหมายการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ตามที่ได้วางเป้าหมายไว้

ฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่ประกอบด้วยกังหันลมนับร้อยและครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง (อาจกว้างได้ถึงหลายร้อยตารางกิโลเมตร) ฟาร์มเหล่านี้เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศ และส่งกระแสไฟฟ้าไปยังที่หมายที่อยู่ไกลออกไป ฟาร์มกังหันลมขนาดเล็กหรือกังหันลมเดี่ยว ๆ สามารถให้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล หรือใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าแก่สิ่งปลูกสร้างขนาดเล็ก

ในปี พ.ศ. 2565 พลังงานลมผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 2,100 เทราวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นกว่าร้อยละ 7 ของการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก และมากกว่าพลังงานหมุนเวียนแบบรูปแบบใหม่ประเภทอื่น ๆ ทั้งหมดรวมกัน ถือเป็นแหล่งพลังงานที่เติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ก้าวหน้า ทำให้สามารถใช้พลังงานลมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สัดส่วนของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 ในปี พ.ศ. 2565) โดยคิดเป็นร้อยละ 12.2 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดในปี พ.ศ. 2565 ผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานพลังงานสากล (International Energy Agency: IEA) คาดการณ์ว่าพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์จะเติบโตเร็วขึ้นในทศวรรษนี้ และสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงถึงร้อยละ 18 ของพลังงานไฟฟ้าทั่วโลกภายในปี พ.ศ. 2569 เมื่อรวมกับพลังน้ำแบบดั้งเดิม สัดส่วนของพลังงานลมและแสงอาทิตย์ (ซึ่งเรียกว่าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวน) จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 37 ภายในปีนั้น

ปัจจุบัน พลังงานลมมีบทบาทสำคัญในบางประเทศของยุโรป เดนมาร์กเป็นประเทศอันดับต้น ๆ ในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์และลม ในปี พ.ศ. 2568 พลังงานลมคิดเป็นร้อยละ 57 ของการผลิตไฟฟ้าในประเทศ เทียบกับปี พ.ศ. 2537 ซึ่งถ่านหินมีสัดส่วนถึงร้อยละ 83 ของการผลิตไฟฟ้า

ภาพที่ 3.1.7 ฟาร์มกังหันลมใน สปป.ลาว (ด้านบน) และประเทศออสเตรีย (ด้านล่าง)





พลังงานลมมีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นในบางประเทศในทวีปเอเชีย ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อินเดียได้เพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็น 45 กิกะวัตต์ กลายเป็นประเทศที่มีกำลังการผลิตพลังงานลมสูงเป็นอันดับสี่ของโลก โดยปริมาณนี้คิดเป็นประมาณร้อยละ 4 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศ



น้ำ

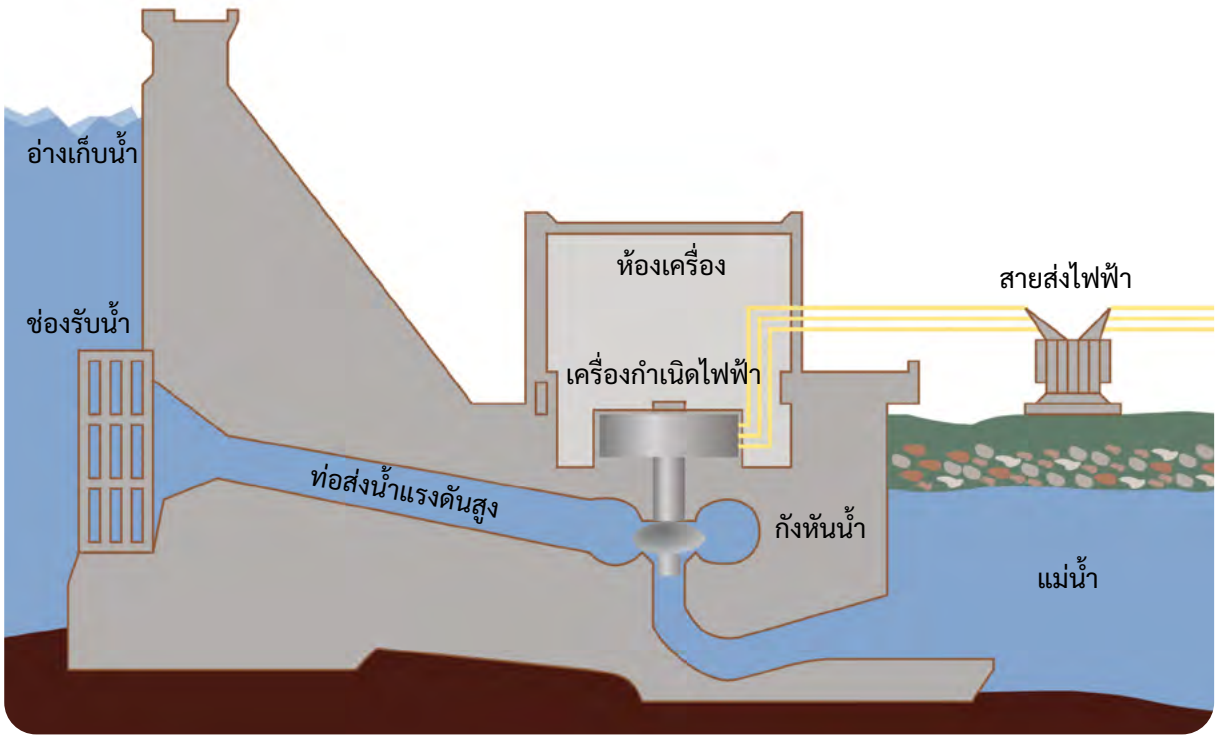
พลังงานจากการเคลื่อนที่ของน้ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี

วิธีที่พบมากที่สุดคือ **พลังงานน้ำ** โดยการไหลของแม่น้ำจะหมุนกังหัน ก่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้า

แม้ว่าจะฟังดูเรียบง่าย แต่พลังงานน้ำก็มีข้อเสียเช่นกัน การจะสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีประสิทธิภาพและกำลังการผลิตสูงนั้น จำเป็นต้องสร้างเขื่อนสูงเพื่อให้สามารถควบคุมพลังงานทั้งหมดของแม่น้ำให้หมุนใบพัดกังหันได้ การก่อสร้างเขื่อนลักษณะนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศตามธรรมชาติของแม่น้ำ เช่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพภูมิอากาศขนาดย่อม (microclimate) ของพื้นที่ โดยอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์และพืชที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น นั่นจึงเป็นเหตุผลว่าทำไมการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำจึงต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวัง และต้องคำนึงถึงสมดุลของสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง

เขื่อนขนาดใหญ่ยังต้องมีการตรวจสอบดูแลอยู่เสมอ เพราะหากเกิดอุบัติเหตุที่ทำให้เขื่อนแตก น้ำจำนวนมหาศาลที่ถูกปล่อยออกมาจะไหลทะลักไปตามหุบเขา กวาดล้างทุกสิ่งที่ขวางหน้า และทำให้ตลิ่งแม่น้ำพังยับเยินเป็นระยะทางหลายไมล์ ตัวอย่างเช่น การพังทลายของเขื่อน ปันเฉียว (Bantsao) ในประเทศจีนเมื่อปี พ.ศ. 2518 ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 200,000 คนตามรายงานอย่างไม่เป็นทางการ (ขณะที่แหล่งข้อมูลทางการระบุไว้เพียง 26,000 คน)

ภาพที่ 3.1.8 แผนภาพโครงสร้างการทำงานของเขื่อนและโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ



ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กนั้นสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้เขื่อน (ภาพที่ 3.1.9) โดยระบบเหล่านี้มักสร้างขึ้นตามแม่น้ำสายเล็ก ๆ หรือแม้กระทั่งตามลำธาร และสามารถเก็บพลังงานไว้ได้ในแบตเตอรี่ พลังงานที่ผลิตได้อาจมีปริมาณจำกัด แต่ก็เพียงพอต่อความต้องการของฟาร์มขนาดเล็ก หรือสามารถให้พลังงานสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐานในเขตอนุรักษ์สัตว์ป่าที่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำได้

พลังงานน้ำปลอดภัยต่อสภาพภูมิอากาศมากกว่าพลังงานความร้อนแบบดั้งเดิม และมีต้นทุนการผลิตถูกกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง ด้วยเหตุนี้หลายประเทศจึงพยายามใช้ศักยภาพของแม่น้ำในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตพลังงาน ในบางประเทศ ไฟฟ้าพลังน้ำคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 90-100 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด (เช่น บราซิล แคเมอรูน สปป.ลาว นามิเบีย นอร์เวย์ ปารากวัย ทาจิกิสถาน ยูกันดา อุรุกวัย และแซมเบีย) ประเทศจีนมีความตั้งใจเป็นพิเศษในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ โดยโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กจำนวนครึ่งหนึ่งของโลกตั้งอยู่ที่จีน อีกทั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ใหญ่ที่สุดในโลกก็ตั้งอยู่ที่จีนเช่นกัน เขื่อนดังกล่าวได้แก่ เขื่อนสามผา (Three Gorges) ที่แม่น้ำแยงซี มีกำลังการผลิตถึง 22.5 กิกะวัตต์ (ภาพที่ 3.1.10) นอกจากนี้ กำลังมีการวางแผนจะสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ยิ่งกว่าเขื่อนสามผา ชื่อว่าแกรนด์อินกา (Grand Inga) บนแม่น้ำคองโก ในสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก ทวีปแอฟริกา ซึ่งจะมีกำลังการผลิตสูงถึง 39 กิกะวัตต์ นอกจากนี้ บราซิลและแคนาดาก็เป็นผู้ผลิตพลังงานน้ำรายสำคัญเช่นกัน

ภาพที่ 3.1.9

โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว



ภาพที่ 3.1.10

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนสามผา ประเทศจีน



ภาพที่ 3.1.11

เขื่อนยาซีเรตาบนแม่น้ำปารานา ประเทศปารากวัยและประเทศอาร์เจนตินา



สถานีผลิตไฟฟ้าจากคลื่น ใช้พลังงานจากคลื่นในมหาสมุทร ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วคือพลังงานที่ทำให้ทุ่นลอยขึ้นและลงตามจังหวะคลื่นทะเล ด้วยวิธีนี้ พลังมหาศาลของมหาสมุทรซึ่งเคยเป็นสิ่งที่น่าหวาดกลัวของกะลาสีเรือในอดีต จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ พลังงานคลื่นมีศักยภาพมากกว่าพลังลมหลายสิบเท่าหากควบคุมได้

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง ใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์มหัศจรรย์อย่างน้ำขึ้นน้ำลง วัตถุท้องฟ้าทั้งหมด เช่น ดาวเคราะห์ ดวงดาว และดวงจันทร์ ล้วนเชื่อมโยงกันด้วยแรงโน้มถ่วงและมีอิทธิพลต่อกัน โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์และหมุนรอบตัวเอง ดวงจันทร์โคจรรอบโลก อีกทั้งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โลก และดวงจันทร์ก็เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ต่างก็ส่งผลต่อมหาสมุทร

หลักการทำงานของสถานีไฟฟ้าก็คือ เขื่อนจะถูกสร้างขึ้นในบริเวณที่มีน้ำขึ้นน้ำลงรุนแรง โดยขวางปากอ่าวไว้ เมื่อเริ่มแรก เขื่อนจะกั้นไม่ให้น้ำทะเลที่สูงขึ้นไหลเข้าสู่อ่าว จนกระทั่งระดับน้ำทะเลเข้าใกล้จุดสูงสุด จากนั้นจะเปิดวาล์วให้น้ำทะเลไหลทะลักเข้ามาด้วยแรงมหาศาลและหมุนกังหัน เมื่อระดับน้ำทั้งสองด้านของเขื่อนเท่ากันแล้ว วาล์วจะถูกปิดอีกครั้ง เมื่อน้ำลงจนถึงระดับต่ำสุด น้ำที่ถูกกักไว้ในอ่าวจะพยายามไหลออกไปยังทะเล และเมื่อเปิดวาล์ว น้ำจะไหลกลับออกไปพร้อมกับหมุนกังหันอีกครั้งหนึ่ง

มีการทดลองใช้พลังงานจากคลื่นตั้งแต่ช่วงปลายศตวรรษที่ 18 กังหันที่ขับเคลื่อนด้วยพลังคลื่นได้รับการจดสิทธิบัตรในปี พ.ศ. 2342 อย่างไรก็ตาม ต้องใช้เวลานานมากก่อนที่พลังงานประเภทนี้จะสามารถนำมาใช้งานได้โดยทั่วไป โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงจะพึ่งพาแรงโน้มถ่วง ในขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะพึ่งพาพลังงานจากลมและคลื่นทะเล

โรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นขนาดใหญ่แห่งแรกเริ่มดำเนินการในปี พ.ศ. 2551 ที่เขตอากูคาดอรา (Agucadoura) ประเทศโปรตุเกส ห่างจากชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร โดยมีความสามารถในการผลิตไฟฟ้า 2.25 เมกะวัตต์

อีกหนึ่งโรงไฟฟ้าพลังคลื่นขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตใกล้เคียงกันคือฟาร์มพลังงานคลื่นโซเทอแนส (Sotenäs) ที่เมืองคุงชามน์ (Kungshamn) ประเทศสวีเดน โรงไฟฟ้าแห่งนี้ประกอบด้วยเครื่องแปลงพลังงานคลื่น (Wave Energy Converters: WECs) จำนวน 36 เครื่อง มีกำลังการผลิตรวมเกือบ 3 เมกะวัตต์







โรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลงร็องซ์ (Rance Tidal Power Station) ที่ตั้งอยู่ในแคว้นเบรอตาญ (Brittany) ประเทศฝรั่งเศส ถือเป็นสถานีพลังน้ำขึ้นน้ำลงที่เก่าแก่ที่สุดในโลก โดยเปิดดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 และเคยเป็นสถานีพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงที่มีกำลังการผลิตติดตั้งมากที่สุดในโลก จนกระทั่งโรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลงทะเลสาบซิฮวา (Sihwa Lake Tidal Power Station) ในสาธารณรัฐเกาหลีแซงหน้าไปในปี พ.ศ. 2554 โรงไฟฟ้าร็องซ์มีเครื่องกังหันจำนวน 24 ตัว ซึ่งสามารถผลิตพลังงานสูงสุดได้ถึง 240 เมกะวัตต์ และเฉลี่ยที่ 57 เมกะวัตต์ คิดเป็นอัตราความสามารถในการผลิตประมาณร้อยละ 24 โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 500 กิกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็น 0.12% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในประเทศฝรั่งเศส ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 0.12 ยูโรต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง บริเวณนี้ของฝรั่งเศสมีระดับความต่างของน้ำขึ้นน้ำลงเฉลี่ยที่ 8 เมตร และสามารถสูงได้ถึง 12 เมตร

พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy)

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานที่ได้จากความร้อนภายในโลก แม้ว่าจะไม่สามารถจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนอย่างแท้จริง แต่แหล่งสะสมพลังงานความร้อนในส่วนลึกของโลกนั้นมีปริมาณมหาศาล หลักฐานของความร้อนใต้พิภพสามารถพบเห็นได้ในพื้นที่ที่มีปรากฏการณ์ที่เกิดจากภูเขาไฟ เช่น บ่อน้ำพุร้อนใต้ดินที่ผุดขึ้นผ่านรอยแยกของพื้นผิวโลก หรือระเบิดออกมาในรูปแบบของน้ำพุไอน้ำที่เรียกว่าไกเซอร์ (Geysers)

มนุษย์สามารถเจาะหลุมลงไปยังแหล่งน้ำร้อนใต้ดิน และนำมาใช้เพื่อให้ความร้อน ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือสามารถนำน้ำมาใช้เป็นแหล่งน้ำร้อนได้ (หากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเหมาะสม) อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของการใช้พลังงานน้ำร้อนใต้ดินก็คือ น้ำที่ใช้แล้วมักมีสารเคมีเจือปนและไม่สามารถปล่อยลงแม่น้ำหรือทะเลสาบได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องอัดน้ำกลับลงใต้ดิน อีกทั้งการสูบน้ำจากแหล่งใต้ดินอาจทำให้เกิดโพรง ส่งผลให้พื้นดินทรุดตัวได้

อีกแนวทางหนึ่งคือ การสูบน้ำธรรมดาจากผิวดินลงไปยังบริเวณที่ร้อนใต้ดินผ่านหลุมเจาะ ซึ่งน้ำจะถูกให้ความร้อนโดย ‘หม้อต้มธรรมชาติ’ จนเดือด และกลับขึ้นมาผ่านหลุมเจาะอีกหลุมในรูปของไอน้ำ กระบวนการนี้เรียกว่า พลังงานปิโตรเทอร์มอล (Petro-thermal Energy) โครงการพลังงานปิโตรเทอร์มอลได้ถูกพัฒนาในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น เยอรมนี และฝรั่งเศส



แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ใหญ่และทรงพลังที่สุดในโลกตั้งอยู่ทางตอนเหนือของเมืองซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา มีชื่อว่า เดอะไกเซอร์ (The Geysers) ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพจำนวน 22 แห่ง โดยมีกำลังการผลิตติดตั้งรวมทั้งหมด 1,517 เมกะวัตต์

ในประเทศฟิลิปปินส์และไอซ์แลนด์ซึ่งต่างเป็นประเทศนี้มีภูเขาไฟที่ยังไม่ดับอยู่จำนวนมาก โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณหนึ่งในสี่ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศ ประเทศนิวซีแลนด์ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น และอิตาลี ก็มีการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพอย่างแพร่หลายเช่นกัน

ภาพที่ 3.1.12

ท่อน้ำในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ



ความร้อนอุณหภูมิต่ำ

ตู้เย็นทำงานโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์หลายอย่าง โดยหลักการสำคัญคือ สารทำความเย็นในสถานะของเหลว (น้ำยาหล่อเย็น) จะดูดซับความร้อนจากภายในตู้เย็น จากนั้นคอมเพรสเซอร์จะดูดและอัดสารทำความเย็นนี้ด้วยแรงดันบริเวณด้านนอกของตู้เย็น ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดซับไว้ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในห้องโดยรอบตู้เย็น (ตามกฎของฟิสิกส์)

นี่คือเหตุผลว่าทำไมเมื่อสัมผัสบริเวณด้านหลังของตู้เย็นจึงรู้สึกร้อน และยังเป็นเหตุผลว่าทำไมตู้เย็นจึงไม่ควรวางไว้ใกล้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร้อนหรืออยู่ในที่ที่แสงแดดส่องถึงโดยตรง เนื่องจากตู้เย็นต้องสามารถระบายความร้อนให้กระจายออกสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว ไม่ให้ความร้อนสะสมอยู่ที่ผิวนอกของตู้เย็น

จุดประสงค์ของตู้เย็นคือการรักษาความเย็นไว้ภายในและกำจัดความร้อนออกไปภายนอก แต่กระบวนการเดียวกันนี้สามารถย้อนกลับได้ โดยให้ความร้อนถูกเก็บไว้และความเย็นถูกปล่อยทิ้ง อุปกรณ์ที่ทำงานลักษณะนี้เรียกว่าปั๊มความร้อน (Heat Pump)

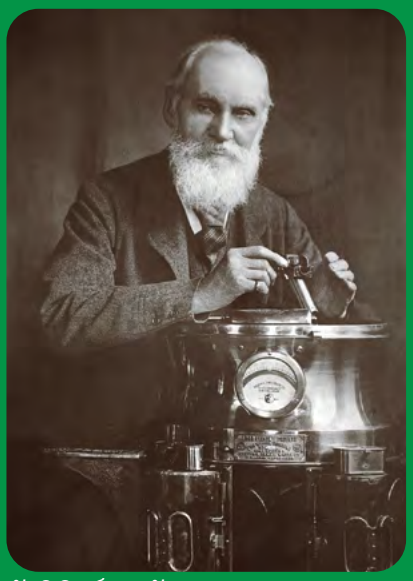
ปั๊มความร้อนสามารถดูดซับความร้อนจากของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำ อากาศ หรือสารอื่น ๆ รวมถึงสามารถ ‘ดึง’ ความร้อนจากพื้นดินในระดับความลึกตื้น ๆ ได้ด้วย ในฤดูหนาว หากคุณส่งอากาศอุ่นที่ระบายออกจากห้องพัก หรือส่งน้ำอุ่นที่ใช้แล้วจากอ่างอาบน้ำเข้าสู่ปั๊มความร้อน ความร้อนที่กำลังจะสูญเสียไปกับอากาศและน้ำนั้นนั้นก็สามารถดึงกลับมาใช้ในห้องได้อีกครั้ง อย่างไรก็ตาม ปั๊มความร้อนไม่สามารถทำน้ำให้ร้อนถึงอุณหภูมิที่สูงมากได้ โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าปั๊มความร้อนเป็นแหล่งพลังงานเสริม ไม่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักในการทำความร้อนได้อย่างเพียงพอ แต่ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงในการทำความร้อนลงได้

อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ยังคงมองว่าปั๊มความร้อนจะเป็นเทคโนโลยีหลักในทุก ๆ แผนการที่จะนำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 เนื่องจากปั๊มความร้อนไม่เพียงแค่ใช้พลังงานหมุนเวียนเท่านั้น แต่ยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบทำความร้อนแบบดั้งเดิมถึงสองถึงสี่เท่า นี่จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมการติดตั้งปั๊มความร้อนจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึงสิบเท่าภายในปี พ.ศ. 2593

เฉพาะในยุโรป ยอดขายปั๊มความร้อนก็พุ่งสูงขึ้นเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีและต้นทุนที่ลดลง นอกจากนี้ ต้นทุนที่ลดลงอย่างรวดเร็วของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (PV systems) ยังมีอิทธิพลต่อภาคการทำความร้อนอีกด้วย เพราะการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตเองร่วมกับระบบปั๊มความร้อนจะช่วยให้สามารถจัดหาแหล่งพลังงานต้นทุนต่ำให้กับอาคารต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



แนวคิดของปั๊มความร้อนถูกพัฒนาขึ้นในศตวรรษที่ 19 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ วิลเลียม ทอมสัน (ลอร์ดเคลวิน) (William Thomson (Lord Kelvin)) และได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมโดย ปีเตอร์ ริตเตอร์ ฟอน ริตติงเงอร์ (Peter Ritter Von Rittinger) จากประเทศออสเตรีย แต่การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนในทางปฏิบัติที่สำคัญที่สุดนั้นเพิ่งถูกพัฒนาในศตวรรษที่ 20 โดยนักประดิษฐ์ที่ชื่อว่า อาร์ เวเบอร์ (R. Weber) ขณะทำการทดลองกับตู้แช่แข็ง เขาได้สัมผัสท่อร้อนของเครื่องและเริ่มสงสัยว่าจะสามารถใช้ความร้อนนั้นได้อย่างไรบ้าง เขาคิดจะใช้ท่อร้อนเพื่อทำน้ำร้อน แต่ปรากฏว่าทำให้น้ำร้อนมากเกินไป เขาจึงเปลี่ยนเป็นสร้างขดท่อเพื่อให้ความอบอุ่นกับอากาศภายในบ้าน ต่อมา เวเบอร์สามารถหาวิธีดูดความร้อนจากพื้นดินได้สำเร็จ และในไม่ช้าก็สามารถขายเตาถ่านเก่าที่ครอบครัวเคยใช้ได้ เพราะมันไม่จำเป็นอีกต่อไป!



นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ
วิลเลียม ทอมสัน หรือ ลอร์ด เคลวิน)
(William Thomson or Lord Kelvin)

ชีวมวล



พืชที่อยู่รอบตัวทุกวันนี้ใช้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์ไว้ในลำต้น กองไฟ หรือไฟในเตาผิงที่ให้ความอบอุ่นนั้นเกิดจากพลังงานที่ต้นไม้สะสมไว้ในช่วงเวลาหลายปีที่เติบโตโดยการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ ต้นไม้ได้ทำงานเก็บกักพลังงานไว้ตั้งแต่ยังมีชีวิตอยู่ และในที่สุดต้นไม้ก็มอบพลังงานนั้นให้มนุษย์ผ่านการเผาไหม้

ธรรมชาติต้องใช้เวลาหลายร้อยล้านปีในการสร้างเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้น (เมื่อเทียบกับอัตราการใช้ของมนุษย์) เชื้อเพลิงเหล่านี้จึงไม่สามารถเกิดใหม่ทดแทนได้ทัน แต่เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถทดแทนได้ง่าย หากตัดต้นไม้เก่าเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ก็สามารถปลูกต้นใหม่แทนที่ และมันก็จะเติบโตเป็นต้นไม้ใหม่ได้ภายในไม่กี่สิบปี พืชบางชนิดและพืชผลทางการเกษตรที่ใช้ทำเชื้อเพลิงสามารถเติบโตได้ภายในฤดูร้อนเดียว หรือเร็วกว่านั้นด้วยซ้ำ

แต่ลองพิจารณาดูว่า หลายคนเคยได้รับความอบอุ่นและมีช่วงเวลาที่น่ารื่นรมย์จากการนั่งรอบกองไฟ หรือชมเปลวไฟที่ลุกไหวอยู่ในเตาไฟกลางแจ้งในฤดูร้อน แต่มีสักกี่คนที่ได้ปลูกต้นไม้เพื่อทดแทนไม้ที่ธรรมชาติมอบให้ การตัดไม้และใช้ทรัพยากรจากผืนป่าอาจเป็นเรื่องที่ทำได้ง่าย แต่มนุษย์ปลูกต้นไม้ทดแทนเพื่อชดเชยสิ่งที่ถูกใช้ไปบ่อยเพียงใด

ไม่ใช่เพียงต้นไม้เท่านั้นที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนอื่น ๆ ของพืชซึ่งมักถูกมองว่าเป็นของเสีย เช่น เปลือกฝ้าย ฟางข้าว หรือเมล็ดผลไม้ ก็สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นกัน พืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงที่มีชีวิตอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกับที่ปล่อยออกมาเมื่อถูกเผา หากพืชเหล่านั้นตายลงตามธรรมชาติ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยในระดับที่ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ ชีวมวลจึงถือเป็นแหล่งพลังงานที่ค่อนข้างปลอดภัย แต่อาจไม่ใช่ทางเลือกที่เหมาะสมเสมอไป ตัวอย่างเช่น การนำเศษไม้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นเชื้อเพลิงถือว่าเหมาะสม แต่การตัดต้นไม้ที่ยังแข็งแรงเพียงเพื่อนำไปใช้เป็นฟืนนั้น อาจถือเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง

เชื้อเพลิงชีวภาพ คือเชื้อเพลิงที่ได้จากวัตถุดิบที่มาจากพืชหรือสัตว์ ของเสียจากสิ่งมีชีวิต หรือของเสียอินทรีย์จากกระบวนการอุตสาหกรรม กล่าวคือ เป็นพลังงานที่ได้จากชีวมวล ปัจจุบัน วิทยาศาสตร์สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้ในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปของของเหลว เช่น ไบโอเอทานอลและไบโอดีเซล ซึ่งใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน, ของแข็ง เช่น ไม้ฟืน ถ่านอัดก้อน เม็ดเชื้อเพลิงไม้ เศษไม้ ฟาง เปลือกพืช และกากเมล็ดพืช และในรูปของก๊าซ เช่น ไบโอแก๊ส







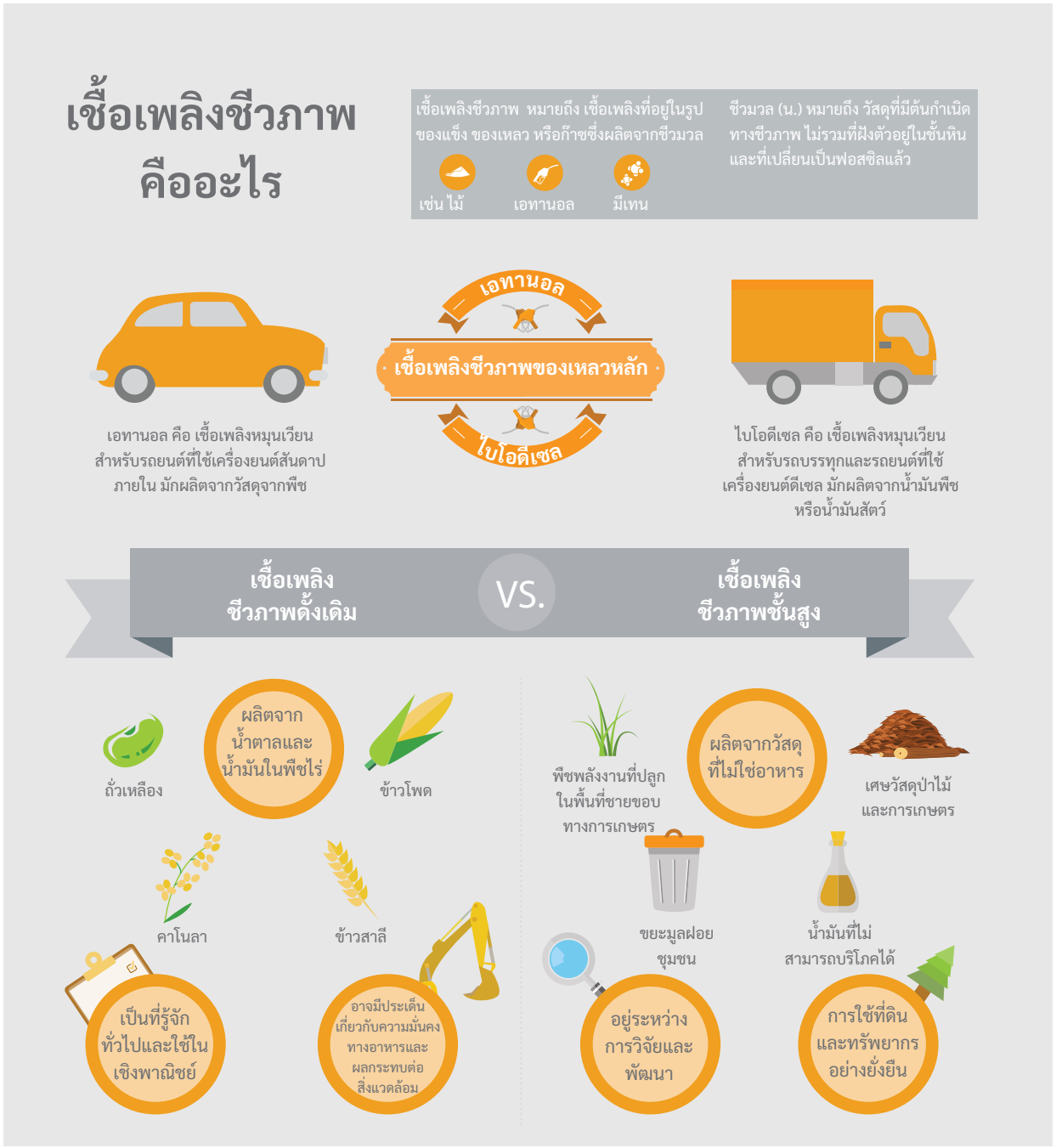
วิธีที่ง่ายที่สุดและพบได้บ่อยที่สุดในการผลิตพลังงานจากชีวมวลคือการเผาไหม้โดยตรง อย่างไรก็ตาม การก่อกองไฟได้นั้นจำเป็นต้องใช้ไม้ที่แห้งและมีเรซิน และต้องจัดกองไฟให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถเผาไหม้ได้ดี ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงกำลังพัฒนาเทคโนโลยีที่ประหยัดมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถเผาชีวมวลดิบที่เปียกชื้นหรือมีส่วนผสมหลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

เส้นใยจากพืชสามารถนำมาเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานโดยตรง หรือแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบที่ได้มาตรฐาน สะดวกต่อการขนส่ง และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พืชที่มีน้ำมันสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ (ไบโอดีเซล) ขณะที่พืชที่มีน้ำตาลซูโครสหรือแป้งสามารถนำไปแปรรูปเป็นแอลกอฮอล์ (เอทานอล) ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นกัน

เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท โดยเอทานอลและไบโอดีเซลถือเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในรถยนต์และรถบรรทุก นอกจากนี้ยังมีเชื้อเพลิงชีวภาพแบบดั้งเดิมซึ่งผลิตจากน้ำตาลและน้ำมันในพืชไร่ เช่น มันสำปะหลังและข้าวโพด รวมถึงเชื้อเพลิงชีวภาพชั้นสูงที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้จากการทำป่าไม้และเกษตรกรรม

ในปัจจุบันมีความสนใจต่อเชื้อเพลิงชีวภาพชั้นสูงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีข้อกังวลเกี่ยวกับความยั่งยืนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะปัญหาการแย่งพื้นที่เพาะปลูกระหว่างพืชพลังงานกับพืชอาหาร เชื้อเพลิงชีวภาพชั้นสูงไม่เพียงแต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น หากยังเป็นส่วนหนึ่งของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

ภาพที่ 3.1.13 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวภาพ



ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้นำระดับโลกด้านการผลิตและการใช้เอทานอล เอทานอลที่ผลิตในประเทศจากมันสำปะหลังสามารถตอบสนองความต้องการเชื้อเพลิงของยานยนต์ได้ถึงร้อยละ 18

ภาพที่ 3.1.14

โรงงานผลิตไบโอเอทานอล ในประเทศไทย



ภาพที่ 3.1.15

การเติมเชื้อเพลงชีวภาพในประเทศไทย



แหล่งพลังงานอันน่าอัศจรรย์



ปัจจุบันออสเตรเลียมีโรงงานผลิตไฟฟ้าแห่งแรกในโลกที่ใช้เปลือกถั่วเป็นเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงงานนี้คือ 3 ล้านดอลลาร์ออสเตรเลีย แต่ก็น่าจะคืนทุนได้เร็วทีเดียวเนื่องจากโรงไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงนี้สามารถแปรรูปเปลือกถั่วได้มากถึง 1,680 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า 1.5 เมกะวัตต์

นักวิทยาศาสตร์อินเดียได้คิดค้นแหล่งพลังงานทางเลือกอีกแหล่งหนึ่งคือใช้กล้วย ผลไม้และผักอื่น ๆ รวมทั้งส่วนที่กินไม่ได้ (เปลือก เมล็ด) แบตเตอรี่สี่ก้อนที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถใช้กับนาฬิกาติดผนัง เกมอิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องคิดเลขขนาดพกพาได้ แหล่งพลังงานนี้ส่วนใหญ่มีไว้ให้คนในชนบทที่มีผักผลไม้ของตัวเองเพียงพอให้ชาร์จแบตเตอรี่



ในอนาคตอันใกล้มนุษย์อาจจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากการเคลื่อนไหวของร่างกาย นักวิจัยในสหรัฐฯ กำลังพัฒนารองเท้าชนิดพิเศษที่มีแผ่นรองพลาสติก เวลาเดินเท้าจะกดและปล่อยแผ่นรองสลับกันไปทำให้แผ่นรองหดตัวและขยายตัว การเคลื่อนไหวนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 3 วัตต์พอให้ฟังวิทยุหรือฟังเพลงขณะเดินอยู่ช่วยประหยัดแบตเตอรี่

การหมักเป็นการใช้ชีวมวลอีกวิธีหนึ่ง สัตว์เลี้ยงในฟาร์มซึ่งกินและย่อยพืช ทำให้เกิดปุ๋ยคอก ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้ หากเก็บมูลสัตว์และเศษอาหารไว้ในภาชนะปิดแล้วให้ความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซมีเทนซึ่งเก็บไว้ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ทุกปีโลกผลิตและใช้ หรือทำลายชีวมวลปฐมภูมิประมาณ 170,000 ล้านตัน

3.1.6 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งพลังงานต่าง ๆ

เมื่อได้เรียนรู้เรื่องแหล่งพลังงานต่าง ๆ กันแล้ว อาจมีคำถามว่าแหล่งพลังงานใดดีที่สุด แหล่งใดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและแหล่งใดเป็นอันตรายต่อสภาพอากาศน้อยที่สุด และแหล่งใดต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด

คำตอบของคำถามเหล่านี้ไม่ง่ายอย่างที่คิดในตอนแรก ต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ มากมายเวลาจะเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

เกณฑ์การเปรียบเทียบแหล่งพลังงาน

- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการผลิตและการใช้งาน
- การปล่อยสารพิษ (ระหว่างการผลิตและการใช้งาน) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเชื้อเพลิงจากแหล่งผลิตไปยังโรงไฟฟ้า
- ค่าใช้จ่ายในการจ่ายความร้อนและกระแสไฟฟ้าให้ผู้บริโภคในระยะทางไกลจากแหล่งผลิตความร้อนและไฟฟ้า
- ค่าใช้จ่ายในการสร้างและดำเนินกิจการโรงไฟฟ้าและการรื้อถอนเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน
- ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ (การจัดการอุบัติเหตุ การเยียวยาผู้ประสบภัย การให้ค่าชดเชยแก่ครอบครัว และการปลูกต้นไม้เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก)
- ลักษณะภูมิอากาศและภูมิศาสตร์ของโรงไฟฟ้า โรงไฟฟ้าจะใช้แหล่งน้ำประเภทใดในการทำงานและทำความสะอาดน้ำอย่างไร ลักษณะกระแสลมในบริเวณดังกล่าวเป็นอย่างไร และมีสภาพอากาศรุนแรงหรือแผ่นดินไหวหรือไม่ มีเส้นทางขนส่งที่สะดวกกับการจัดหาวัตถุดิบหรือไม่ บริเวณใกล้เคียงมีแหล่งที่อยู่ ภูมิทัศน์ธรรมชาติและชุมชนมนุษย์อะไรบ้าง
- เครื่องมือฟอกอากาศและรีไซเคิล โรงไฟฟ้าใช้เครื่องมือฟอกอากาศและรีไซเคิลที่ทันสมัยหรือไม่ ระบบป้องกันการปล่อยมลพิษได้มาตรฐานหรือไม่ ได้จัดสรรพื้นที่จัดเก็บและรีไซเคิลขยะอย่างเพียงพอหรือไม่ ในช่วงปีแรก ๆ ของการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าอาจไม่มีปัญหาจริงจังเรื่องขยะ แต่อาจมีคำถามว่าจะจัดการขยะอย่างไรในอนาคต

การอภิปรายเรื่องประสิทธิภาพของเทคโนโลยีและต้นทุนพลังงานโดยแยกประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สิ่งแวดล้อมและสุขภาพออกไปนั้นไม่สมเหตุสมผล ดังนั้นก่อนตัดสินใจว่าจะต้องสร้างและดำเนินกิจการโรงไฟฟ้าประเภทใดจะต้องประเมินหลาย ๆ ด้าน (ด้านเทคนิค เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม ฯลฯ)

มาทบทวนและเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแหล่งพลังงานธรรมชาติหลัก ๆ กันอีกครั้ง

ถ่านหิน

☺ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสากล กล่าวคือ ใช้ได้ในทุกสภาพอากาศ ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่และขนาดเล็ก หรือแม้แต่ในการต้มน้ำด้วยหม้อไอน้ำ

☹ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ ‘สกปรก’ ที่สุดในการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าถ่านหินที่มีกำลังการผลิต 1 เมกะวัตต์จะปล่อยก๊าซร้อนที่มีฝุ่นและสารพิษออกมา 36,500 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี นอกจากนี้ยังสร้างเถ้าถ่านปริมาณมากที่ต้องเก็บกักเอาไว้ และที่สำคัญที่สุดปริมาณการปล่อยก๊าซจากโรงไฟฟ้าถ่านหินต่อหน่วยพลังงานที่ผลิตได้นั้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งพลังงานไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ
การทำเหมืองถ่านหินก็อันตรายเช่นกัน การปล่อยก๊าซธรรมชาติใต้ดินอาจทำให้เกิดการระเบิดซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตคนงานเหมือง น้ำเค็มและน้ำสกปรกที่สูบออกจากเหมืองถ่านหินมักจะไหลลงสู่แม่น้ำและทะเลสาบ (โดยเฉลี่ยแล้วต้องสูบน้ำออก 3 ตันต่อถ่านหินที่ผลิตได้ 1 ตัน) เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ และทำให้แหล่งน้ำและดินในบริเวณนั้นปนเปื้อน

น้ำมัน

☺ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานง่าย ขนส่งได้ในระยะทางไกลโดยผ่านท่อและในถัง น้ำมันใช้ในการผลิตยาง พลาสติก สีย้อม ผงซักฟอกและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

☹ ปริมาณสำรองน้ำมันกำลังลดลง ต้นทุนการผลิตน้ำมันก็กำลังเพิ่มขึ้น น้ำมันติดไฟง่ายมากและการรั่วไหลของน้ำมันเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากน้ำมันจะเคลือบสิ่งมีชีวิตทั้งหมดด้วยฟิล์มบาง ๆ ที่ทำลายระบบนิเวศได้อย่างรุนแรง การรั่วไหลดังกล่าวในแม่น้ำหรือทะเลสามารถแพร่กระจายไปได้ไกล การเผาไหม้น้ำมันจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมาก

ก๊าซธรรมชาติ

☺ ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่สะอาดที่สุด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและขนส่งได้ง่าย

☹ ก๊าซระเบิดได้แม้จะในปริมาณน้อย ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติน้อยกว่าเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ แต่ก็ยังถือว่ามากอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ปริมาณสำรองก๊าซมีที่สิ้นสุด แม้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซธรรมชาติจากหินดินดานจะทำให้มีปริมาณก๊าซมากขึ้นก็ตาม

พลังงานนิวเคลียร์



การผลิตพลังงานจากนิวเคลียร์ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก แหล่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ยังมีปริมาณค่อนข้างมาก เนื่องจากสามารถผลิตพลังงานจำนวนมหาศาลได้จากเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย



พลังงานนิวเคลียร์ต้องผลิตที่โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มาก สามารถขนส่งได้เฉพาะในรูปแบบกระแสไฟฟ้า (ความร้อนไม่ได้) เท่านั้น ความเสี่ยงจากการรั่วไหลของรังสีทำให้ต้องตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ให้ห่างจากเมืองใหญ่ ๆ ที่ซึ่งมีผู้บริโภคน้ำร้อนและความร้อนรวมตัวกันอยู่ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ผลิตของเสียอันตรายมาหลายศตวรรษ จึงต้องกำจัดด้วยวิธีพิเศษ แม้ว่าจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ แต่การผลิตพลังงานนิวเคลียร์ก็ผลิตน้ำกัมมันตภาพรังสีที่หมดอายุแล้ว ข้อเสียที่สำคัญของพลังงานนิวเคลียร์ก็คืออุบัติเหตุเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลร้ายแรงตามมาได้

แสงอาทิตย์



พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน ใช้ได้หลายที่ทั่วโลก ไม่ก่อให้เกิดมลพิษหรือก๊าซเรือนกระจกที่เป็นอันตราย



พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ ต้องใช้แบตเตอรี่เพิ่มเพื่อแปลงพลังงานช่วงกลางคืนหรือในสภาพอากาศที่มีเมฆมาก ราคาโซลาร์เซลล์ยังคงแพงแม้ว่านักวิทยาศาสตร์จะกำลังหาวิธีลดต้นทุนการผลิตอยู่ก็ตาม มีปัญหาเรื่องการกำจัดโซลาร์เซลล์ที่ใช้แล้ว เนื่องจากโซลาร์เซลล์มีสารที่เป็นอันตรายและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ก็ต้องใช้พื้นที่มาก

ลม



พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียน และไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกหรือมลพิษอันตราย



โรงไฟฟ้าพลังงานลมต้องการลมแรงตลอดเวลา ต้องมีแบตเตอรี่และหม้อแปลงเพิ่มเพื่อให้ฟาร์มลมทำงานได้ แม้ลมจะเบา การหมุนของใบพัดก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและเสียง อาจทำให้สัตว์ตกใจและสร้างความรำคาญแก่ผู้คนซึ่งอาจไม่ชอบภาพกังหันลมขนาดยักษ์ที่เปลี่ยนภูมิทัศน์ไป นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีระบบเพื่อไล่นกไป ไม่เช่นนั้นนกอาจตกลงไปในใบพัดที่กำลังหมุน

น้ำ



พลังงานน้ำอันประกอบด้วยพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงและพลังงานคลื่นเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีให้ใช้ฟรีและไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษแม้แต่น้อย



พลังงานน้ำผลิตได้เฉพาะในบริเวณที่มีแหล่งน้ำเท่านั้น การสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ต้องทำให้พื้นที่รอบ ๆ อ่างเก็บน้ำเกิดน้ำท่วม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง การสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำส่งผลเสียต่อระบบนิเวศของแม่น้ำและชายฝั่ง อุบัติเหตุที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำอาจทำให้น้ำท่วมเมืองและหมู่บ้านที่อยู่ปลายน้ำ

ความร้อนใต้พื้นผิวโลกและพลังงานความร้อนเกรดต่ำ

☺ พลังงานจากภายในโลกเป็นพลังงานหมุนเวียนและพร้อมใช้งานได้ทุกที่ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกหรือมลพิษ

☹ ปัจจุบันกระบวนการสกัดพลังงานจากแหล่งพลังงานใต้ดินลึกยังคงมีค่าใช้จ่ายสูงและซับซ้อน การใช้แหล่งพลังงานความร้อนใต้ดินในระยะยาว (การสูบน้ำและไอน้ำ) ทำให้พื้นดินทรุดตัว ความร้อนนี้เป็นได้แค่เพียงแหล่งพลังงานเสริมเท่านั้น

ชีวมวล

☺ ชีวมวลเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่ายและใช้งานสะดวก การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ชีวมวลไม่เกินกว่าการปล่อยก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชตามธรรมชาติ การนำชีวมวลมาใช้ในพื้นที่ที่ผลิตขึ้น (เช่น พื้นที่เกษตรกรรมและการทำไม้) ยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียได้อีกด้วย เชื้อเพลิงชีวมวลจึงถือเป็นวิธีหนึ่งในการผลิตพลังงานจากของเสีย และมูลสัตว์ยังสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตทั้งก๊าซเชื้อเพลิงและปุ๋ยได้ในเวลาเดียวกัน

☹ ชีวมวลดิบขนส่งยากและราคาแพง การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลต้องรักษาอุณหภูมิการหมักและดูแลไม่ให้ระเบิดและไม่ให้แบคทีเรียเล็ดลอดออกมาเป็นต้นกำเนิดโรค นอกจากนี้ก๊าซยังมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ผู้ผลิตสินค้าการเกษตรบางรายต้องการใช้พื้นที่ทำกินของตนผลิตชีวมวลแทนพืชผลการเกษตรแบบดั้งเดิม เนื่องจากจะสร้างรายได้ให้มากกว่า ทำให้การผลิตอาหารลดลงและส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านอาหาร

หากพลังงานหมุนเวียนไม่มีวันหมดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำไมไม่เปลี่ยนจากถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซและพลังงานนิวเคลียร์มาเป็นเทคโนโลยีสีเขียว

ข้อเท็จจริงก็คือการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนในวงกว้างยังคงมีข้อจำกัดอยู่ การดำเนินงานของโรงไฟฟ้าที่ใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไมจึงเรียกว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนแบบแปรผัน (ความแรงลม การมีแม่น้ำและจำนวนวันที่มีแสงแดด) โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมักจะมีการออกแบบที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะแต่ละที่ การใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนให้ประสบความสำเร็จจึงต้องใช้ความพยายามและเงินทุนมากในช่วงการออกแบบและก่อสร้าง เมื่อกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนถึงระดับหนึ่งการขยายตัวขั้นต่อไปต้องใช้เงินลงทุนสูงมากในการสร้างเครือข่ายกระแสไฟฟ้าและการค่อย ๆ เปลี่ยนผ่านไปสู่ “สมาร์ทกริด” (Smart Grid) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีใหม่ ๆ กำลังทำให้การผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ลดต้นทุนการผลิตและขยายตลาด

ความต้องการในพลังงานมีอยู่เสมอ ดังนั้นอุตสาหกรรมพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตและการค้าน้ำมัน ก๊าซและถ่านหินจึงทำกำไรได้มาก จำนวนเงินมหาศาลในอุตสาหกรรมนี้ส่งผลให้เกิดการขัดแย้งขึ้นบ่อยครั้งและรุนแรงระหว่างรัฐบาล ธุรกิจ และองค์กรประชาสังคมด้านสิ่งแวดล้อม นี่คือปัญหาระดับโลก แต่ในระยะยาวผู้คนกำลังเริ่มทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงเร่งด่วนที่จำเป็นต่ออนาคตของมนุษยชาติและของโลก การนำเทคโนโลยีใหม่ที่เป็นมิตรกับสภาพอากาศมาใช้ล่าช้าเนื่องจากความเฉื่อยชาในการคิดของมนุษย์ โลกและจักรวาลพร้อมที่จะมอบพลังงานให้แก่มนุษย์ แต่ในทางกลับกันมนุษย์ต้องเรียนรู้ที่จะใช้ทรัพยากรธรรมชาติในแนวทางที่ช่วยรักษาสภาพภูมิอากาศและไม่ทำลายธรรมชาติเพื่อผลประโยชน์ระยะสั้น

คำถาม

1 ในสมัยโบราณมนุษย์ใช้แหล่งพลังงานใดบ้าง

2 การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์สามารถทำได้ในลักษณะใดบ้าง

3 ระบุปัจจัยทั้งหมดที่ต้องคำนึงถึง หากต้องการคำนวณต้นทุนรวมของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหนึ่งใดแหล่งหนึ่ง

4 จากข้อเท็จจริงที่ว่าเครื่องยนต์ไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษที่เป็นอันตราย จึงสามารถถือได้หรือไม่ว่าเป็นรูปแบบเครื่องยนต์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

5 เหตุใดแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบราบแบนจึงมักติดตั้งบนหลังคาโดยเอียงทำมุมให้สอดคล้องกับค่าละติจูดของพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง

6 อุปสรรคหลักที่ขัดขวางการเติบโตอย่างรวดเร็วของกำลังการผลิตพลังงานหมุนเวียนคืออะไรบ้าง





กิจกรรม

1

การทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลอง: เพื่อสร้างแสงสว่างโดยใช้พลังงานหมุนเวียน

วัสดุอุปกรณ์: ขวดพลาสติกใสที่มีน้ำ โต๊ะขนาดเล็กหนึ่งตัว และผ้าห่ม

วิธีทดลอง: ทำช่องเปิดในผ้าห่มเพื่อให้ใส่ขวดได้ คลุมโต๊ะด้วยผ้าห่มเพื่อไม่ให้แสงส่องผ่าน ‘บ้าน’ หลังเล็กที่สร้างขึ้นใต้โต๊ะ คิดว่าจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อเข้าไปใน ‘บ้านหลังเล็ก’ และวางขวดในช่องเปิดที่ทำไว้บนผ้าห่ม สังเกตเห็นอะไรบ้าง อธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตเห็น เสนอทางเลือกอื่นแทนขวดน้ำเพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ มีความคิดอย่างไรในการให้แสงสว่างแก่บ้านหลังเล็กที่สร้างขึ้นอย่างไรบ้าง

คิดว่าจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อเข้าไปใน ‘บ้านหลังเล็ก’ และวางขวดในช่องที่ไว้บนผ้าห่ม

2

แบ่งกลุ่มตามวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

แต่ละกลุ่มควรทำรายงานเพื่ออธิบายเหตุผลที่เลือกวิธีการผลิตพลังงานแบบนั้น ๆ รวมถึงข้อมูลเกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับวิธีอื่น ๆ ที่ไม่ได้เลือกทั้งหมด จากนั้นเตรียมการอภิปรายประโยชน์และโทษของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ โดยให้มีความเชื่อมโยงกับพื้นที่ที่อาศัยอยู่

3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงาน

วิธีหนึ่งที่สำคัญในการลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อน คือการใช้พลังงานจากแหล่งที่ทำลายสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศน้อยที่สุด ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทก่อนหน้า

วิธีที่สองคือการลดการใช้พลังงานโดยรวม ในบทนี้จะพิจารณาแนวคิดที่คล้ายคลึงแต่แตกต่างกันสองแนวคิด ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงาน

อุปกรณ์จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานถ้าใช้พลังงานน้อยกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ ที่คล้ายกันในการทำงานตามที่ออกแบบมา ตัวอย่างเช่น หลอดไฟสองดวงอาจให้แสงสว่างในห้องเท่ากันแต่ใช้ไฟฟ้าไม่เท่ากัน หลอดไฟที่ใช้พลังงานน้อยกว่าจะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่า สามารถประหยัดพลังงานได้มากโดยปิดไฟเมื่อไม่จำเป็น ทำความสะอาดหน้าต่างแสงและโคมไฟตลอดจนติดตั้งหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่า แทนที่จะใช้รถยนต์ ให้เลือกเดินหรือขี่จักรยานเมื่อทำได้

ภาพที่ 3.2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหลอดไฟแบบต่าง ๆ



หลอดไส้ร้อนแบบเดิม | หลอดฟลูออเรสเซนต์ (มีสารปรอท ต้องทิ้งอย่างระมัดระวัง) | ไดโอดเปล่งแสง (LED)

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้และประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้พลังงาน เช่น การให้แสงสว่างหรือการใช้พลังงานในการปรุงอาหาร เป็นต้น เมื่อตระหนักถึงความสำคัญของประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงมักเรียกว่า ‘เชื้อเพลิงแรก’

การประหยัดพลังงาน
คือมาตรการทั้งหมดที่ใช้ลดปริมาณพลังงานที่ใช้

เพราะฉะนั้นโดยส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องคิดค้นอะไรขึ้นมาเพื่อประหยัดพลังงาน เพียงแค่ต้องเปลี่ยนนิสัยเพื่อหยุดการสิ้นเปลืองพลังงาน

ไฟฟ้าที่ใช้ในการให้แสงสว่างคิดเป็นร้อยละ 15-20 ของการใช้พลังงานทั่วโลก ในสหภาพยุโรปการใช้ไฟฟ้าในการให้แสงสว่างคิดเป็นประมาณร้อยละ 10 ของการใช้ไฟฟ้าในที่พักอาศัยและเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าอันดับสามรองจากเครื่องทำความร้อนและเครื่องปรับอากาศ ในอาคารสำนักงานการใช้ไฟฟ้าในการให้แสงสว่างอาจใช้พลังงานได้มากขึ้นไปอีก คือร้อยละ 30-40 แต่ก็สามารถลดการใช้พลังงานในการให้แสงสว่างในอาคารพาณิชย์และที่อยู่อาศัยได้โดยไม่ต้องทำให้ห้องมืดลงและลดค่าไฟฟ้าลงได้มากด้วยการเลือกใช้หลอดแอลอีดี (ภาพที่ 3.2.1)



ตัวอย่างเช่น ทุกคนแปรงฟันในตอนเช้า จำเป็นต้องเปิดน้ำทิ้งไว้ขณะกำลังแปรงหรือไม่ ไม่จำเป็น ควรเปิดน้ำเฉพาะเมื่อล้างปากเท่านั้น แต่สิ่งสำคัญคือการใส่ใจดูแลตนเองและครอบครัวด้วยว่า ทุกคนปิดก๊อกน้ำในระหว่างแปรงฟันหรือไม่ เพราะการมีน้ำไหลออกจากก๊อกนั้นต้องใช้พลังงานจำนวนมาก ตั้งแต่กระบวนการทำงานของโรงบำบัดน้ำ ไปจนถึงระบบสูบน้ำ และยังไม่รวมถึงทรัพยากรน้ำที่ถูกใช้อย่างสิ้นเปลือง

เมื่อปิดโทรทัศน์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ หลายคนมักปล่อยให้อุปกรณ์อยู่ในโหมดสแตนด์บาย ซึ่งแม้จะดูเหมือนว่าอุปกรณ์ไม่ได้ทำงาน แต่ในความเป็นจริงยังคงมีการใช้พลังงานอยู่ แม้จะใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเปิดใช้งานโดยสมบูรณ์ แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ค่าไฟฟ้าของแต่ละครอบครัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแต่ละเดือน แม้จำนวนเงินที่เพิ่มขึ้นอาจดูเล็กน้อยและไม่น่ากังวล หากพิจารณาในระดับหมู่บ้าน เมือง หรือทั้งประเทศ จะพบว่าพลังงานจำนวนมหาศาลถูกใช้ไปโดยไม่จำเป็น ด้วยเหตุนี้ หลายประเทศที่ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงานจึงรณรงค์ให้ประชาชนปิดเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์อย่างสมบูรณ์ แทนที่จะปล่อยให้อยู่ในโหมดสแตนด์บาย

การชาร์จโทรศัพท์มือถือในแต่ละปีจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.3 กิโลกรัม หากเสียบปลั๊กที่ชาร์จไว้ตลอดเวลาโดยไม่ได้ใช้งาน จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2.4 กิโลกรัมต่อปี

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้โทรศัพท์มือถือ

- การใช้งานวันละ 2 นาที ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 47 กิโลกรัมต่อปี
- การใช้งานวันละ 1 ชั่วโมง ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1,250 กิโลกรัมต่อปี
- การใช้งาน 1 นาที ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 57 กรัม
- การส่งข้อความสั้น (SMS) 1 ข้อความ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.014 กรัม



ความต้องการบริการดิจิทัลกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว สำนักงาน IEA ประมาณการว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 จำนวนผู้ใช้อินเทอร์เน็ตทั่วโลกเพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่า ขณะที่ปริมาณการใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วโลกเพิ่มขึ้น 25 เท่า อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างรวดเร็วช่วยควบคุมความต้องการพลังงานจากศูนย์ข้อมูลและเครือข่ายการส่งข้อมูล ซึ่งแต่ละแห่งคิดเป็นร้อยละ 1–1.5 ของการใช้ไฟฟ้าทั่วโลก โดยรวมแล้วอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศมีส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 2–2.8 ของโลก โดยนักวิทยาศาสตร์บางคนระบุว่าตัวเลขดังกล่าวอยู่ที่ประมาณร้อยละ 3.8 รวมถึงการปล่อยก๊าซจากการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลด้วย

อาจเคยได้ยินคำว่า ‘โฮสติ้งสีเขียว’ ซึ่งหมายถึงบริการโฮสติ้งอินเทอร์เน็ตประเภทหนึ่งที่นำเทคโนโลยีสีเขียวมาใช้เพื่อลดผลกระทบทางลบต่อสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม โฮสติ้งสีเขียวทำงานโดยชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการให้บริการผ่านวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (แสงอาทิตย์ ลม น้ำ และความร้อนใต้พิภพ) การปลูกต้นไม้หรือพืชที่ช่วยดูดซับคาร์บอน และการดำเนินงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ผู้เชี่ยวชาญบางรายยังชี้ว่า เทคโนโลยีคลาวด์ เป็นรูปแบบหนึ่งของโฮสติ้งสีเขียวที่มีศักยภาพ เนื่องจากการใช้งานที่แพร่หลายของเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของระบบคอมพิวเตอร์ และลดการใช้พลังงานโดยรวมลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

สิ่งประดิษฐ์ของมนุษย์พัฒนาก้าวหน้าอยู่เสมอ แต่มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำมาใช้จริงในชีวิตประจำวัน ก่อนที่เทคโนโลยีใหม่จะเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีเก่าได้อย่างแท้จริง สิ่งสำคัญคือผู้คนต้องเริ่มต้นจากการเปลี่ยนนิสัยเดิมที่ไม่เหมาะสมเสียก่อน



เทคโนโลยีคลาวด์

ไม่เพียงแต่โลกแห่งความเป็นจริงเท่านั้นที่กำลังเปลี่ยนแปลงไป โลกเสมือนจริงก็เช่นกัน ผู้ใช้อินเทอร์เน็ตได้รับเครื่องมือใหม่ที่เรียกว่า ‘คลาวด์คอมพิวติ้ง’ ซึ่งเฟซบุ๊ก ทวิตเตอร์และ ‘เอนจิ้น’ ที่ขับเคลื่อนบริการต่าง ๆ เช่น กูเกิลด็อกส์ จีเมลและอื่น ๆ ล้วนใช้เครื่องมือนี้แล้ว

โดยทั่วไป เว็บไซต์และแอปพลิเคชันจะทำงานบนคอมพิวเตอร์หรือเซิร์ฟเวอร์เฉพาะ ส่วนคลาวด์คือเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ ทำให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานแอปพลิเคชันหรือจัดเก็บข้อมูลได้เสมือนอยู่บนคอมพิวเตอร์เสมือนของโลก ซึ่งแอปพลิเคชันแต่ละรายการจะถูกประมวลผลบนเครื่องที่ต่างกันโดยมีการกำหนดค่าการทำงานเฉพาะ

เมื่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงพัฒนาไปเรื่อย ๆ ก็ไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมไว้ในคอมพิวเตอร์เหมือนเมื่อก่อนอีกต่อไป เพราะว่า “คลาวด์” หรือระบบคอมพิวเตอร์ออนไลน์ทั้งหลายถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกันได้อย่างไร้รอยต่อ ซึ่งหมายความว่าความสามารถของคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องรวมกันจะถูกนำมาใช้กับแอปพลิเคชันเหมือนกับว่าแอปนั้นกำลังรันอยู่บนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวที่ทรงพลังมาก ซอฟต์แวร์จำนวนมากในปัจจุบันก็เริ่มเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีเว็บมากขึ้นและคลาวด์ก็ยิ่งช่วยให้แอปพลิเคชันบนเว็บมีประสิทธิภาพมากขึ้นไปอีกขั้น

การปรับเปลี่ยนนิสัยเริ่มต้นจากการหาเวลาเรียนรู้และทำความเข้าใจกับสิ่งประดิษฐ์ใหม่เสียก่อน

ข้อที่สองคือ ต้องใช้เงินและความพยายามในการเปลี่ยนเครื่องเก่าเป็นเครื่องใหม่ และสอนให้คนใช้งานได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้ความพยายามเหล่านี้จะคุ้มค่าในอนาคต แต่ก็ไม่ได้เห็นผลทันที และหลายคนอาจไม่อยากลำบากกับเรื่องนี้เพื่อประโยชน์ในอนาคต

ประการที่สาม ผู้ที่มีรายได้จากการจำหน่ายเทคโนโลยีเก่าอาจไม่ต้องการสูญเสียธุรกิจของตน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเทคโนโลยีเก่ายังคงสร้างรายได้มากกว่าเทคโนโลยีใหม่ บุคคลเหล่านี้อาจพยายามทุกวิถีทางเพื่อขัดขวางการเผยแพร่สิ่งประดิษฐ์ใหม่ ไม่ว่าจะเป็นการชักจูงให้ผู้คนเชื่อว่าสิ่งประดิษฐ์นั้นเป็นอันตราย หรือแม้กระทั่งสร้างแรงกดดันต่อผู้คิดค้นนวัตกรรมนั้นโดยตรง

หากจะรวบรวมเทคโนโลยีประหยัดพลังงานทั้งหมดไว้ในที่เดียว หนังสือเล่มนั้นก็คงหนามาก ไม่ว่าจะประกอบอาชีพใดในอนาคต สิ่งสำคัญคือการทำความเข้าใจอุปกรณ์ที่ใช้งานให้ถ่องแท้ และสนับสนุนความพยายามในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ควรตระหนักไว้ว่า แนวทางการพัฒนาข้างหน้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพียงอย่างเดียว หากแต่ยังต้องให้ความสำคัญกับการจัดระบบการทำงานของมนุษย์ร่วมด้วย

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับครัวเรือน หมายถึงการลดค่าใช้จ่ายด้านแก๊สและไฟฟ้า สำหรับบริษัทผลิตไฟฟ้า หมายถึงการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงและสามารถให้บริการไฟฟ้าแก่ผู้บริโภคในราคาที่เหมาะสม สำหรับประเทศ หมายถึงการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ส่งเสริมผลิตภาพของภาคอุตสาหกรรมและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน สำหรับสภาพภูมิอากาศ หมายถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ

การลดการใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเทศจะส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้แตกต่างกันออกไปตามเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า อัตราส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงที่ผลิตหรือประหยัดได้นั้นเรียกว่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกริด (grid emission factor) ประเทศที่ใช้ระบบไฟฟ้าพลังน้ำอย่างภูฏานมีปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกริดเป็นศูนย์ กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ได้กำหนดชุดปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกริดที่สอดคล้องกันของประเทศต่าง ๆ กว่า 200 ประเทศ (ดู https://unfccc.int/documents/198197)

ตัวอย่างเช่น สำนักงานพลังงานระหว่างประเทศประมาณการว่าแต่ละคนในประเทศไทยใช้ไฟฟ้าเกือบ 8 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน คนที่ประหยัดจะใช้พลังงานที่น้อยกว่าในขณะที่ผู้ใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากขึ้นอาจใช้ไฟฟ้ามากกว่านี้หลายกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน การสำรวจระดับชาติพบว่าครัวเรือนของไทยใช้ไฟฟ้าเพื่อทำความเย็น ให้แสงสว่าง ความบันเทิง ทำอาหาร ทำความร้อน น้ำและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ (ภาพที่ 3.2.2)

ภาพที่ 3.2.2 แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารที่พักอาศัย



โดยเฉลี่ยแล้ว การผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงในประเทศไทยจะสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 525 กรัม ปริมาณดังกล่าวมาจากระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน พลังงานน้ำและพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น ๆ รวมถึงน้ำมัน ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงหรือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโครงข่ายไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการเปลี่ยนถ่านหินเป็นก๊าซและส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติซึ่งกลายเป็นแหล่งพลังงานหลักนั้นน้อยกว่าการเผาไหม้ถ่านหินมาก โรงไฟฟ้ารุ่นใหม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าโรงไฟฟ้ารุ่นเก่าเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้แหล่งพลังงานที่มีการปล่อยคาร์บอนสูงอย่างถ่านหินน้อยกว่า

รายงานผลการสำรวจการใช้พลังงานของประเทศประเมินว่าการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเกือบร้อยละ 14 สามารถลดลงได้โดยเปลี่ยนเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า โดยเฉพาะการเปลี่ยนหลอดไฟแบบเดิมเป็นหลอดแอลอีดีและใช้โทรทัศน์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากกว่า การทำเช่นนี้สามารถช่วยให้บรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามพันธกรณีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย (การมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด)

ภาพที่ 3.2.3

โรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหิน



ภาพที่ 3.2.4

โรงไฟฟ้าพลังงานก๊าซธรรมชาติ



ภาพที่ 3.2.5

โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์



3.2.1 การขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

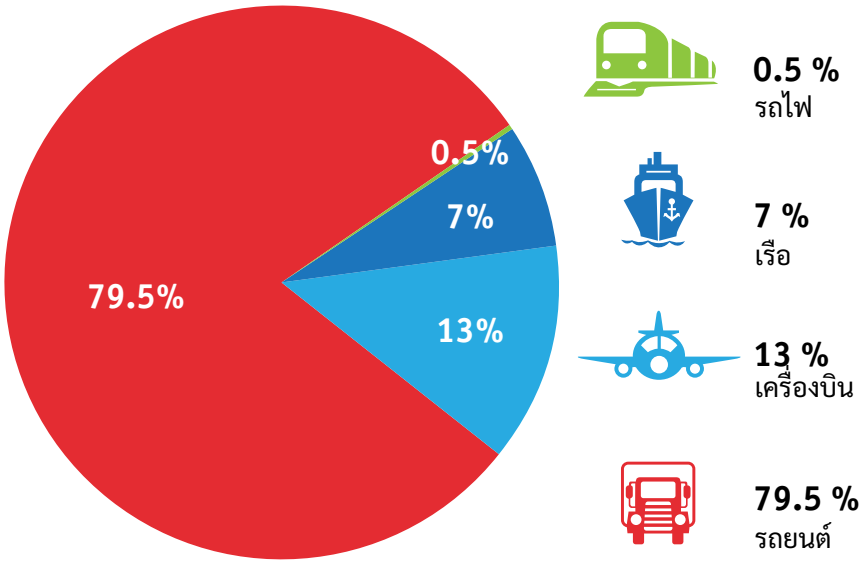
ตั้งแต่รถยนต์ไปจนถึงเครื่องบิน การขนส่งใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากพอ ๆ กับโรงไฟฟ้า แน่นอนว่าความต้องการเชื้อเพลิงของรถยนต์หนึ่งคันนั้นไม่สำคัญเมื่อเทียบกับความต้องการมหาศาลของโรงไฟฟ้า แต่จำนวนรถยนต์มากกว่าโรงไฟฟ้าหลายเท่า โดยรวมแล้วการขนส่งเป็นที่มาของประมาณร้อยละ 14 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก

รถยนต์ส่วนใหญ่ยังคงใช้น้ำมันเบนซิน การเผาไหม้น้ำมันเบนซินหนึ่งลิตรจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 2.3 กิโลกรัม ตัวอย่างเช่น รถยนต์ที่ประเทศแคนาดาซึ่งโดยเฉลี่ยเผาไหม้น้ำมันเบนซิน 2,000 ลิตรทุกปีจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 4,600 กิโลกรัมสู่ชั้นบรรยากาศ เครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งขับเคลื่อนยานยนต์จะปล่อยไอเสียสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจน ไอระเหยน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ระหว่างร้อยละ 1–12 ของปริมาตรการปล่อย) รวมถึงสารพิษและสารก่อมะเร็ง (เขม่าและเบนโซไพรีน)

โดยรวมแล้วการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อน้ำมันเบนซินหนึ่งตันตั้งแต่การสกัดน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันไปจนถึงการเผาไหม้น้ำมันเบนซินบริสุทธิ์ในเครื่องยนต์รวมเป็น 3,769 กิโลกรัม

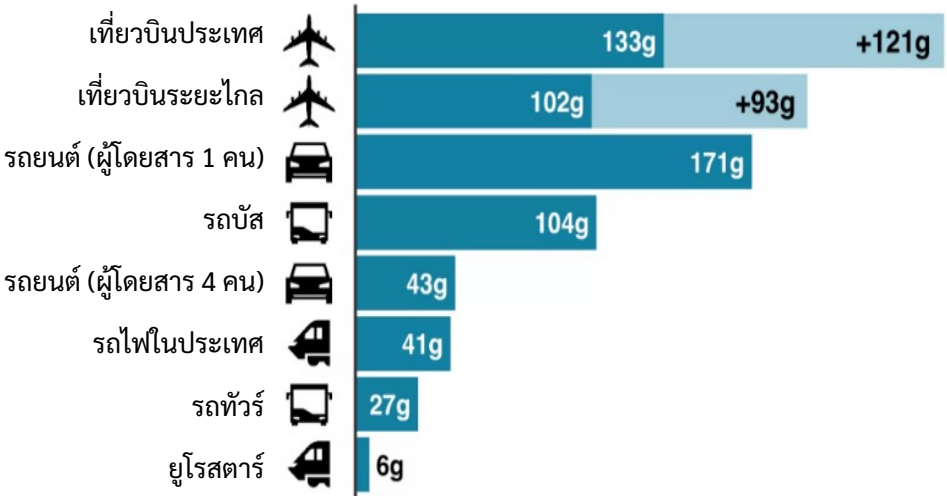
ผลกระทบของการขนส่งต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นมหาศาลเนื่องจากการขนส่งส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งการเผาไหม้จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามการขนส่งแต่ละประเภทมีผลกระทบที่แตกต่างกัน รถไฟเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ในขณะที่เที่ยวบินถือว่าปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด โดยรวมแล้วรถยนต์มีส่วนทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากกว่าร้อยละ 80 ของการขนส่งทั้งหมด (ภาพที่ 3.2.6)

ภาพที่ 3.2.6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งในรูปแบบต่าง ๆ



สหราชอาณาจักรประมาณการปริมาณการปล่อยมลพิษต่อผู้โดยสารที่ใช้พาหนะประเภทต่าง ๆ ต่อกิโลเมตร พบว่าการเดินทางด้วยเครื่องบินปล่อยมลพิษมากกว่ารถไฟยูโรสตาร์ถึง 20 เท่า (ภาพที่ 3.2.7)

ภาพที่ 3.2.7 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (gCO_2e) ต่อผู้โดยสารต่อกิโลเมตร ตามประเภทการขนส่งในสหราชอาณาจักร



มีวิธีใดบ้างในการจำกัดผลกระทบจากการขนส่งต่อภูมิอากาศ

วิธีที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพสูงคือติดต่อกับผู้คนที่อยู่ห่างไกลด้วยโทรศัพท์หรือการสื่อสารผ่านวีดิทัศน์/เสียงแทนที่จะเดินทางไปหา วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือแอปพลิเคชันต่าง ๆ อย่างสไคพ์ (Skype) ซูม (Zoom) ไวเบอร์ (Viber) เทเลแกรม (Telegram) และ วอทส์แอพพ์ (WhatsApp) ซึ่งช่วยให้คุณสื่อสารกับเพื่อน ๆ ได้ทุกแห่งในโลกที่มีอินเทอร์เน็ต

วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดผลกระทบจากภาคการขนส่งต่อสภาพภูมิอากาศ คือการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ หากสามารถเลือกวิธีการเดินทางได้ ขอแนะนำให้เลือกเดินทางโดยรถไฟ ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการเดินทางโดยเครื่องบิน

เทคโนโลยีการขนส่งทางรถไฟมีความก้าวหน้าอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา หัวรถจักรและรถลากสร้างจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและเทอะทะน้อยลง ส่วนเครื่องยนต์ก็มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จำนวนและเครือข่ายรถไฟความเร็วสูงกำลังเพิ่มขึ้นทั่วโลก ทำให้วิธีการขนส่งที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงที่สุดนี้ดีขึ้นไปอีก เครือข่ายรถไฟความเร็วสูงในประเทศจีนเป็นเครือข่ายที่ยาวที่สุดและมีผู้ใช้มากที่สุดในโลก เมื่อปลายปี พ.ศ. 2565 มีความยาวรวม 42,000 กิโลเมตร นอกจากนี้ในยุโรปรถไฟความเร็วสูงยังได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย หลายประเทศได้สร้างเครือข่ายความเร็วสูงที่ครอบคลุมบริเวณต่าง ๆ เช่น เยอรมนี ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ สเปน อิตาลีและสหราชอาณาจักร เป็นต้น ปัจจุบันมีรถไฟความเร็วสูงข้ามประเทศหลายเส้นทาง บริษัทที่ให้บริการเดินรถไฟมักให้บริการระหว่างประเทศหลายเส้นทาง นอกจากนั้นในเครือข่ายรถไฟใหม่ ๆ ของยุโรปยังมีการสร้างรางและปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานสากลอย่างต่อเนื่อง

เมื่อไม่นานนี้รถไฟความเร็วสูงของประเทศญี่ปุ่นที่เรียกว่าชินคันเซ็น (ภาพที่ 3.2.8) ได้เพิ่มความเร็วและใช้พลังงานลดลงร้อยละ 40 การลดน้ำหนักของรถไฟหัวกระสุนและออกแบบรูปทรงและความยาวของจมูกรถไฟใหม่ให้มีความคล่องตัวมากขึ้นทำให้รถไฟมีประสิทธิภาพมากขึ้นและการใช้งานยังช่วยให้การปล่อยมลพิษจากการขนส่งน้อยลงอีกด้วย

ภาพที่ 3.2.8

‘ชินคันเซ็น’ รถไฟความเร็วสูงของญี่ปุ่นที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน



ภาพที่ 3.2.9

ด้านหลังตั๋วรถไฟที่ประเทศอิตาลีมีข้อความบอกว่าผู้โดยสารได้ช่วยแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศด้วยการเลือกโดยสารรถไฟ



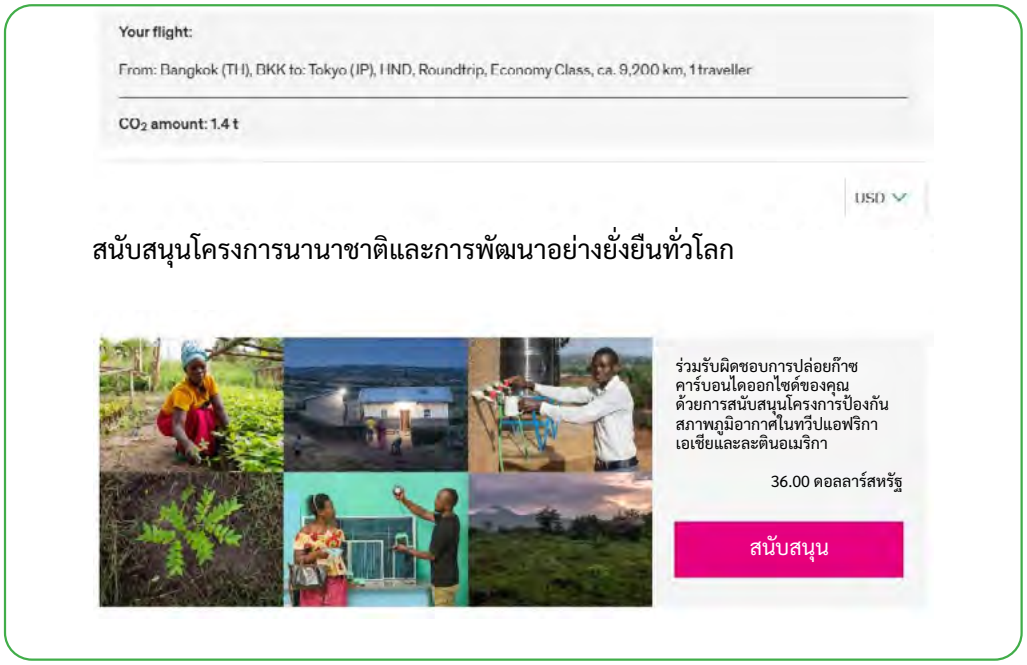
บริษัทที่ให้บริการเดินรถไฟหลายแห่งพยายามเตือนผู้โดยสารว่าการเดินทางด้วยรถไฟเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 3.2.9)

ในกรณีที่ต้องเดินทางโดยสารทางอากาศ การเลือกใช้บริการจากสายการบินที่ดำเนินการด้วยเครื่องบินรุ่นใหม่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าเครื่องบินรุ่นเก่า ซึ่งปล่อยมลพิษในระดับสูงกว่า

ความเร็วไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยเดียว หรือแม้แต่ปัจจัยหลักในการออกแบบเครื่องบินรุ่นใหม่อีกต่อไป นักออกแบบในปัจจุบันใช้แนวทางแบบองค์รวมมากขึ้น โดยคำนึงถึงทั้งประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องบิน และร่องรอยคาร์บอนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ผู้พัฒนากำลังหันมาให้ความสนใจกับเครื่องบินใบพัด ซึ่งเคยถูกมองว่าเป็นของล้าสมัยเมื่อ 20 ปีก่อน เพราะเครื่องบินเจ็ตมีความเร็วมากกว่า อย่างไรก็ตาม ด้วยการออกแบบที่ได้รับการปรับปรุง เครื่องบินใบพัดอาจกลายเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการขนส่งทางอากาศ

ปัจจุบันสายการบินหลายแห่งมีบริการชดเชยการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องบิน ในอินเทอร์เน็ตมีบริการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทุกเที่ยวบินและชวนผู้โดยสารจ่ายเงินชดเชย ตัวอย่างเช่น เที่ยวบินไปกลับระหว่างกรุงเทพฯ กับกรุงโตเกียว (9,200 กม.) ด้วยเครื่องบินโบอิง 777 ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.4 ตันต่อผู้โดยสารหนึ่งคน ค่าชดเชยคาร์บอนที่แนะนำสำหรับการเดินทางไปกลับในชั้นประหยัดคือ 36 ดอลลาร์สหรัฐซึ่งสายการบินจะนำไปใช้สนับสนุนโครงการด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (ภาพที่ 3.2.10)

ภาพที่ 3.2.10 **การคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าชดเชยที่เหมาะสมของเที่ยวบินไปกลับระหว่างกรุงเทพฯ กับกรุงโตเกียว (9,200 กม.) ด้วยเครื่องบินโบอิ้ง 777**



องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (The International Civil Aviation Organization: ICAO) กำลังดำเนินการร่วมกับสมาชิกเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดในการลดการปล่อยมลพิษจากการบิน ควบคู่ไปกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานแล้วทางเลือกหนึ่งคือการใช้เชื้อเพลิงการบินที่ยั่งยืน (Sustainable Aviation Fuel: SAF) ซึ่งไม่ได้มาจากฟอสซิล สายการบินต่าง ๆ ใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้อยู่แล้วโดยมักจะผสมกับเชื้อเพลิงเครื่องบินทั่วไป แต่หลายคนยังไม่แน่ใจว่าจะผลิตเอสเอเอฟได้ในราคาถูกพอหรือไม่ หรือในปริมาณที่มากพอต่อความต้องการของอุตสาหกรรมการบินหรือไม่

นี่คือสาเหตุว่าทำไมจึงมีความสนใจเรื่องการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินมากขึ้น ไฮโดรเจนกักเก็บพลังงานได้มาก เช่น จากไฟฟ้าหมุนเวียนนอกเวลาที่ใช้งานมาก เป็นต้น เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เลย

การลดการปล่อยคาร์บอนจากการเดินทางด้วยรถยนต์

ถ้าพ่อแม่คุณกำลังจะซื้อรถยนต์ บอกเขาเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ แนะนำให้ซื้อรถยนต์ที่ผ่านมาตรฐานยูโร 4 ขึ้นไป (มาตรฐานยูโรสำหรับยานยนต์ควบคุมปริมาณไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และอนุภาคในไอเสียรถยนต์)

ผลกระทบของรถยนต์ต่อสิ่งแวดล้อมลดลงได้โดยปฏิบัติตามกฎ ‘การขับขี่แบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม’ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณร่องรอยคาร์บอนจากการขนส่งด้วยรถยนต์ การขับขี่แบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เพียงแต่มีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้นแต่ยังคุ้มค่าสำหรับเจ้าของรถด้วย อธิบายเรื่องนี้ให้พวกผู้ใหญ่ที่ขับรถฟัง!

ประสิทธิภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเครื่องยนต์เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ในอดีตที่ผ่านมา จนกระทั่งไม่นานมานี้ รถยนต์เกือบทั้งหมดยังคงใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เช่น ดีเซลหรือเบนซิน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีรถยนต์จำนวนมากขึ้นที่หันมาใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแม้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะใกล้เคียงกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแบบดั้งเดิม แต่เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซกลับปล่อยมลพิษน้อยกว่ามาก

อาจเคยได้ยินเกี่ยวกับรถยนต์ไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพมาบ้างแล้ว มีรถยนต์แปลกใหม่มากมายที่ขับเคลื่อนด้วยการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศ (‘รถลม’หรือ 'wind-mobiles') รวมทั้งรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การแข่งขันรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจัดเป็นประจำในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นที่ที่ดีที่สุดที่จะได้เห็นการใช้เทคโนโลยียานยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ล่าสุด สิ่งเหล่านี้ไม่ใช่เรื่องที่พบเห็นได้ยากอีกต่อไป ในปัจจุบันมีสถานีเติมพลังงานแสงอาทิตย์ในสหรัฐอเมริกา บัลแกเรีย สวิตเซอร์แลนด์ เยอรมนี และประเทศอื่น ๆ

ภาพที่ 3.2.11 ที่จอดยานยนต์ไฟฟ้า



กฎการขับขี่อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดร่องรอยคาร์บอนจากการใช้ยานพาหนะ

- ดับเครื่องยนต์ขณะจอดรถหรือเมื่อจราจรอยู่ในสภาพแน่นิ่ง
- การดูแลรถอย่างสม่ำเสมอ เช่น การตั้งศูนย์ล้อให้ถูกต้อง สามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงได้ประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 การบำรุงรักษารถเป็นประจำช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้สูงสุดถึงร้อยละ 10
- ควรตรวจสอบแรงดันลมยางอย่างสม่ำเสมอ ยางที่มีแรงดันต่ำกว่าค่าที่แนะนำร้อยละ 25 จะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้นถึงร้อยละ 10
- ใช้ระบบปรับอากาศและควบคุมอุณหภูมิเท่าที่จำเป็น หากอุณหภูมิภายนอกไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป ควรงดใช้ระบบเหล่านี้ และไม่ควรเปิดหน้าต่างขณะเปิดระบบควบคุมอุณหภูมิ
- เบรกอย่างนุ่มนวลเพื่อใช้แรงเฉื่อยของรถให้เกิดประโยชน์ ซึ่งจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง
- การมีผู้โดยสารร่วมทางหรือที่เรียกว่า ‘คาร์พูล’ ช่วยลดการปล่อยก๊าซได้หลายเท่า หากมีผู้ร่วมทาง 3-4 คน ที่ไปเส้นทางเดียวกัน จะลดการปล่อยก๊าซได้ 3-4 เท่า
- ไม่ควรเปลี่ยนเลนบ่อย เพราะการขับรถสลับเลนจะเพิ่มการใช้พลังงานและปล่อยคาร์บอนมากขึ้น
- ควรออกเดินทางแต่เช้า หลีกเลี่ยงช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น และวางแผนเส้นทางล่วงหน้า
- ขับรถด้วยความเร็วปานกลางและคงที่ หลีกเลี่ยงการเหยียบเบรกบ่อย ใช้แรงไหลของรถให้เกิดประโยชน์ เบรกและเร่งอย่างราบรื่น มองเส้นทางข้างหน้า เช่น หากเห็นสัญญาณไฟแดงอยู่ข้างหน้า ก็ไม่ควรเร่งความเร็ว การขับขี่อย่างราบรื่นช่วยประหยัดพลังงาน
- หลีกเลี่ยงการบรรทุกของบนหลังคารถโดยไม่จำเป็น เมื่อขับรถด้วยความเร็วหนึ่ง 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กล่องเก็บของว่างเปล่าบนหลังคาจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 5-10 ที่วางสกีเพิ่มร้อยละ 10-20 การบรรทุกจักรยานเพิ่มร้อยละ 30 และกระเป๋าเดินทางที่บรรจุของเต็มจะทำให้ใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 35-40

ภาพที่ 3.2.12 รถไฟฟ้า



ปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำทุกรายต่างออกแบบรถยนต์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเมื่อเทียบกับรุ่นก่อน ๆ การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลายเป็นประเด็นสำคัญสำหรับผู้ซื้อพอ ๆ กันกับคุณภาพ ความปลอดภัย และราคา บริษัทต่าง ๆ แข่งขันกันเพื่อประหยัดพลังงานและลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ว่าจะมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า (รถอีวี) มาตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของอุตสาหกรรมรถยนต์ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 และต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 แต่การปฏิวัติด้านแบตเตอรี่ไฟฟ้าก็เริ่มต้นขึ้นอย่างจริงจังเมื่อรถยนต์เทสลาเข้าสู่ตลาดในปี พ.ศ. 2546 สิ่งนี้กลายเป็นทางเลือกที่ใช้งานได้จริงในการลดการปล่อยคาร์บอนจากระบบขนส่งทางถนน และช่วยผลักดันให้สัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.2 ของยอดขายรถยนต์ใหม่เมื่อทศวรรษที่แล้ว เป็นร้อยละ 13 ในปี พ.ศ. 2565 โดยยอดขายเพิ่มขึ้นถึงสามเท่าระหว่างปี พ.ศ. 2561-2565 และคาดว่าจะเติบโตในอัตราร้อยละ 30 ต่อปีในช่วงทศวรรษหน้า ซึ่งจะทำให้รถยนต์ไฟฟ้าคิดเป็นครึ่งหนึ่งของยอดขายรถยนต์ทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2578 คาดว่ายอดขายรถยนต์ไฟฟ้าในยุโรปและจีนจะเพิ่มขึ้นเกือบร้อยละ 40 ภายในปี พ.ศ. 2608

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในเขตเมืองสามารถลดลงได้ หากมีการส่งเสริมให้ประชาชนหันมาใช้ระบบขนส่งสาธารณะแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ทั้งนี้จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อระบบขนส่งสาธารณะมีความรวดเร็วและสะดวกสบาย ให้บริการครอบคลุมทุกพื้นที่ของเมือง เชื่อมโยงศูนย์กลางเมืองกับพื้นที่ชานเมือง และเป็นทางเลือกที่เชื่อถือได้รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้รถยนต์ส่วนตัว การใช้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน รถยนต์ไฮบริด และรถยนต์ไฟฟ้าในระบบขนส่งสาธารณะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังช่วยยกระดับคุณภาพอากาศในเมืองอีกด้วย

คาร์พูล คือ การเดินทางร่วมกันด้วยรถยนต์

คาร์พูลหมายถึงการพาผู้อื่น (รวมถึงคนแปลกหน้า) โดยสารไปด้วยในรถยนต์ส่วนตัว โดยมักเป็นการเดินทางที่ทำเป็นประจำ (ทุกวัน) เช่น การเดินทางไปทำงานหรือไปโรงเรียน

วิธีนี้เป็นแนวทางที่ดีในการช่วยลดภาระของระบบขนส่งสาธารณะในเมือง

คาร์พูล เริ่มมีมาตั้งแต่ช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 1940 เมื่อรัฐบาลสหรัฐอเมริกาพยายามประหยัดเชื้อเพลิงเพื่อรองรับความต้องการในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง โดยกำหนดให้เจ้าของรถต้องรับส่งผู้โดยสารในการเดินทางทุกครั้ง นโยบายนี้ประสบความสำเร็จในการลดการใช้เชื้อเพลิง แต่ผลกระทบยังค่อนข้างจำกัด เนื่องจากเจ้าของรถส่วนใหญ่ในขณะนั้นเป็นผู้มีฐานะดีและไม่เต็มใจจะแบ่งปันรถของตนกับคนแปลกหน้า

ในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 1970 เมืองลอสแองเจลิสได้จัดให้มีเลนแยกบนถนนสำหรับรถคาร์พูลโดยเฉพาะ ปัจจุบัน เลนคาร์พูลเหล่านี้มีอยู่ทั่วอเมริกาเหนือและยุโรป (โดยเลนจะมีเครื่องหมายเฉพาะ เช่น สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีขาวบนพื้นถนน) แนวทางนี้ช่วยลดจำนวนรถยนต์บนท้องถนน ลดความต้องการที่จอดรถ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผู้โดยสารยังได้รับประโยชน์อีกมากมาย เช่น ประหยัดค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง และค่าจอดรถ





ภาพที่ 3.2.13

ช่องทางพิเศษสำหรับรถคาร์พูลบนถนนในสหรัฐอเมริกา

จักรยานเป็นยานพาหนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

จักรยานเป็นรูปแบบการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมสุขภาพมากที่สุด นักวิทยาศาสตร์ได้คำนวณว่า ผู้ที่เดินทางไปโรงเรียนหรือที่ทำงานด้วยจักรยานแทนการใช้รถยนต์ในแต่ละวัน จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากถึงหนึ่งตันต่อปี

จักรยานเป็นยานพาหนะที่นิยมใช้ในประเทศเนเธอร์แลนด์ เดนมาร์ก นอร์เวย์ สวีเดน และเยอรมนี ที่กรุงโคเปนเฮเกน ผู้คนหนึ่งในสามคนเดินทางไปทำงานด้วยรถจักรยาน ในนครอัมสเตอร์ดัม ผู้คนร้อยละ 40 ใช้จักรยานทุกวัน และเลนจักรยานในเมืองมีความยาวทั้งสิ้น 400 กิโลเมตร





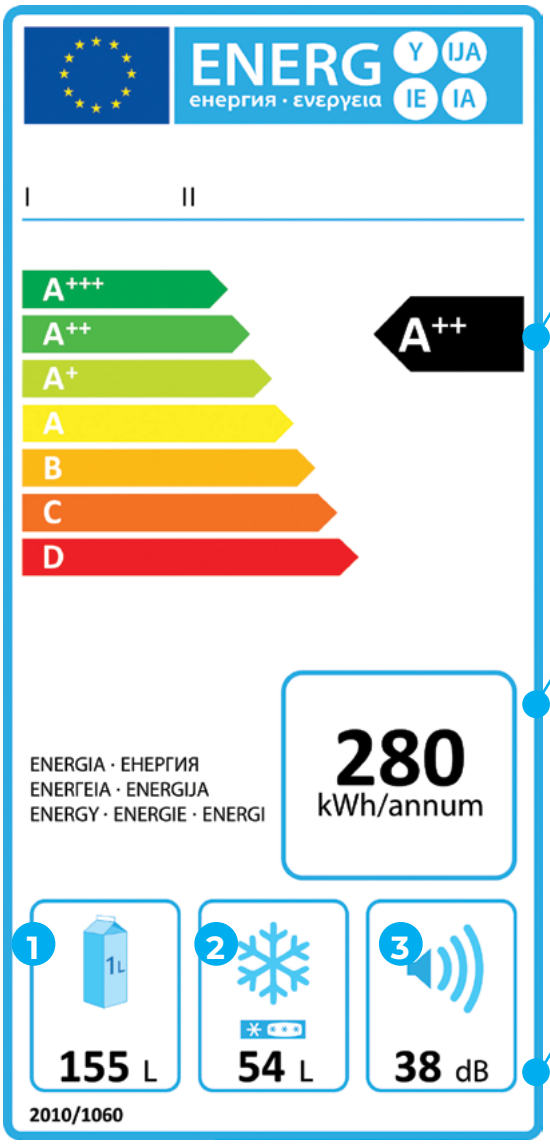
3.2.2 เครื่องใช้ในครัวเรือนและอุปกรณ์ไฟฟ้า

หลายประเทศมีระบบเฉพาะสำหรับกำหนดมาตรฐานและการติดฉลากเครื่องใช้ภายในบ้านตามประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ฉลากพลังงานของยุโรปเป็นข้อบังคับสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและหลอดไฟบางประเภทที่จำหน่ายในสหภาพยุโรปตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 (ภาพที่ 3.2.14) ฉลากนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานและคุณลักษณะอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน ซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตรายเดียวหรือหลายราย ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดคือผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 'A' หรือ 'A +' 'A++' และ 'A+++'

ประเทศไทยมีโครงการติดฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยใช้สัญลักษณ์รูปดาวเป็นตัวบ่งชี้ ยิ่งมีจำนวนดาวปรากฏบนฉลากมากเท่าใด ยิ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ ฉลากยังให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคเกี่ยวกับปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ รวมถึงค่าไฟฟ้าต่อปีด้วย (ภาพที่ 3.2.15)

ในทำนองเดียวกัน โปรแกรมติดฉลากพลังงานของประเทศฟิลิปปินส์ใช้ระบบการให้คะแนนผลิตภัณฑ์ด้วยสัญลักษณ์ดาว 5 ดวง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ 5 ดาวถือว่ามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด ฉลากดังกล่าวครอบคลุมผลิตภัณฑ์ประเภทหลอดไฟแอลอีดี (LED) หลอดฟลูออเรสเซนต์บางประเภท บัลลาสต์สำหรับหลอดไฟ โทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น

ภาพที่ 3.2.14 ฉลากประสิทธิภาพการใช้พลังงานรูปแบบใหม่สำหรับตู้เย็นที่วางจำหน่ายในสหภาพยุโรป



ระดับประสิทธิภาพพลังงาน

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ใช้ในหนึ่งปี หน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คำนวณจากการใช้งานต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงตลอด 365 วัน

1. พื้นที่ความจุทั้งหมด (ลิตร) สำหรับเก็บอาหารสด
2. พื้นที่ความจุทั้งหมด (ลิตร) สำหรับเก็บอาหารแช่แข็ง
3. ระดับเสียง (เดซิเบล)

เอเนอร์จี้สตาร์ (Energy Star) คือโครงการรับรองประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US EPA) ในปี พ.ศ. 2535 สำหรับจอคอมพิวเตอร์ที่มีการใช้พลังงานต่ำ จอคอมพิวเตอร์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานบางประการจะมีสิทธิ์ได้รับฉลาก ‘เอเนอร์จี้สตาร์’ และกว่าร้อยละ 98 ของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้รับฉลากดังกล่าว มีการขยายการใช้ฉลากเอเนอร์จี้สตาร์ ไปยังสินค้าประเภทอื่นอีก 65 ประเภทตั้งแต่เครื่องใช้ไฟฟ้าไปจนถึงอาคาร ซึ่งปัจจุบันมีการประเมินโดยใช้ระบบเอเนอร์จี้สตาร์ (ขณะนี้มีอาคารมากกว่า 1.4 ล้านหลัง และโรงงานกว่า 20,000 แห่งในสหรัฐอเมริกาที่ได้รับการรับรองตามระบบเอเนอร์จี้สตาร์นี้)

ภาพที่ 3.2.15 ฉลากประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศไทยและฉลากเอเนอร์จี้สตาร์ของสหรัฐอเมริกา

a)



b)

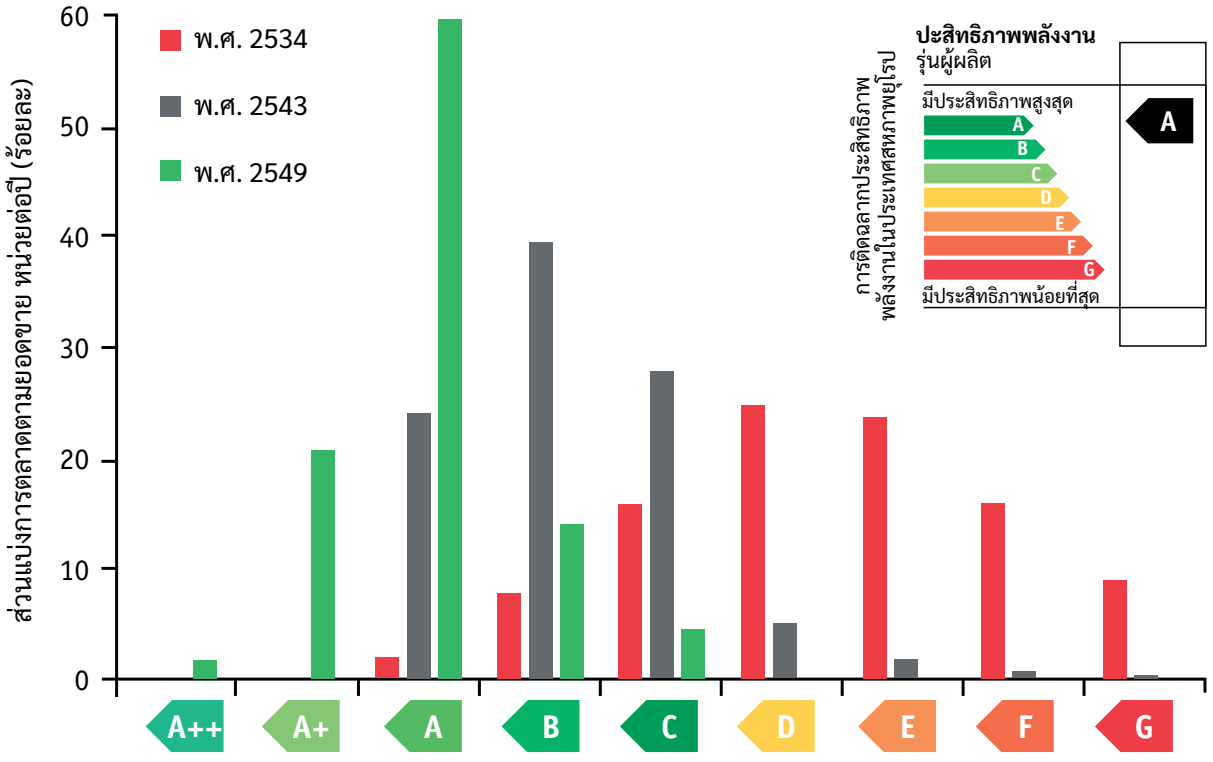


เอเนอร์จี้สตาร์ เป็นหนึ่งในโครงการสำคัญที่รัฐบาลสหรัฐอเมริการายงานไว้ใน รายงานการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate Ambition Report) ประจำปี พ.ศ. 2565 รายงานฉบับนี้ได้แสดงถึงความก้าวหน้าเชิงนโยบายของสหรัฐอเมริกาภายใต้ความตกลงปารีส ตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการในปี พ.ศ. 2535 เอเนอร์จี้สตาร์ และพันธมิตรได้ช่วยให้ครัวเรือนและภาคธุรกิจในสหรัฐฯ ประหยัดไฟฟ้าไปแล้วกว่า 5 ล้านล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้มากกว่า 5 แสนล้านดอลลาร์สหรัฐ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 4,000 ล้านตันเฉพาะในปี พ.ศ. 2565 เพียงปีเดียว โครงการนี้ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่า 400 ล้านตัน เทียบเท่ากับการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับมากกว่าร้อยละ 5 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ

ประเทศต่าง ๆ กำลังตระหนักถึงประโยชน์ของการกำหนดมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานและโปรแกรมการติดฉลาก ซึ่งช่วยลดค่าไฟฟ้า ขับเคลื่อนนวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์ สร้างงาน และลดต้นทุนของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบัน โปรแกรมลักษณะดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ถูกนำมาใช้ในกว่า 120 ประเทศทั่วโลก และถือเป็นรากฐานสำคัญของนโยบายด้านประสิทธิภาพพลังงานและการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของหลายประเทศ โครงการเหล่านี้มีการดำเนินงานมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป ทั้งนี้ จากการประมาณการของสำนักงานพลังงานสากล (International Energy Agency: IEA) โปรแกรมเหล่านี้สามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้าโดยรวมได้ประมาณร้อยละ 15 ต่อปี

ฉลากประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้เพียงให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคเฉพาะเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์เท่านั้น แต่ยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ด้วย ท้ายที่สุดแล้ว หน้าที่หลักของเครื่องซักผ้าคือการซักและล้างผ้า ส่วนการประหยัดพลังงานแม้จะเป็นสิ่งสำคัญ แต่ก็เป็นปัจจัยรอง ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผู้บริโภคให้ความสำคัญมากขึ้นกับการเลือกใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพในการทำงาน แต่ยังใช้พลังงานและทรัพยากรน้อยลง ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย (ภาพที่ 3.2.16)

ภาพที่ 3.2.16 **ผลกระทบของฉลากประสิทธิภาพพลังงานและมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำต่อตลาดตู้เย็นและตู้แช่แข็งของสหภาพยุโรป**



ผลกระทบของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อสุขภาพของมนุษย์มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์นั้น ควรตระหนักอันตรายต่อสุขภาพจากสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ อาจไม่ปรากฏในทันที แต่อาจถูกพบในภายหลัง การพบปัญหาเหล่านี้ไม่ได้หมายความว่าเทคโนโลยีใหม่ไม่สามารถใช้งานได้ เพราะบางครั้งการปรับปรุงการออกแบบก็อาจเพียงพอในการแก้ไขปัญหานั้น อย่างไรก็ตาม ควรใช้เทคโนโลยีใหม่ด้วยความระมัดระวัง โดยไม่ด่วนสรุปหรือตั้งแง่ แต่ก็ไม่ควรละเลยความเสี่ยง

ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ใหม่ที่ได้รับความนิยมในช่วงไม่นานมานี้คือ เตาแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้งานง่ายมากและประหยัดพลังงาน เนื่องจากให้ความร้อนเฉพาะบริเวณก้นกระทะเท่านั้น ไม่ได้ทำความร้อนพื้นที่โดยรอบ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาอย่างเหมาะสมเกี่ยวกับผลกระทบของสนามแม่เหล็กกระแสวนต่อมนุษย์

3.2.3 การก่อสร้างสีเขียว ทั้งแบบพาสซีฟและ แอ็กทีฟ

ผู้คนมีวิถีชีวิตที่หลากหลาย ไม่ใช่ทุกครอบครัวจะมีรถยนต์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าครบครัน แต่ทุกคนล้วนต้องการที่อยู่อาศัยที่ปลอดภัยและมั่นคง ดังนั้น แนวคิดเรื่องการสร้างบ้านที่ประหยัดพลังงานจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจมาโดยตลอด กระท่อมของชาวนาในยุโรปและเต็นท์ของชนเผ่าเร่ร่อนต่างก็ถูกออกแบบขึ้นโดยใช้ความรู้เฉพาะทาง แม้จะไม่ได้มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน เครื่องทำความร้อนแบบก่ออิฐซึ่งนิยมใช้ในบ้านเรือนของยุโรปตะวันออก ยุโรปเหนือ และเอเชียเหนือ เป็นตัวอย่างหนึ่งของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (ภาพที่ 3.2.17) ผนังอิฐที่หนาสามารถกักเก็บความร้อนได้ดี และปล่องไฟที่ออกแบบให้มีหลายส่วนยังช่วยดึงความร้อนออกจากควันก่อนที่ควันจะระบายออกนอกอาคาร

ภาพที่ 3.2.17

เครื่องทำความร้อนแบบก่ออิฐแบบดั้งเดิมเป็นตัวอย่างที่ดีของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



ในยุคปัจจุบัน เมื่อปี พ.ศ. 2517 ราคาน้ำมันที่พุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้ต้นทุนในการจัดหาพลังงานและความร้อนสำหรับอาคารเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก สถานการณ์นี้จึงเป็นแรงผลักดันให้สถาปนิกและวิศวกรเริ่มมองการออกแบบอาคารจากมุมมองใหม่ โดยให้ความสำคัญกับการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและแหล่งพลังงานทางเลือก บ้านเรือนหลายแห่งเริ่มนำแนวคิดเหล่านี้มาใช้ และมีการก่อสร้างอาคารสาธิตขึ้นเป็นพิเศษเพื่อแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการออกแบบในแนวทางใหม่นี้ รัฐบาลหลายประเทศก็ให้การสนับสนุนโครงการดังกล่าวอย่างแข็งขัน

สภาอาคารสีเขียวโลก (World Green Building Council: WorldGBC) ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการในปี พ.ศ. 2545 โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมอาคารทั่วโลกไปสู่แนวทางที่ยั่งยืน ปัจจุบัน สภาแห่งนี้ประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นบริษัทด้านอสังหาริมทรัพย์และการก่อสร้างมากกว่า 30,000 แห่ง จาก 80 ประเทศทั่วโลก สมาชิกของสภาฯ มุ่งแสวงหาวิธีการใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการใช้ทรัพยากรในทุกขั้นตอนของวงจรชีวิตอาคาร ทั้งในระหว่างการก่อสร้าง การใช้งาน การซ่อมแซม และการรื้อถอนในที่สุด การก่อสร้างสีเขียวมีเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดมลพิษทางน้ำ ลดปริมาณขยะ และอนุรักษ์ระบบนิเวศธรรมชาติที่อยู่โดยรอบ แม้อาคารลักษณะนี้จะมีต้นทุนการก่อสร้างสูงกว่าเล็กน้อย แต่ค่าใช้จ่ายส่วนเพิ่มนั้นสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 5 ถึง 10 ปี

อาคารประหยัดพลังงานมักถูกเรียกว่า “อาคารแบบพาสซีฟ” หรือ “อาคารแบบแอ็กทีฟ” โดยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคารนั้น ๆ อาคารแบบพาสซีฟอาจไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนเลย หรือใช้เพียงหนึ่งในสิบของพลังงานที่อาคารทั่วไปต้องใช้ ส่วนอาคารแบบแอ็กทีฟนอกจากจะใช้พลังงานน้อยแล้ว ยังสามารถผลิตพลังงานได้ด้วยตนเอง โดยบางครั้งอาจผลิตได้มากพอที่จะส่งพลังงานส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าส่วนกลาง อาจเคยได้ยินคำว่า “อาคารอัจฉริยะ” ซึ่งหมายถึงอาคารที่สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานและควบคุมระบบการใช้พลังงานต่าง ๆ ได้โดยอัตโนมัติ

ภาพที่ 3.2.18

มีอาคารประหยัดพลังงานหลายหลังที่ถูกสร้างขึ้นในเขตวีคกิ (Viikki) ของเฮลซิงกิ เมืองหลวงของประเทศฟินแลนด์ โดยได้ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ที่ผนังด้านนอกของอาคารเหล่านั้นด้วย



อาคารพาสซีฟ

หนึ่งในวัตถุประสงค์หลักของการออกแบบอาคารพาสซีฟในประเทศเขตหนาวทางตอนเหนือ คือการลดการสูญเสียความร้อน โดยหลักการแล้ว บ้านที่เป็นอาคารพาสซีฟจะใช้ความร้อนที่เกิดจากผู้อยู่อาศัยและเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเป็นแหล่งความร้อนหลัก หากจำเป็นต้องใช้ความร้อนเพิ่มเติม ควรเลือกใช้พลังงานจากแหล่งหมุนเวียน อาคารประเภทนี้มักก่อสร้างโดยใช้อิฐที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล

บ้านประเภทนี้มักใช้อิฐที่ทำจากวัสดุรีไซเคิลในการก่อสร้าง

ไม่เพียงแต่ผนังอาคารเท่านั้นที่ต้องติดตั้งฉนวนกันความร้อน พื้น เพดาน ห้องใต้หลังคา ชั้นใต้ดิน และแม้แต่ฐานรากก็จำเป็นเช่นกัน สิ่งสำคัญคือต้องออกแบบโดยหลีกเลี่ยงสิ่งที่เรียกว่า ‘สะพานเย็น’ ซึ่งแม้จะดูเหมือนเป็นรายละเอียดเล็กน้อย แต่เป็นจุดเชื่อมต่อในโครงสร้างที่อาจทำให้ความร้อนรั่วไหลออกจากอาคารได้ แม้ในอาคารที่มีระบบเก็บรักษาความร้อนที่ดีอยู่แล้วก็ตาม วิธีการออกแบบที่ป้องกันสะพานเย็นสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้เกือบ 20 เท่า



ใบรับรองด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคาร

มาตรฐานการรับรองด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ระบบที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ได้แก่ BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method ในสหราชอาณาจักร) LEED (Leadership in Energy and Environmental Design ในสหรัฐอเมริกา) และ DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen ในเยอรมนี)

ระบบ BREEAM ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2533 ได้รับรองอาคารไปแล้วกว่า 200,000 แห่งทั่วโลก โดยใช้เกณฑ์ประเมิน ได้แก่ คุณภาพการบริหารจัดการอาคาร สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้อยู่อาศัย ประสิทธิภาพด้านพลังงาน ระบบขนส่ง การใช้น้ำ วัสดุ ขยะ การใช้ที่ดิน และมลพิษ

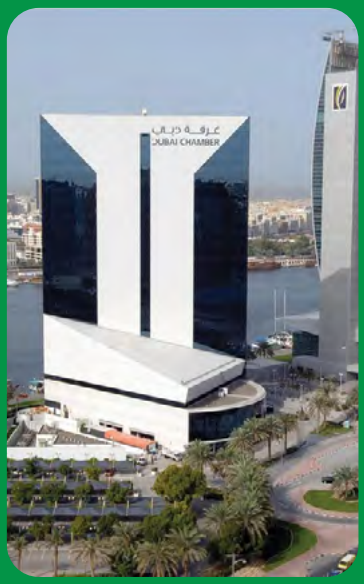
ระบบ LEED ได้รับการออกแบบในปี พ.ศ. 2541 โดยใช้เกณฑ์ประเมิน เช่น การพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานและอากาศสะอาด วัสดุและทรัพยากร คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร และนวัตกรรม อาคารสามารถได้รับการรับรองใน 4 ระดับ ได้แก่ ระดับรับรองทั่วไป ระดับเงิน ระดับทอง และระดับแพลตตินัม ขึ้นอยู่กับจำนวนเกณฑ์ที่ผ่านการประเมิน

ระบบ DGNB ซึ่งเริ่มใช้ในปี พ.ศ. 2552 ใช้แนวคิดการวางแผนแบบบูรณาการในการประเมินอาคาร ทั้งด้านนิเวศวิทยา เศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม การใช้งาน และที่ตั้งของอาคาร

อาคาร LEED ระดับแพลตตินัมแห่งแรกในตะวันออกกลาง

สำนักงานใหญ่ของหอการค้าและอุตสาหกรรมดูไบ ซึ่งสร้างขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2538 ถือเป็นตัวอย่างที่โดดเด่นของการปรับเปลี่ยนอาคารสูงที่ใช้พลังงานและน้ำในปริมาณมากให้กลายเป็นอาคารสีเขียวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมสุขภาพ

ระหว่างปี พ.ศ. 2541-2556 การใช้พลังงานและน้ำต่อคนในอาคารลดลงร้อยละ 63 และร้อยละ 92 ตามลำดับ ทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายได้เกือบ 5.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ผ่านแนวคิดที่มีค่าใช้จ่ายต่ำหรือไม่มีค่าใช้จ่ายเลย หลังจากปรับปรุง อาคารแห่งนี้ได้รับฉลากเอเนอร์จี้สตาร์ และการรับรอง LEED ระดับแพลตตินัม



ในบ้านแบบพาสซีฟที่ใช้พลังงานต่ำ การออกแบบหน้าต่างอย่างพิถีพิถันถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยหน้าต่างกระจกสองชั้นจะถูกปิดผนึกอย่างแน่นหนา แผ่นกระจกเคลือบด้วยฟิล์มพิเศษที่สามารถรับแสงและความอบอุ่นจากภายนอก แต่จะสะท้อนกลับเมื่อพยายามแผ่ผ่านออกไป หน้าต่างบานใหญ่ที่สุดมักจะหันไปทางทิศที่ได้รับแสงแดดเป็นหลัก

ระบบทำความร้อน ปรับอากาศ และระบายอากาศในอาคารได้รับการออกแบบให้ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอาคารทั่วไป ตัวอย่างเช่น ในฤดูหนาว อากาศที่ถูกปล่อยออกจากอาคารจะถูกส่งผ่านท่อร่วมกับอากาศที่ไหลเข้ามา โดยผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนพิเศษ ซึ่งช่วยถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่อบอุ่นไปยังอากาศเย็น ส่วนในฤดูร้อน อากาศร้อนจากภายนอกจะถูกส่งผ่านท่อลงสู่ใต้ดินเพื่อให้เย็นลงก่อนเข้าสู่อาคาร หลักการเดียวกันนี้ยังสามารถใช้ในการดึงความร้อนจากน้ำใช้แล้วอีกด้วย

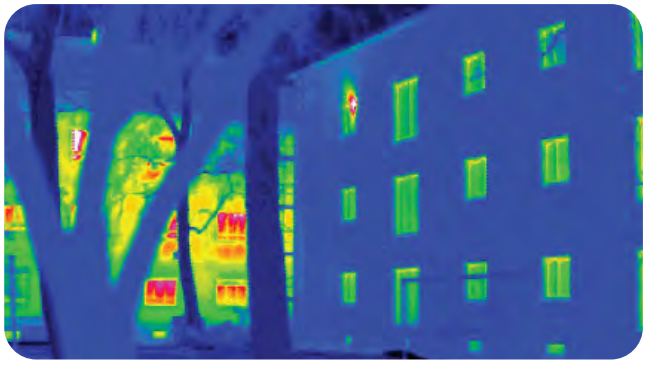
แน่นอนว่า แม้แต่อาคารที่ได้รับการออกแบบอย่างระมัดระวังเช่นนี้ บางครั้งก็ยังต้องการระบบทำความร้อนหรือทำความเย็นเพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม อาคารจะใช้พลังงานน้อยกว่ามากในการควบคุมอุณหภูมิภายในเมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป การออกแบบขั้นสูงเช่นนี้ย่อมมีข้อจำกัดโดยธรรมชาติ เช่น ความจำเป็นในการตรวจสอบระบบท่ออากาศอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากฝุ่นละอองที่สะสม การใช้วัสดุสังเคราะห์ หรือปัญหาการนำไฟฟ้า อาจส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ สิ่งสำคัญคือต้องมั่นใจว่าเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้จะต้องไม่ปล่อยสารอันตรายสู่อากาศภายใน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมขนาดเล็ก (หากเหมาะสม) จะถูกติดตั้งบนหลังคา อาคารจะใช้ระบบแสงสว่างที่ประหยัดพลังงานที่สุด เช่น หลอดแอลอีดี (LED) และในบางกรณีอาจให้แสงสว่างแก่ตัวอาคารได้โดยใช้แสงแดดเพียงอย่างเดียว

เมื่อรวมอุปกรณ์และเทคโนโลยีเหล่านี้เข้าด้วยกัน จะสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจุบันมีการก่อสร้างบ้านพาสซีฟเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยประมาณว่าในปี พ.ศ. 2565 มีบ้านพาสซีฟมากกว่า 120,000 หลังทั่วโลก รวมถึงอาคารสำนักงาน ร้านค้า โรงเรียน และโรงเรียนอนุบาล โดยส่วนใหญ่อยู่ในทวีปยุโรป แนวคิดนี้เริ่มต้นในประเทศเยอรมนีหรือพื้นที่ที่มีสภาพอากาศคล้ายคลึงกัน และปัจจุบันได้ขยายไปสู่พื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก พร้อมมีเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสมกับสภาพอากาศที่หลากหลาย

ในภูมิอากาศหนาวเย็น การออกแบบจะเน้นที่การลดการสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุด และเพิ่มการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้มากที่สุด ในภูมิอากาศที่อุ่นกว่า ฉนวนกันความร้อนระดับปานกลางและหน้าต่างประสิทธิภาพสูงก็เพียงพอ แม้ประสิทธิภาพของอาคารในช่วงฤดูร้อนจะต้องได้รับการพิจารณาเพิ่มเติม สำหรับสภาพอากาศที่ร้อนจัด ความต้องการฉนวนกันความร้อนจะยิ่งเพิ่มขึ้น และต้องควบคุมการรับแสงอาทิตย์ทางหน้าต่าง ผนัง และหลังคา ในภูมิอากาศร้อนชื้น จำเป็นต้องลดภาระความชื้นให้น้อยที่สุด ตัวอย่างของบ้านพาสซีฟในสภาพภูมิอากาศที่หลากหลาย เช่น แคนาดา สหรัฐอเมริกา เยอรมนี จีน กรีซ สเปน ไต้หวัน เม็กซิโก และสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ แสดงให้เห็นถึงแนวทางการออกแบบที่ยืดหยุ่นและสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย



ภาพที่ 3.2.19

ภาพอินฟราเรดแสดงให้เห็นว่าฉนวนกันความร้อนของบ้านพาสซีฟ (ขวา) มีประสิทธิภาพเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านธรรมดา (ซ้าย)

บ้านพักประหยัดพลังงานของนายกรัฐมนตรีอังกฤษ



บ้านเลขที่ 10-12 ถนนดาวน์นิง เป็นสถานที่ที่มีชื่อเสียงในกรุงลอนดอน ในฐานะที่พำนักของนายกรัฐมนตรีอังกฤษ

อาคารเก่าแก่ 300 ปีหลังนี้กำลังอยู่ในระหว่างการปรับปรุงและตกแต่งใหม่เป็นระยะ ๆ เพื่อให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น แนวคิดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่นำมาใช้ ได้แก่

- ระบบไฟควบคุมโดยใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวและหลอดไฟประหยัดพลังงาน
- การนำความร้อนเหลือทิ้งจากอุปกรณ์ไอทีมาใช้ทำน้ำอุ่น
- ฉนวนกันความร้อน
- อุปกรณ์ที่ใช้ปริมาณน้ำน้อย
- การนำน้ำฝนมาใช้สำหรับการชลประทานในสวน
- ระบบจัดการอาคารพร้อมระบบตรวจสอบสาธารณูปโภค
- ไม้ที่มาจากแหล่งที่ถูกกฎหมายและยั่งยืน
- ขยะจากการก่อสร้างมากกว่าร้อยละ 90 ได้รับการนำมารีไซเคิล

การปรับปรุงครั้งนี้ทำให้บ้านเลขที่ 10 ถนนดาวน์นิง ได้รับการจัดอันดับในระดับ ‘ดีมาก’ จาก BREEAM

โรงเรียนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในสหรัฐอเมริกา

โรงเรียนซิดเวลล์ เฟรนดส์ (Sidwell Friends School) ในเมืองเบเธสดา รัฐแมริแลนด์ และกรุงวอชิงตัน ดีซี ประสบความสำเร็จในการลดการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 60 และลดการใช้น้ำลงได้ถึงร้อยละ 90

ผักที่นักเรียนปลูกบนหลังคาอาคารโดยใช้น้ำฝนจะถูกนำไปใช้ประกอบอาหารกลางวันของโรงเรียน ส่วนการใช้น้ำดื่มจะจำกัดเฉพาะน้ำที่มีคุณภาพเพียงพอสำหรับการบริโภคเท่านั้น

โรงเรียนแห่งนี้ตั้งอยู่ในพื้นที่หนึ่งของสหรัฐอเมริกาที่มีอากาศร้อนจัด อาคารเรียนจึงติดตั้งระบบระบายความร้อนเฉพาะ ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายนอกก่อนเข้าสู่อาคาร เครื่องปรับอากาศจะใช้งานเฉพาะในห้องเรียนในวันที่อากาศร้อนจัดเท่านั้น



ภายในอาคารยังมีการติดตั้งระบบออปติกเพื่อควบคุมและส่งแสงแดดไปยังห้องที่มีแสงน้อย ขณะที่หน้าต่างที่รับแดดโดยตรงจะมีม่านบังตาชนิดพิเศษช่วยลดความร้อนภายในอาคาร

อาคารแบบแอ็กทีฟ

อาคารแบบแอ็กทีฟนำแนวคิดบางประการของอาคารแบบพาสซีฟมาใช้ร่วมด้วย เช่น การติดตั้งฉนวนกันความร้อน หรือการจัดวางหน้าต่างให้ได้รับแสงแดดอย่างเหมาะสม แต่ยังเน้นการส่งเสริมการใช้ระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และ/หรือปั๊มความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ อาคารประหยัดพลังงานแบบแอ็กทีฟแห่งแรกของโลกถูกสร้างขึ้นที่ประเทศเดนมาร์ก (ซึ่งมีเว็บไซต์ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารประเภทนี้ที่ www.activehouse.info) ร่างข้อกำหนดของสหภาพยุโรปในปี พ.ศ. 2566 ว่าด้วยประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ระบุว่า อาคารใหม่ทุกหลังจะต้องเป็นอาคารปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2573 เป็นต้นไป และตั้งเป้าหมายให้มีอาคารที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2593 ซึ่งหมายความว่า อาคารเหล่านี้ต้องมีลักษณะทั้งของอาคารแบบพาสซีฟและแบบแอ็กทีฟควบคู่กันไป

บ้านแบบแอ็กทีฟในประเทศเดนมาร์ก



บ้านที่เรียกว่า 'บ้านเพื่อชีวิตในเดนมาร์ก' เป็นตัวอย่างของบ้านที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกลาง บ้านนี้ผลิตพลังงานได้ 9 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งมากกว่าพลังงานที่ใช้ไป ปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และแผงรับแสงอาทิตย์ 7 ตารางเมตรสร้างพลังงานสำหรับทำความร้อนและน้ำอุ่น ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ 50 ตารางเมตรสร้างไฟฟ้า หน้าต่างสูงจากพื้นจรดเพดานครอบคลุมร้อยละ 40 ของผนังด้านหน้าอาคารซึ่ง

– มากเป็นสองเท่าของบ้านทั่วไป

– และช่วยให้แสงแดดส่องสว่างและเพิ่มความอบอุ่นภายในห้อง ทุกห้องติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้น ระบบควบคุมอัจฉริยะจะปรับการทำงานของบ้านให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้อยู่อาศัย เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมภายในที่ดีต่อสุขภาพและความสบาย กลไกเปิดหน้าต่างอัตโนมัติช่วยให้อากาศบริสุทธิ์ไหลเวียนเข้ามา และเซนเซอร์จะปิดไฟโดยอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้อง

มีการติดตั้งระบบออปติกที่ควบคุมการไหลของแสงแดดโดยส่งไปยังห้องที่มืดกว่าในอาคาร หน้าต่างด้านที่มีแดดของอาคารมีม่านบังตาพิเศษเพื่อป้องกันภายในอาคารไม่ให้ร้อนเกินไป



3.2.4 เมืองสีเขียว

ทั่วโลก มีตัวอย่างมากมายของการใช้เทคโนโลยีเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารต่าง ๆ และไม่นานมานี้ ผู้คนเริ่มขยายแนวคิดดังกล่าวสู่โครงการขนาดใหญ่ในระดับเมือง หนึ่งในเป้าหมายที่ทะเยอทะยาน คือการสร้างเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลองจินตนาการถึงเมืองทั้งเมืองที่ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับธรรมชาติ ผู้อยู่อาศัยใช้ทรัพยากรเท่าที่จำเป็น และร่วมกันปกป้องสิ่งแวดล้อมตามกำลังที่ตนทำได้ เมืองแห่งนี้ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด ขยะได้รับการรีไซเคิลและนำกลับมาใช้ใหม่ ผู้คนในเมืองล้วนตระหนักถึงความสำคัญของการดูแลโลกและดูแลกันและกัน จึงอยู่ร่วมกันได้อย่างสงบและกลมเกลียว

ประชากรโลกจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ต้องการให้ความฝันเหล่านี้เป็นจริง จึงมีการให้ความสำคัญกับการออกแบบเมืองสีเขียวมากขึ้น เมืองสีเขียวจะมีทั้งอากาศและน้ำที่สะอาด ของเสียและน้ำเสียได้รับการรีไซเคิลและนำกลับมาใช้ใหม่ มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่หลังคาเพื่อทำสวนหรือสำหรับติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ พร้อมทั้งมีถังเก็บน้ำฝน อาคารที่พักอาศัย อาคารสาธารณะ และอาคารเชิงพาณิชย์จะถูกก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยีบ้านแบบแอ็กทีฟและพาสซีฟ

การเปลี่ยนให้เมืองทั้งหมดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างฉับพลันทันทีนั้นเป็นเรื่องที่ไปไม่ได้ ความฝันเหล่านี้กำลังค่อย ๆ กลายเป็นความจริงในหลายพื้นที่ทั่วโลก หลายเมืองได้รับการยกย่องว่ามีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ยอดเยี่ยม ขณะที่เมืองอื่น ๆ เช่น กรุงเทพมหานครและกัวลาลัมเปอร์ กำลังดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ผ่านการเพิ่มพื้นที่สีเขียว พัฒนาระบบขนส่งให้สะอาดยิ่งขึ้น รวมถึงปรับปรุงการจัดการน้ำและระบบผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น





เกาะซัมเซอ ประเทศเดนมาร์ก

ชาวเกาะซัมเซอของประเทศเดนมาร์กสามารถพึ่งพาตนเองด้วยพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนได้อย่างเต็มรูปแบบ อีกทั้งยังสามารถจำหน่ายพลังงานส่วนหนึ่งที่ผลิตได้อีกด้วย ความสำเร็จนี้เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 10 ปี ด้วยเงินลงทุน 80 ล้านดอลลาร์ ซึ่งได้คืนทุนแล้วจากการขายไฟฟ้า ชาวเกาะได้ติดตั้งกังหันลม 10 ตัวบนแผ่นดินและอีก 11 ตัวในทะเล ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ถึง 28 กิกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี

ความร้อนบนเกาะมาจากชีวมวลหมุนเวียน โดยมีการเผาฟางข้าวเลื่อย และเศษวัสดุเหลือใช้จากพืชชนิดอื่น ๆ ในโรงงานผลิตไอน้ำ

เกาะแห่งนี้มีพื้นที่ 114 ตารางกิโลเมตร ทอดยาวจากเหนือจรดใต้ประมาณ 50 กิโลเมตร และกว้างที่สุดมากกว่า 20 กิโลเมตร มีประชากรราว 4,000 คน ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ชุมชนที่ใหญ่ที่สุดคือทรานเนบเจิร์ก (Tranebjerg) ซึ่งแม้จะมีประชากรเพียง 800 คน แต่ก็เรียกด้วยความภาคภูมิใจว่าเป็น ‘เมือง’

เมืองมาสดาร์ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์



เมืองมาสดาร์ (‘มาสดาร์’ เป็นภาษาอาหรับแปลว่า ‘แหล่งกำเนิด’) เป็นเมืองนิเวศแห่งใหม่ในสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ (ยูเออี) ตั้งอยู่ในเอมิเรตแห่งอาบูดาบี ห่างจากเมืองหลวง 17 กิโลเมตร และอยู่ใกล้กับสนามบินนานาชาติ

รัฐบาลอาบูดาบีได้นำเสนอแนวคิดการสร้างเมืองสีเขียวกลางทะเลทราย และเปิดตัวโครงการดังกล่าวในปี พ.ศ. 2549 ด้วยงบประมาณ 22,000 ล้านดอลลาร์ เมื่อแล้วเสร็จ เมืองใหม่นี้คาดว่าจะมีประชากรระหว่าง 45,000-50,000 คน และจะมีผู้เดินทางเข้าไปทำงานในแต่ละวันอีกราว 60,000 คน บริษัทและโรงงานส่วนใหญ่ในเมืองมาสดาร์จะมุ่งเน้นการพัฒนาและผลิตเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมืองมาสดาร์ห้ามใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล ผู้พักอาศัยจะเดินทางด้วยการเดินเท้า ขี่จักรยาน ใช้ระบบขนส่งสาธารณะ หรือใช้บริการแท็กซี่อัจฉริยะควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ปัจจุบัน เมืองกำลังสร้างกำแพงสูงรอบตัวเมืองเพื่อป้องกันลมร้อนจากทะเลทราย และถนนภายในเมืองจะได้รับการออกแบบให้มีร่มเงาอย่างหนาแน่น

เมืองมาสดาร์ได้รับการออกแบบให้เป็นศูนย์กลางของบริษัทด้านเทคโนโลยีสะอาด โดยมีสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาสดาร์ (Masdar Institute of Science and Technology: MIST) เปิดดำเนินการตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 นอกจากนี้ เมืองแห่งนี้ยังเป็นที่ตั้งของสำนักงานใหญ่ของสำนักงานพลังงานหมุนเวียนระหว่างประเทศ (International Renewable Energy Agency: IRENA) อีกด้วย

ประสบการณ์จากเมืองมาสดาร์แสดงให้เห็นว่า การดำเนินชีวิตอย่างยั่งยืนนั้นมีทั้งความยากลำบากและความท้าทาย ตั้งแต่สกู๊ตเตอร์ไฟฟ้า รถยนต์ไร้คนขับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไปจนถึงเทคโนโลยีแห่งอนาคต เมืองแห่งนี้ไม่เพียงแต่จัดแสดงแนวทางในการทำให้การใช้ชีวิตอย่างยั่งยืนเป็นเรื่องง่ายขึ้นเท่านั้น แต่ยังนำเสนอทางเลือกที่ชาญฉลาดซึ่งนำไปสู่โลกที่ดียิ่งขึ้นอีกด้วย





ประเทศสิงคโปร์

ประเทศสิงคโปร์ได้รับการยอมรับว่าเป็น “เมืองในสวน” ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากพื้นที่สีเขียวที่ครอบคลุมทั่วเมือง การสนับสนุนธุรกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และความสำเร็จในการลดมลพิษทางอากาศและน้ำในอดีตผ่านนโยบายและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม แม้จะมีภูมิทัศน์ที่เขียวขจีและการควบคุมการใช้ยานพาหนะอย่างเข้มงวด สิงคโปร์ยังคงเป็นประเทศที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวสูงที่สุดในโลก โดยสาเหตุหลักมาจากภาคพลังงานที่ยังพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศ



เมืองซำเหนือ สปป.ลาว

เมืองซำเหนือได้รับรางวัลเมืองที่ยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมของอาเซียนในปี พ.ศ. 2564 จากความโดดเด่นด้านคุณภาพอากาศและการพัฒนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แผนพัฒนาเมืองซำเหนือยึดหลักแนวคิดเมืองที่ยั่งยืน โดยเน้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวสาธารณะ การอนุรักษ์เส้นทางน้ำธรรมชาติให้ปราศจากมลพิษ และการลดปริมาณขยะ พร้อมทั้งส่งเสริมการใช้ซ้ำและการรีไซเคิลในระดับชุมชนอย่างครอบคลุม นอกจากนี้ เมืองยังมีการเตรียมความพร้อมในการควบคุมและติดตามคุณภาพอากาศและน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ



เมืองเชอร์ฟอร์ด ประเทศอังกฤษ

เมืองเชอร์ฟอร์ดในประเทศอังกฤษ เป็นเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแห่งใหม่ ซึ่งได้รับการออกแบบในสไตล์อังกฤษดั้งเดิม โครงการนี้เปิดตัวในปี พ.ศ. 2559 โดยได้รับการสนับสนุนจากกษัตริย์ชาร์ลส์ที่ 3 อาคารทั้งหมดจะก่อสร้างด้วยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งผลิตในประเทศอังกฤษ และต้องมาจากพื้นที่ที่อยู่ห่างจากสถานที่ก่อสร้างไม่เกิน 80 กิโลเมตร เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการขนส่งวัสดุในระยะไกล ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ

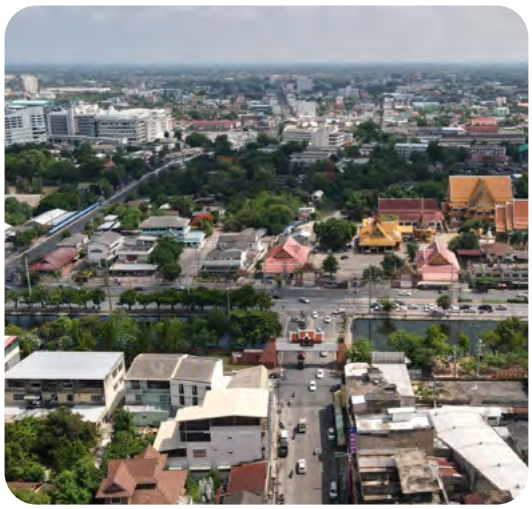
เมืองเชอร์ฟอร์ดจะพัฒนาโดยอิงตามแนวคิดการพัฒนาเมืองแบบดั้งเดิม โดยมุ่งเป้าหมายไปสู่การเป็นเมืองที่มีความเป็นกลางทางคาร์บอน ผ่านการก่อสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน และการจัดผังเมืองให้ประชาชนสามารถอยู่อาศัยใกล้กับถนนสายหลัก เพื่อส่งเสริมการเดินเท้าและการใช้จักรยาน ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพายานพาหนะในบางส่วนของเมือง พื้นที่หลังคาจะถูกนำไปใช้ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และปลูกต้นไม้เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว บ้านพักอาศัยประมาณหนึ่งในสี่ของเมืองจะเป็นแบบ ‘ต้นทุนต่ำ’ เพื่อรองรับความแตกต่างของราคาที่อยู่อาศัยและระดับค่าจ้างในพื้นที่

นครเว้ ประเทศเวียดนาม



นครเว้ได้ร่วมมือกับนักวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาแนวคิดเมืองสีเขียว โดยเน้นการผสมผสานแนวทางแก้ไขปัญหาที่ใช้ธรรมชาติเป็นฐาน ผ่านการปรับปรุงและขยายโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว เช่น ป่าในเมือง สวนสาธารณะ และหลังคาสีเขียว รวมถึงโครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงิน เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ และคลอง แนวทางเหล่านี้มีบทบาทในการปกป้องบริการทางระบบนิเวศ และช่วยเพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวของสังคมและระบบนิเวศ ทั้งในระดับเมืองและภูมิภาคโดยรอบ นอกจากนี้ นครเว้ยังทำงานร่วมกับองค์กรด้านสิ่งแวดล้อมและภาคประชาสังคม เพื่อลดผลกระทบของขยะพลาสติกต่อแม่น้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ และชายฝั่งทะเล ในปี พ.ศ. 2567 เว้ได้รับรางวัล “เมืองท่องเที่ยวสะอาดอาเซียน” โดยผ่านเกณฑ์การประเมิน 108 ข้อ ครอบคลุม 7 หมวดหมู่หลัก ได้แก่ ความสะอาด การจัดการขยะ และการส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม

จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย



จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นเมืองใหญ่อันดับสามของประเทศไทย กำลังเริ่มต้นพัฒนาระบบขนส่งมวลชนทางรางไฟฟ้า โดยเส้นทางแรกที่จะก่อสร้างมีความยาวกว่า 11.2 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ในเขตเมือง และจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายรถไฟความเร็วสูงและมอเตอร์เวย์ โครงการระบบขนส่งมวลชนของเทศบาลนี้มีเป้าหมายเพื่อทดแทนรูปแบบการเดินทางแบบเดิม เช่น รถมินิบัส รถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์ เมื่อเปิดให้บริการแล้ว คาดว่าจะช่วยบรรเทาปัญหาการจราจร ลดผลกระทบด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

นครแวนคูเวอร์ ประเทศแคนาดา



เมืองแวนคูเวอร์ในประเทศแคนาดาได้รับการยกย่องว่าเป็นหนึ่งในเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในทวีปอเมริกาเหนือ เมืองแห่งนี้ได้จัดทำแผนปฏิบัติการที่ทะเยอทะยานเพื่อก้าวสู่การเป็นเมืองสีเขียวที่สุดในโลก แผนดังกล่าวพัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือระหว่างหน่วยงานของเมืองกับประชาชนในท้องถิ่น และประกอบด้วยมาตรการต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียนร้อยละ 100 ภายในปี พ.ศ. 2593 การดำเนินโครงการขยะเป็นศูนย์ การขยายเครือข่ายทางเดินเท้าและทางจักรยาน การพัฒนาอาคารสีเขียวและระบบขนส่งสาธารณะ การเพิ่มพื้นที่สีเขียว ตลอดจนการส่งเสริมตลาดเกษตรกรและสวนชุมชน ฝ่ายบริหารของเมืองได้จัดตั้งกองทุน กรีนเนสท์ ซิตี้ ฟันด์ (Greenest City Fund) มูลค่า 2 ล้านดอลลาร์แคนาดา ร่วมกับมูลนิธิแวนคูเวอร์ เพื่อสนับสนุนโครงการที่ขับเคลื่อนโดยชุมชนในการทำให้เมืองเขียวขึ้น เมื่อมาตรการทั้งหมดนี้ได้รับการดำเนินการอย่างสมบูรณ์ เมืองแวนคูเวอร์ตั้งเป้าลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากชุมชนลงให้ได้ร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับระดับในปี พ.ศ. 2550 ภายในปี พ.ศ. 2593

คำถาม

1. ช่วงเวลาใดของวันเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

2. ประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานหรือไม่

3. เมืองควรได้รับการออกแบบอย่างไร หากต้องการเป็น ‘เมืองสีเขียว’

4. ในช่วงที่อากาศร้อนที่สุด บ้านของคุณสูญเสียความเย็นมากที่สุดบริเวณใด และจะสามารถหลีกเลี่ยงการสูญเสียดังกล่าวได้อย่างไร

5. อธิบายความแตกต่างระหว่างอาคาร ‘แบบพาสซีฟ’ ‘แบบแอ็กทีฟ’ และ ‘แบบอัจฉริยะ’





กิจกรรม

1

ขอผู้ปกครองดูใบแจ้งค่าไฟฟ้าของบ้านหรือห้องพักในช่วงปีที่ผ่านมา จากนั้นให้เขียนจำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมงที่ใช้ในแต่ละเดือน และจัดทำกราฟแสดงการใช้พลังงานรายเดือน

ศึกษาว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าหลักในบ้านของคุณ เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น โทรทัศน์ และระบบแสงสว่าง ใช้พลังงานเท่าใด โดยวิธีการดังต่อไปนี้ 1) ตรวจสอบข้อมูลด้านพลังงานของอุปกรณ์จากฉลากหรือคู่มือ 2) ประเมินระยะเวลาที่ใช้อุปกรณ์นั้นโดยเฉลี่ยต่อวัน 3) คูณระยะเวลาดังกล่าวกับจำนวนวันในหนึ่งเดือน4) คูณกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์กับจำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน

จัดทำกราฟที่สองบนกระดาษแผ่นเดียวกัน เพื่อสรุปการใช้พลังงานรวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในบ้าน จากกราฟ ให้คุณวิเคราะห์ว่าอุปกรณ์ใดใช้พลังงานมากที่สุด และพิจารณาว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น ลองหารือกับผู้ปกครองของคุณเกี่ยวกับแนวทางในการลดการใช้พลังงานในบ้าน

2

ออกแบบเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
วาดแผนที่ขนาดใหญ่ของเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่คุณใฝ่ฝันจะอาศัยอยู่
ตั้งชื่อเมืองนั้นและระบุว่าตั้งอยู่ในภูมิภาคใดของโลก

ถนนในเมืองจะวางผังอย่างไร เมืองจะอนุญาตให้ยานยนต์วิ่งรอบเมืองหรือไม่ เมืองจะมีบริษัทหรืออุตสาหกรรมประเภทใดบ้าง (ถ้ามี)

เขตที่อยู่อาศัยควรตั้งอยู่ในบริเวณใด และเหตุใดจึงควรอยู่บริเวณนั้น บ้านของคุณในเมืองนี้จะมีลักษณะอย่างไร เป็นอาคารประเภทใด และทำจากวัสดุใด ให้เขียนตอบเป็นรูปแบบเรียงความ

3

ค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการด้านสิ่งแวดล้อมของเมืองต่าง ๆ ทั่วโลกจากหน้า ‘เมืองยั่งยืน’ ในวิกิพีเดีย (ภาษาไทยหรืออังกฤษก็ได้) รวมถึงแหล่งข้อมูลออนไลน์อื่น ๆ เลือกเมืองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างน้อยหนึ่งแห่ง แล้วศึกษาสถานะและแนวทางพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างละเอียด จัดทำรายงานนำเสนอข้อมูลเมืองนั้นเพื่อนำเสนอให้เพื่อนฟังในห้องเรียน

3.3 ร่องรอยคาร์บอน และวิธีที่ช่วยโลกด้วยการลดร่องรอยคาร์บอนของตนเอง

3.3.1 ร่องรอยคาร์บอน

กิจกรรมของมนุษย์ใด ๆ ก็ตามที่ต้องใช้พลังงานย่อมส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ

การขับรถ เดินทางไปเมืองหรือประเทศอื่นโดยเครื่องบิน การใช้โทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ การประกอบอาหาร รวมถึงการเก็บรักษาอาหารในตู้เย็น ล้วนเป็นกิจกรรมที่ใช้พลังงาน เช่นเดียวกับการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำไปผลิตกระดาษและเฟอร์นิเจอร์ การเปิดเครื่องทำความร้อนในฤดูหนาว การใช้เครื่องปรับอากาศในฤดูร้อน และการเปิดไฟฟ้าใช้ภายในบ้านตลอดทั้งปี ทุกการกระทำเช่นนี้ล้วนทิ้งร่องรอยคาร์บอนของผู้คนไว้บนโลกใบนี้

ร่องรอยคาร์บอน ของเมืองหรือประเทศ หมายถึง ปริมาณรวมของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ผู้คนและองค์กรภายในเมืองหรือประเทศนั้นปล่อยออกมา จากกิจกรรมที่กระทำ เหตุการณ์ที่มีส่วนร่วม และผลิตภัณฑ์ที่บริโภค ทั้งทางตรงและทางอ้อม

ภาพที่ 3.3.1 ตัวอย่างของแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก





การประพฤติตนอย่างรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม หมายถึง การคิดทบทวนว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและร่องรอยคาร์บอนของตนเองได้อย่างไร

โดยทั่วไป มักมีการแปลงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดให้อยู่ในรูปแบบ “คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า” เพื่อความสะดวกในการวัดและทำความเข้าใจ

ร่องรอยคาร์บอน

- ข้อความอีเมล – 4 กรัม
- ข้อความเดียวกันแต่มีไฟล์แนบขนาดใหญ่ – 50 กรัม
- ถุงพลาสติกจากร้านค้า – 10 กรัม
- ขวดน้ำขนาด 0.5 ลิตร (ผลิตในประเทศ) – 110 กรัม
- ขวดทั่วไป – 160 กรัม
- ไอศกรีมหนึ่งถ้วย – 500 กรัม
- กางเกงยีนส์หนึ่งตัว – 6 กิโลกรัม

การปล่อยก๊าซโดยตรง หมายถึง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยตรง เช่น ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาระหว่างการเดินเครื่องของโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากเครื่องยนต์ของรถยนต์

การปล่อยก๊าซทางอ้อม หมายถึง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจากกระบวนการผลิตและขนส่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการที่มนุษย์บริโภค โดยเป็นส่วนหนึ่งของร่องรอยคาร์บอนที่สามารถควบคุมหรือปรับเปลี่ยนได้ เช่น การคิดให้รอบคอบก่อนซื้อถ้วยแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง การเลือกเดินเท้าแทนการใช้รถยนต์ หรือการรอให้เครื่องซักผ้าเต็มก่อนจึงค่อยซัก เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานอย่างไม่จำเป็น

การคำนวณขนาดของร่องรอยคาร์บอน (โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซทางอ้อม) นั้นทำได้ยาก เนื่องจากต้องคำนึงถึงปัจจัยที่หลากหลายและต้องหาข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ ร่องรอยคาร์บอนของสินค้าชิ้นหนึ่งจะมีค่าคงที่สำหรับผู้ผลิต แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามผู้บริโภคแต่ละราย เพราะต้องคำนึงถึงการขนส่งและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในการนำส่งสินค้าสู่ผู้บริโภค

ตัวอย่างเช่น ร่องรอยคาร์บอนจากการรับประทานแอปเปิลหนึ่งผลที่เก็บกินจากต้นภายในสวนที่ปลูกเองจะเท่ากับ 0 กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ หากซื้อแอปเปิลที่ปลูกในภูมิภาคใกล้เคียง ร่องรอยคาร์บอนของแอปเปิลหนึ่งผลจะอยู่ที่ประมาณ 10 กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ แต่หากเป็นแอปเปิลนำเข้า เช่น จากประเทศสหรัฐอเมริกา ร่องรอยคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 150 กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์

บริษัทที่ใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมสามารถชดเชยร่องรอยคาร์บอนของตนได้ด้วยการลงทุนในโครงการด้านสภาพภูมิอากาศ เช่น การปลูกต้นไม้ หรือการขอใบรับรองจากองค์กรที่มีความน่าเชื่อถือในการดำเนินการชดเชยคาร์บอน

ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่มีการปล่อย CO_2 ต่ำหรือไม่มีเลย หรือได้รับการชดเชยแล้ว อาจได้รับฉลาก “คาร์บอนต่ำ” หรือ “เป็นกลางทางคาร์บอน” เพื่อแสดงถึงความเป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศ ซึ่งฉลากเหล่านี้มีผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคให้เลือกผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้น ๆ

ตัวอย่างฉลากที่แสดงความเป็นกลางทางคาร์บอน

3.3.2 แนวทางในการช่วยโลกด้วยการลดร่องรอยคาร์บอน

ก๊าซเรือนกระจกส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศของโลก โดยปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมบางประการสามารถช่วยลดร่องรอยคาร์บอนและส่งผลดีต่อโลกได้

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารและระดับอุณหภูมิที่ให้ความรู้สึกสบาย

ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น เกือบทุกอาคารจำเป็นต้องติดตั้งระบบทำความร้อนและฉนวนกันความร้อน ระบบทำความร้อนส่วนใหญ่ในอาคารเก่าได้รับการติดตั้งในช่วงที่ราคาพลังงานยังอยู่ในระดับต่ำ และประสิทธิภาพด้านพลังงานยังไม่ใช่ประเด็นสำคัญ ในหลายเมือง พลังงานความร้อนยังคงผลิตจากการเผาไหม้ก๊าซหรือถ่านหิน ซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ

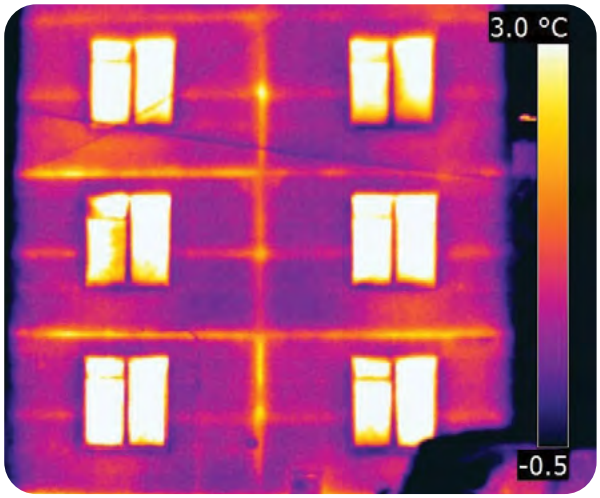
ทางเลือกในการผลิตพลังงานความร้อนมีทั้งแผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อน แต่เทคโนโลยีเหล่านี้ยังมีราคาสูงและไม่ง่ายที่จะนำไปใช้กับอาคารเก่าหลายชั้น

วิธีแก้ปัญหาที่ง่ายที่สุดคือการปรับปรุงฉนวนกันความร้อน เนื่องจากการสูญเสียความร้อนขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลัก ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร และคุณสมบัติของผนัง เพดาน หน้าต่าง และพื้น อาคารมักสูญเสียความร้อนมากที่สุดผ่านระบบระบายอากาศ และอาจสูญเสียเพิ่มเติมจากข้อบกพร่องที่แฝงอยู่ เช่น ความผิดพลาดในการออกแบบ คุณภาพของงานก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงการเสื่อมสภาพของอาคารและวัสดุกันความร้อนเมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพในการเก็บความร้อนของผนัง เพดาน และหน้าต่างสามารถตรวจสอบได้โดยใช้การถ่ายภาพความร้อน ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กล้องพิเศษแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบนพื้นผิว เช่น ผนังบ้าน อุณหภูมิจะปรากฏเป็นภาพสีบนหน้าจอของกล้อง (และสามารถบันทึกไว้ในหน่วยความจำ) โดยแต่ละสีแสดงถึงช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พร้อมแถบสีประกอบที่แสดงค่าสีสัมพันธ์กับช่วงอุณหภูมินั้น

การสูญเสียความร้อนมากที่สุดในอาคารสำเร็จรูปจะเกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างแผ่นผนังด้านนอก วิธีแก้ไขที่ได้ผล (นอกจากการรื้ออาคาร) คือการซ่อมแซมผนังด้านนอกอย่างเต็มรูปแบบ โดยใช้ปูนฉาบชนิดใหม่ที่เก็บความร้อนได้ดี คุณภาพของการติดตั้งหน้าต่างก็มีผลอย่างมากต่อระดับการสูญเสียความร้อน แม้กระทั่งในอาคารใหม่หรือที่เพิ่งปรับปรุง

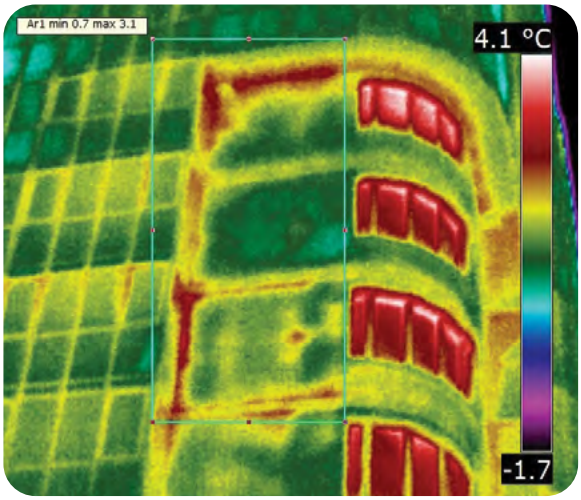
ภาพที่ 3.3.2

อาคารอพาร์ตเมนต์สูงห้าชั้นที่สร้างขึ้นในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1960 ‘เรืองแสง’ ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นผนังสำเร็จรูป ซึ่งเป็นจุดที่ความร้อนรั่วไหลออกมาอย่างมาก



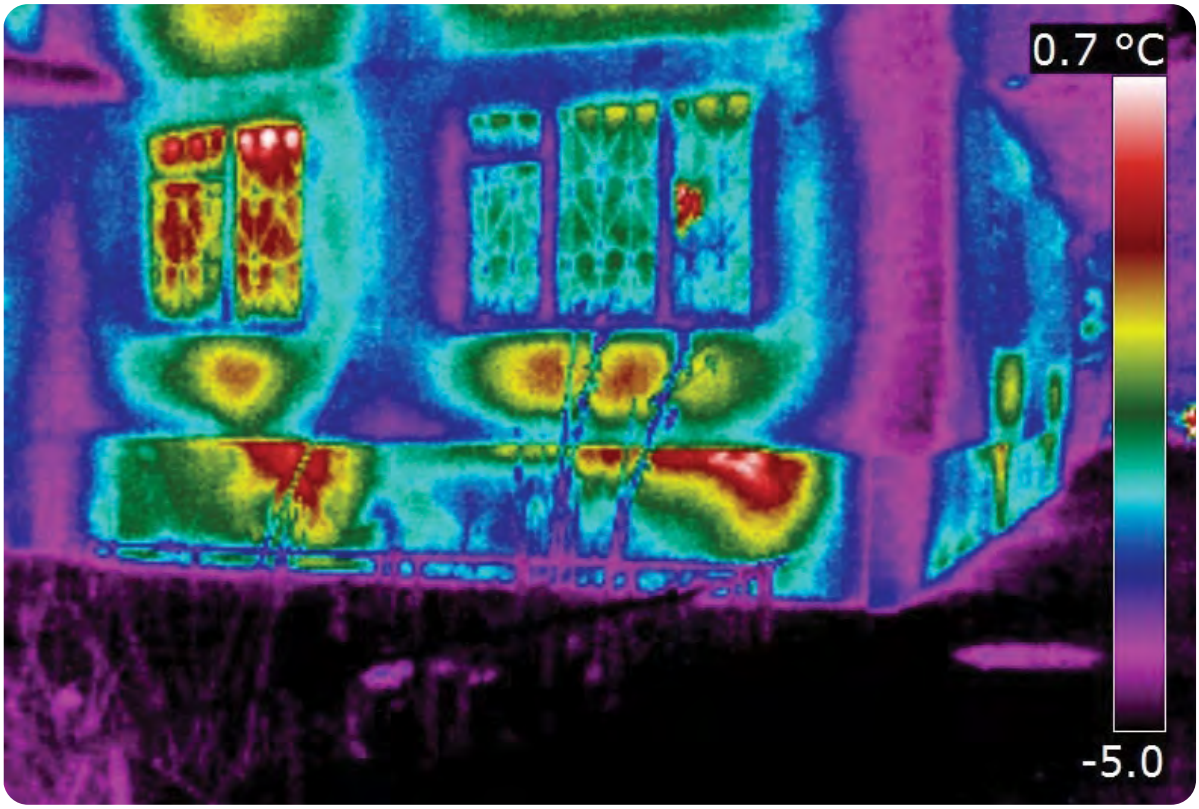
ภาพที่ 3.3.3

มุมของอาคารอิฐหลังสูญเสียความร้อนเป็นปริมาณมาก โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อระหว่างกระจกกั้นระเบียงกับผนัง และบริเวณที่เพดานต่อกับผนัง



ภาพที่ 3.3.4

จุดสีแดงแสดงบริเวณที่ติดตั้งหม้อน้ำร้อนกับผนังในอาคารอพาร์ตเมนต์เก่าแห่งนี้





การทำให้บ้านเย็นลง

มีหลายวิธีในการรักษาความเย็นในบ้านในช่วงวันที่อากาศร้อน ในขณะเดียวกันก็ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งมีทั้งวิธีระยะสั้นและทางเลือกที่คุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะยาว

- หมุนเวียนอากาศภายในบ้านโดยใช้พัดมือหรือพัดลมไฟฟ้า การใช้พัดลมไฟฟ้ามีต้นทุนถูกกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่าการใช้เครื่องปรับอากาศ พัดลมใบใหญ่มีประสิทธิภาพในการให้ลมเย็นมากกว่าพัดลมใบเล็ก
- ปิดหน้าต่างตั้งแต่เช้าเพื่อกักเก็บอากาศเย็นไว้ภายในบ้าน
- เปิดหน้าต่างในเวลากลางคืนเพื่อให้อากาศเย็นเข้ามาในบ้าน
- ใช้ม่านบังแดด ผ้าบังแดดภายนอก และต้นไม้เพื่อบังแดดให้กับบ้าน
- เมื่อซื้อ เช่า หรือสร้างบ้านหรืออพาร์ตเมนต์ ให้เลือกแบบที่สนับสนุนการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ โดยอาศัยการระบายอากาศตามธรรมชาติและวัสดุที่ช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในบ้าน เช่น คอนกรีต อิฐ หรือหิน
- รักษาความเย็นในบ้านด้วยวิธีง่าย ๆ เช่น การวางต้นไม้ในบ้าน โดยวางไว้ชิดหน้าต่างและผนัง เพื่อช่วยป้องกันความร้อนและเพิ่มการหมุนเวียนของอากาศ
- หากเป็นไปได้ให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดพลังงานสูง หรือเลือกรุ่นที่มีระบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่า หากต้องเปิดเครื่องปรับอากาศ ให้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 23 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า เพื่อใช้พลังงานน้อยลงในขณะที่ยังคงสภาพอากาศที่เย็นสบาย อย่าลืมบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ เพราะถ้าไม่ได้ทำความสะอาดและดูแลอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง หากใช้เครื่องปรับอากาศ อย่าลืมปิดประตูและหน้าต่าง และใช้ม่านบังแดดถ้าเป็นไปได้ ใช้ระบบตั้งเวลาปิดเครื่องเพื่อไม่ให้ใช้งานเกินความจำเป็น
- เลือกใช้ผ้าปูที่นอนและผ้าม่านที่มีเนื้อบางเบา
- ดูแลร่างกายให้เย็นด้วยการดื่มน้ำมาก ๆ และสวมเสื้อผ้าที่โปร่งสบาย ตรวจสอบให้แน่ใจว่าบริเวณนอกบ้านมีพื้นที่ร่มเงาเพียงพอสำหรับการพักผ่อนในช่วงวันที่อากาศร้อน





การทำอาหาร

เตาไฟฟ้าในบ้านเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมากที่สุด เมื่อเปิดหัวเตาทั้งหมดพร้อมกับเตาอบ เตาไฟฟ้าสามารถใช้พลังงานได้ถึง 20 กิโลวัตต์ ซึ่งมากกว่าเครื่องต้มน้ำไฟฟ้าหรือเตารีดขนาดใหญ่ถึง 10 เท่า

- อย่าลืมว่าก้นหม้อหรือกระทะที่ใช้ควรมีผิวเรียบและหนา หากใช้กระทะที่ก้นบุ๋มหรือไม่เรียบ จะทำให้อาหารใช้เวลาปรุงนานขึ้นถึงร้อยละ 40
- ขนาดของกระทะควรพอดีกับขนาดของหัวเตาเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน
- ควรใช้ฝาปิดหม้อเสมอ! การใช้พลังงานจะเพิ่มสูงถึง 2.5 เท่าเมื่อปรุงอาหารโดยไม่ปิดฝา
- สามารถปิดหัวเตาไฟฟ้าได้ก่อนอาหารจะสุกประมาณ 5 นาที เพราะความร้อนที่ยังคงอยู่จะช่วยให้อาหารสุกต่อได้
- เครื่องใช้ไฟฟ้าพิเศษ (เช่น เครื่องชงกาแฟ หม้อความดัน หม้อหุงอเนกประสงค์) สามารถปรุงอาหารได้โดยใช้พลังงานน้อยกว่าหม้อธรรมดาถึงร้อยละ 30 ถึง 40 และใช้เวลาน้อยกว่าครึ่งหนึ่ง
- ถ้าแช่ข้าวโอ๊ตก่อนหุงเป็นเวลาหลายชั่วโมง จะทำให้หุงได้เร็วขึ้นและมีวิตามินมากกว่า บัควีตสามารถแช่น้ำประมาณ 1 ชั่วโมง ข้าวต้องแช่นานกว่า ส่วนถั่วหรือเมล็ดถั่วต่าง ๆ ควรแช่ข้ามคืน วิธีนี้ยังช่วยประหยัดเวลาอีกด้วย เพราะถ้าอาหารสุกเร็วขึ้น ก็ไม่ต้องเสียเวลานั่งเฝ้านาน
- เวลาต้มอาหาร ไม่ควรใส่น้ำมากเกินไป
- อย่าต้มน้ำเต็มกา หากคุณต้องการเพียงน้ำสำหรับหนึ่งถ้วย



ตู้เย็น

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินพลังงานมากที่สุดในบ้าน และค่าไฟฟ้าที่คุณจ่ายก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของตู้เย็นและวิธีการใช้งาน ตู้เย็นรุ่นใหม่ใช้พลังงานน้อยกว่าตู้เย็นที่ผลิตเมื่อ 20 ปีก่อนถึง 3 ถึง 5 เท่า แม้จะมีขนาดและฟังก์ชันเหมือนกัน โดยเฉพาะถ้าซีลยางของตู้เย็นเก่าเสื่อมสภาพจนทำให้อากาศอุ่นรั่วเข้าไปในตู้เย็นได้ สำหรับครอบครัวขนาดเล็กที่มี 1 หรือ 2 คน การเปลี่ยนตู้เย็นใหม่สามารถช่วยลดค่าไฟได้ถึง 1.5 เท่า

- ก่อนจะเปิดตู้เย็น ให้คิดก่อนว่าคุณต้องการอะไร การเปิดฝาตู้เพียงไม่กี่วินาทีก็เพียงพอให้อากาศอุ่นจากภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศเย็นภายในแล้ว
- ถ้าตู้เย็นมีขนาดใหญ่ ควรใส่ของไว้ให้เต็ม เช่น แยม หรือของดอง เพราะเมื่อเปิดตู้ อากาศอุ่นจะเข้าไปแทนที่อากาศเย็น แต่ถ้าตู้เย็นเต็ม อากาศอุ่นก็จะเข้าไปได้น้อยลง
- หลีกเลี่ยงการนำอาหารที่ยังอุ่นอยู่เข้าไปในตู้เย็น! และควรวางตู้เย็นให้ห่างจากแหล่งความร้อน เช่น หม้อน้ำ เตา หรือแสงแดดโดยตรงให้มากที่สุด
- ควรปิดฝาภาชนะที่ใส่อาหารก่อนนำเข้าตู้เย็น เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกมาและกลั่นตัวที่ผนังตู้เย็น
- ถ้าตู้เย็นที่บ้านใช้ระบบใช้ปุ่มกดละลายน้ำแข็ง ควรทำการละลายน้ำแข็งเป็นประจำ

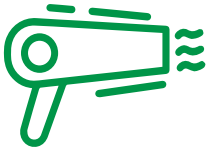


ระบบแสงสว่าง

สามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 40 โดยการใช้ระบบไฟส่องสว่างสมัยใหม่ร่วมกับเคล็ดลับง่าย ๆ เหล่านี้

- การใช้แสงสว่างเฉพาะจุดในบริเวณที่คุณทำงานหรืออ่านหนังสือ มักจะให้ผลดีกว่าการใช้ไฟเพดานที่มีกำลังไฟสูง ควรใช้โคมไฟตั้งโต๊ะหรือโคมไฟพกพาแทน
- พื้นผิวที่เป็นสีขาวเรียบจะสะท้อนแสงที่ตกกระทบได้ถึงร้อยละ 80 ในขณะที่พื้นผิวสีเขียวเข้มสะท้อนได้เพียงร้อยละ 15 และพื้นผิวสีดำสะท้อนแสงได้แค่ร้อยละ 9 เท่านั้น ดังนั้นเมื่อตกแต่งห้องด้วยเฟอร์นิเจอร์ วอลเปเปอร์ หรือผ้าม่าน ควรเลือกโทนสีอ่อนเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า
- มีวิธีง่าย ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างได้อย่างมาก ซึ่งก็คือการเช็ดฝุ่นจากหลอดไฟและกระจกหน้าต่างเป็นประจำ
- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในห้องได้มากที่สุดผ่านส่วนบนของหน้าต่าง ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการบดบังบริเวณนั้น

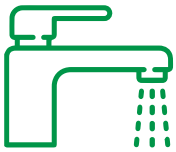
.



เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน

สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ด้วยการเรียนรู้วิธีใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

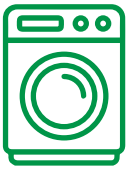
- ในการเลือกซื้ออุปกรณ์เครื่องเสียง อุปกรณ์ภาพ หรือคอมพิวเตอร์ ควรพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลังงานต่ำ แม้ว่าการตัดสินใจซื้อจะขึ้นอยู่กับผู้ปกครองเป็นหลัก แต่ข้อมูลที่ค้นคว้ามาอย่างรอบคอบสามารถเสริมการตัดสินใจและเพิ่มความเข้าใจในการเลือกซื้อได้
- ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดให้สนิทเมื่อไม่ได้ใช้งาน การปิดโทรทัศน์ด้วยรีโมตจะทำให้เครื่องอยู่ในโหมดสแตนด์บาย ซึ่งแม้จะใช้พลังงานน้อยกว่าขณะเปิดใช้งาน แต่ก็ยังคงสิ้นเปลืองพลังงาน
- ไม่ควรเสียบปลั๊กที่ชาร์จโทรศัพท์มือถือทิ้งไว้ตลอดเวลา
- ใช้ปลั๊กพ่วงคุณภาพดีที่มีสายไฟขนาดใหญ่ เพราะสายไฟที่มีขนาดเล็กเกินไปจะเกิดความร้อนขณะใช้งาน ซึ่งหมายความว่าพลังงานไฟฟ้าถูกสูญเสียไปในรูปของความร้อน แทนที่จะถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างเต็มประสิทธิภาพ



การใช้น้ำ

พฤติกรรมการใช้น้ำสามารถช่วยประหยัดทั้งพลังงานและน้ำได้

- อาบน้ำโดยใช้ฝักบัว และเก็บการแช่น้ำในอ่างไว้สำหรับโอกาสพิเศษ
- การหยดน้ำจากก๊อกเพียง 10 หยดต่อนาที รวมแล้วในหนึ่งปีจะสูญเสียน้ำถึง 263 ลิตร ดังนั้นควรซ่อมก๊อกน้ำที่รั่วซึม
- ก๊อกน้ำมีหลายประเภท ก๊อกที่ใช้แหวนยางอาจรั่วซึมได้ง่ายกว่า แต่แหวนยางนั้นสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ไม่ยาก ส่วนก๊อกแบบลูกบอลหรือแบบเซรามิกมักมีอายุการใช้งานยาวนาน แต่ต้องติดตั้งตัวกรองน้ำไว้ในท่อที่ต่อเข้าก๊อก เพราะชิ้นส่วนที่ขัดเงาในก๊อกเหล่านี้ไวต่อสนิมหรือตะกอนในน้ำ ก๊อกเซรามิกควรปิดอย่างนุ่มนวล ก๊อกแบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่เพิ่งมีในตลาด แม้จะมีราคาสูงกว่า แต่สามารถปรับอุณหภูมิน้ำได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ซึ่งช่วยลดการใช้น้ำและพลังงานโดยไม่จำเป็น
- สร้างนิสัยปิดก๊อกน้ำเมื่อไม่จำเป็นต้องใช้น้ำอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น บางครอบครัวมักจะปอกมันฝรั่งแล้วล้างใต้ก๊อกที่เปิดค้างไว้ตลอดเวลา ทั้งที่สามารถใช้อ่างหรือตะกร้าช่วยล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน การล้างจานจะสะดวกและประหยัดน้ำมากขึ้นหากล้างด้วยน้ำยาล้างจานทั้งหมดก่อน แล้วจึงล้างน้ำสะอาดรวดเดียว อ่างล้างจานรุ่นใหม่หลายรุ่นมักมีจุกปิดก้นอ่าง ซึ่งช่วยให้สามารถใช้อ่างแทนกะละมังได้อย่างสะดวก





การซักผ้าและรีดผ้า

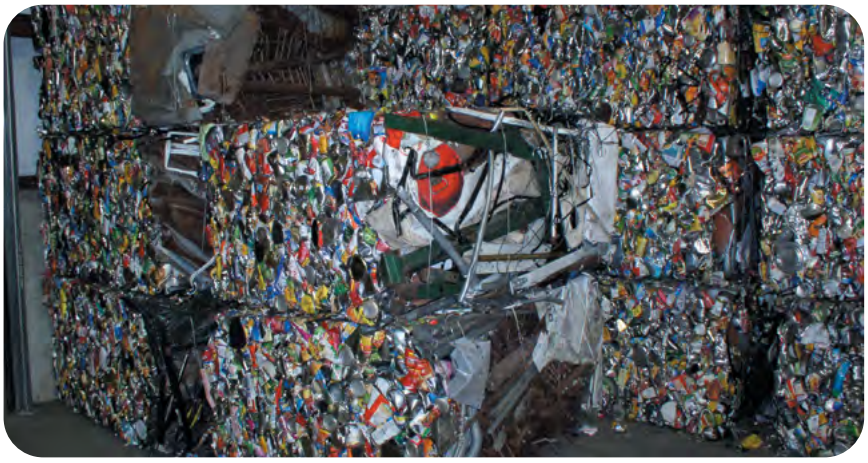
การลดการปล่อยก๊าซจากการซักและรีดผ้าไม่เพียงช่วยประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่านั้น แต่ยังช่วยประหยัดเวลาและยืดอายุการใช้งานของเสื้อผ้าด้วย

- เมื่อซักผ้าโดยใช้เครื่องซักผ้า ไม่จำเป็นต้องตั้งอุณหภูมิไว้สูงถึง 90 องศาเซลเซียส และไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมซักยาว ๆ ยกเว้นในกรณีที่ซักผ้าที่สกปรกมากเท่านั้น สำหรับผ้าลินินหรือเสื้อผ้าที่สกปรกเพียงเล็กน้อย การเลือกโปรแกรมประหยัดพลังงานก็เพียงพอแล้ว (เครื่องซักผ้าทุกเครื่องมักจะมีโปรแกรมซักประหยัดหรือซักเร็ว) ผงซักฟอกสมัยใหม่มีเอนไซม์ที่สามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ในน้ำเย็น การซักแบบนี้จะใช้พลังงานน้อยกว่าการซักน้ำร้อน 90 องศาเซลเซียสเป็นสิบเท่า
- ควรรอจนมีผ้าเต็มถังก่อนจึงใช้เครื่องซักผ้า เพราะการซักเสื้อผ้าเพียงหนึ่งตัว เช่น กางเกงยีนส์เพียงตัวเดียว ถือเป็นการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง
- ควรจัดเสื้อผ้าที่จะซักให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในถังซัก เพราะหากจัดวางไม่ดี เครื่องจะหมุนถังซักได้ไม่เต็มที่ เมื่อน้ำหนักในถังกระจายอย่างสมดุล เครื่องซักผ้าจะทำงานได้ราบรื่น ใช้เวลาน้อยลง และช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องให้ยาวนานขึ้น
- เมื่อรีดผ้า ควรแยกเสื้อผ้าตามประเภทของเนื้อผ้า โดยเริ่มรีดผ้าที่ใช้ความร้อนต่ำก่อน แล้วจึงค่อยรีดผ้าที่ต้องใช้ความร้อนสูง และเสื้อผ้าชิ้นเล็กสามารถเก็บไว้รีดตอนหลังปิดเตารีดแล้วได้
- เสื้อผ้าบางชนิดไม่จำเป็นต้องรีด เพียงแค่แขวนให้เรียบร้อยบนไม้แขวนก็เพียงพอ

การรีไซเคิลและการนำกลับมาใช้ใหม่

มนุษย์คุ้นเคยกับการมีสิ่งของมากมายรายล้อม แต่สิ่งของเหล่านั้นไม่ได้เกิดขึ้นมาเอง ทุกสิ่งที่มนุษย์ใช้ถูกผลิตขึ้นมาด้วยพลังงานและแรงงานของผู้คนจำนวนมาก ขยะที่เกิดจากกระบวนการผลิต และกองขยะที่ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ลดลงและส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ

- ก่อนที่จะซื้อของใหม่ ลองถามตัวเองว่าจำเป็นต้องมีสิ่งนั้นจริง ๆ หรือไม่ บางทีอาจแค่ต้องใช้เพียงช่วงเวลาสั้น ๆ และอาจยืมจากคนอื่นได้
- ดูแลสิ่งของให้ดีเพื่อให้ใช้งานได้นานขึ้น
- หากมีของที่ไม่ต้องการใช้อีกต่อไป ลองคิดดูว่ามันอาจมีประโยชน์กับคนอื่นได้ไหม ของเล่นหรือเสื้อผ้าที่โตเกินจะใช้แล้วอาจนำไปให้โรงเรียนอนุบาล สถานสงเคราะห์ หรือเด็ก ๆ คนอื่นที่รู้จักได้ มีเว็บไซต์มากมายที่เปิดให้คนแบ่งปันสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วฟรี ๆ และมักมีคนที่ยินดีรับสิ่งของเหล่านั้นไปใช้ กล่องหรือหลอดบรรจุภัณฑ์สามารถดัดแปลงเป็นสิ่งใหม่ ตุ๊กตาเก่าหรือของเล่นสามารถซ่อมแซมได้ และยังมีช่างฝีมือที่สามารถซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียให้กลับมาใช้งานได้อีกครั้ง
- สามารถบริจาคหนังสือเก่าที่ไม่คิดจะอ่านอีกแล้วให้กับห้องสมุด หรือโครงการแลกเปลี่ยนหนังสือ ซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โครงการแลกเปลี่ยนหนังสือมักจัดในรูปแบบชั้นวางหนังสือพิเศษตามร้านหนังสือหรือห้องสมุดบางแห่ง โดยสามารถนำหนังสือของตนเองไปวางไว้ และแลกกับหนังสือเล่มอื่นที่มีผู้นำมาวางไว้ก่อนหน้าแล้วได้
- หากสิ่งของชำรุดจนไม่สามารถใช้งานได้ วัสดุบางชนิดอาจนำไปรีไซเคิลได้ ค้นหาจุดรับขยะรีไซเคิลหรือจุดรับบริจาคในพื้นที่ใกล้เคียงผ่านอินเทอร์เน็ต หากโชคดี อาจพบจุดรับบริจาคที่อยู่ไม่ไกลนัก การติดป้ายประกาศชวนคนในชุมชนมาแยกขยะหรือรวบรวมสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง หรืออาจรวมกลุ่มกับเพื่อน หรือหารือกับครูที่โรงเรียน เพื่อร่วมกันเก็บรวบรวมพลาสติก กระดาษ และโลหะให้ได้ในปริมาณที่มากพอ ก่อนนำไปยังศูนย์รีไซเคิล
- เมื่อออกไปซื้อของ ควรพกถุงผ้าหรือถุงที่ใช้ซ้ำได้ติดตัวไปด้วย เพื่อลดการรับถุงใหม่จากร้าน (ถุงพลาสติกควรเก็บไว้ใช้เฉพาะในกรณีจำเป็นจริง ๆ) แม้ถุงพลาสติกจะสะดวกและบางครั้งหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่สามารถแจ้งพนักงานเก็บเงินไม่ให้ใส่ถุงก็ได้ หลายประเทศได้เริ่มเก็บค่าธรรมเนียมสำหรับถุงพลาสติก จึงเป็นเหตุผลเพิ่มเติมในการพกถุงผ้าสำหรับใช้งานเอง
- การซื้อของใช้ประจำวันบางอย่างในขนาดบรรจุภัณฑ์ใหญ่ เช่น ผงซักฟอก แชมพู หรือซีเรียลบางชนิด เป็นทางเลือกที่คุ้มค่าและช่วยลดบรรจุภัณฑ์พลาสติกได้ในระยะยาว ควรแบ่งปันข้อมูลนี้ให้ผู้ปกครองรับทราบเพื่อช่วยกันลดขยะและประหยัดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน



ภาพที่ 3.3.5

โลหะที่ถูกอัดเป็นก้อนเพื่อเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล

ตาราง 3.3.1 การเปรียบเทียบระหว่างกระดาษที่ผลิตจากเยื่อไม้ใหม่ทั้งหมด กับกระดาษที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิล (ต่อกระดาษหนึ่งตัน)

	กระดาษจากเยื่อไม้ใหม่ทั้งหมด	กระดาษจากวัสดุรีไซเคิลทั้งหมด	การประหยัด
ไม้	3 ตัน	0 ตัน	3 ตัน
พลังงาน	11,140 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	6,450 กิโลวัตต์-ชั่วโมง	4,690 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	CO_2 2,581 กก.	CO_2 1,625 กก.	CO_2 956 กก.
น้ำเสีย	72,000 ลิตร	39,100 ลิตร	33,100 ลิตร
ขยะของแข็ง	1,033 กก.	506 กก.	528 กก.

การประหยัดกระดาษได้หนึ่งตัน ช่วยประหยัดน้ำมันได้ถึง 13 ตัน ไฟฟ้า 4,100 กิโลวัตต์ชั่วโมง และน้ำ 32 ตัน การผลิตและพิมพ์กระดาษ A4 หนึ่งแผ่น ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 28 กรัม ขณะที่การถ่ายเอกสารหนึ่งแผ่นปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 380 กรัม.

การประหยัดพลังงานจากการใช้วัสดุรีไซเคิลในการผลิต

อะลูมิเนียม ร้อยละ 95
สังกะสี ร้อยละ 60–70
กระดาษ ร้อยละ 64
ทองแดง ร้อยละ 70–85
แมกนิเซียม ร้อยละ 95
พลาสติก ร้อยละ 80–88
ตะกั่ว ร้อยละ 60–80
เหล็ก ร้อยละ 70
แก้ว ร้อยละ 68

ดังนั้น การลดร่องรอยคาร์บอนสามารถทำได้โดยการใช้พลังงานให้น้อยลง ไม่ใช้พลังงานและน้ำอย่างสิ้นเปลือง หลีกเลี่ยงการซื้อสิ่งของที่ไม่จำเป็นหรือมีบรรจุภัณฑ์เกินความจำเป็น คัดแยกและส่งของเสียไปรีไซเคิล เดินเท้าและใช้จักรยานเมื่อมีโอกาส เลือกบริโภคอาหารที่ผลิตในท้องถิ่น และเหนือสิ่งอื่นใด พืชคือพันธมิตรสำคัญในการช่วยลดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ ควรดูแลรักษาและปลูกพืชเพิ่มเติมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในทุกสถานที่และทุกโอกาส



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

แนวทางการลดร่องรอยคาร์บอน

ร่องรอยคาร์บอน คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดจากสิ่งที่ผู้คนทำกิจกรรมที่พวกเขาเข้าร่วม และผลิตภัณฑ์ที่พวกเขาบริโภค ทั้งทางตรงและทางอ้อม

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ปล่อยออกมามากที่สุดและส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศมากที่สุด มันถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศส่วนใหญ่จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ) เพื่อผลิตพลังงาน คุณสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และช่วยโลกได้โดยจำกัดการใช้พลังงานและทรัพยากรในชีวิตประจำวัน

แล้วจะทำอย่างไรดี? อ่านคำแนะนำในการ ร่วมประหยัด! ร่วมต่อสู้! ร่วมมือ!

ร่วมประหยัด! ร่วมต่อสู้! ร่วมมือ!

ไปโรงเรียน เที่ยวพักผ่อน และการเดินทาง

เดินเท้าหรือขี่จักรยานให้บ่อยขึ้น
ใช้ระบบขนส่งสาธารณะ
หากต้องเดินทางไปยังเมืองอื่น ควรเลือกเดินทางด้วยรถไฟแทนการขึ้นเครื่องบิน

ร่วมต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ!

ที่โรงเรียน

ติดโปสเตอร์นี้ไว้ที่ผนังโรงเรียน
แบ่งปันคำแนะนำเหล่านี้กับเพื่อน
จัดกิจกรรมหรือชมรมที่ส่งเสริมกิจกรรมและการเรียนรู้ที่เป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศ

ร่วมลดคาร์บอน
เพื่อหยุดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ!

การประหยัดพลังงานที่บ้าน

ใส่ฉนวนกันความร้อนให้บ้านหรืออพาร์ตเมนต์ของคุณ เพื่อไม่ต้องใช้เครื่องทำความร้อนเพิ่มในฤดูหนาว
ปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน
ใช้หลอดไฟที่ประหยัดพลังงาน
ถอดสายชาร์จโทรศัพท์มือถือออกเมื่อไม่ได้ใช้งาน
อย่าปล่อยให้คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ อยู่ในโหมดพัก (sleep mode) ควรปิดหรือถอดปลั๊กออก
ซักผ้าที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส
คิดไว้ล่วงหน้าว่าจะหยิบอะไรจากตู้เย็นก่อนเปิด
อย่าต้มน้ำมากเกินความต้องการ
ปิดฝาหม้อขณะปรุงอาหาร เพราะช่วยลดการใช้พลังงานได้ถึง 2.5 เท่า
หมุนเวียนอากาศภายในบ้านโดยใช้พัดลมหรือพัดมือ
เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์ห้าหรือแบบอินเวอร์เตอร์
หากใช้เครื่องปรับอากาศ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 23–25 องศาเซลเซียส

ร่วมประหยัดทรัพยากร!

ที่โรงเรียน

ปิดก๊อกน้ำเมื่อไม่ใช้
ดูแลรักษาของใช้เพื่อยืดอายุการใช้งาน
ประหยัดกระดาษ ใช้เครื่องปรินต์เท่าที่จำเป็น
แยกขยะเพื่อการรีไซเคิล
เลือกใช้ของที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิลหรือสามารถนำไปรีไซเคิลได้
ถ้าใช้เครื่องปรับอากาศ ควรตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 23-25 องศาเซลเซียส

ร่วมประหยัดทรัพยากร!

ที่โรงเรียน

- นำถุงไปเอง อย่าใช้ถุงใหม่จากร้าน
- ซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน
- เลือกซื้ออาหารและสินค้าที่ผลิตในท้องถิ่น เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนจากการขนส่ง

ร่วมประหยัดทรัพยากร!

ขี่จักรยานเท่ากว่าเยอะ!

ชอปปิ้งด้วยถุงผ้าเก่า ๆ ของฉัน ไม่ใช้ถุงพลาสติกอีกต่อไป!!

ร้านค้า

Plastic Paper Bio

กระดาษที่ไม่ต้องการสามารถนำไปรีไซเคิลได้ รีไซเคิลกระดาษช่วยรักษาป่าไม้!

ปลูกต้นไม้เพราะช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์!

กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

UNDP

คำถาม

1 ร่องรอยคาร์บอนคืออะไร

2 หน่วยที่ใช้วัดร่องรอยคาร์บอนคือหน่วยใด

3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสตรอว์เบอร์รี่จากฟาร์มท้องถิ่นกับสตรอว์เบอร์รี่ที่นำเข้าจากต่างประเทศและบรรจุอย่างประณีต ทางเลือกใดมีร่องรอยคาร์บอนมากกว่า และเพราะเหตุใด

4 จัดลำดับวิธีคลายร้อนในวันที่อากาศร้อนจากที่ประหยัดพลังงานที่สุดไปยังที่สิ้นเปลืองพลังงานที่สุด

a) ใช้พัดลมไฟฟ้า
b) เปิดเครื่องปรับอากาศที่ 18 องศาเซลเซียส
c) เปิดเครื่องปรับอากาศที่ 24 องศาเซลเซียส
d) ยืนอยู่หน้าตู้เย็นที่เปิดฝาตู้ไว้
e) อาบน้ำเย็น
f) นั่งเล่นข้างนอกในที่ร่ม

5 อะไรประหยัดกว่าระหว่างการอาบน้ำในอ่างกับการอาบน้ำด้วยฝักบัว และในสถานการณ์ใดจึงจะประหยัดได้มากกว่า

6 การติดตั้งมาตรวัดน้ำสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

7 การใช้น้ำในอาคาร หมายถึงต้องใช้พลังงานด้วยหรือไม่ และใช้พลังงานประเภทใด

8 คุณทำอะไรในบ้านของคุณอยู่แล้วบ้างเพื่อประหยัดพลังงาน

9 มีสิ่งใดที่คุณควรระวังเป็นพิเศษเมื่อใช้ตู้เย็น



7

กิจกรรม



ตรวจวัดร่องรอยคาร์บอน

A. เมื่อคุณซื้อผักผลไม้ในร้าน คุณมักเลือกแบบไหน
- ผลิตในท้องถิ่น ไม่มีบรรจุภัณฑ์ (1 คะแนน)
- ผลิตจากภาคใต้ของประเทศ ไม่มีบรรจุภัณฑ์ (2 คะแนน)
- ผลิตจากฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์ อาร์เจนตินา ฯลฯ ไม่มีบรรจุภัณฑ์ (3 คะแนน)
- นำเข้าแบบห่อแยกชิ้น (4 คะแนน)

B. คุณใช้ถุงในข้อใดต่อไปนี้ตอนไปซื้อของ
- ผ้าลินินหรือผ้าฝ้าย (1 คะแนน)
- ถุงกระดาษ (2 คะแนน)
- ถุงพลาสติกที่นำมาจากบ้าน (3 คะแนน)
- ถุงพลาสติกที่รับหรือซื้อตอนจ่ายเงินค่าสินค้าที่ร้าน (4 คะแนน)

C. เครื่องดื่มที่คุณซื้อมักบรรจุในภาชนะประเภทใด
- กระดาษ (1 คะแนน)
- แก้ว (2 คะแนน)
- อะลูมิเนียม (3 คะแนน)
- พลาสติก (4 คะแนน)

D. หนังสือแบบไหนที่คุณชอบอ่าน
- หนังสือใหม่ที่ซื้อจากร้าน (4 คะแนน)
- หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (3 คะแนน)
- หนังสือที่มีคนอ่านแล้ว (2 คะแนน)
- หนังสือจากห้องสมุด (1 คะแนน)

E. เมื่อให้ของขวัญใครสักคน คุณชอบที่จะ...
- ใช้กระดาษห่อสดใสและดึงดูดใจ ทำจากอะไรก็ไม่รู้ล่ะ (4 คะแนน)
- ใช้กระดาษที่มีฉลากสิ่งแวดล้อมบ่งชี้ว่าสามารถนำไปรีไซเคิลได้ (2 คะแนน)
- ใช้กล่องหรือถุงที่เคยใช้แล้วแต่ตกแต่งใหม่ (2 คะแนน)
- ให้ของขวัญโดยไม่ห่อเลย (1 คะแนน)

ผลคะแนน
- 14–16 คะแนน: ร่องรอยคาร์บอนใหญ่เท่าเท้าช้าง!
  เอาความใหญ่โตของช้างเป็นเป้าหมายในการประหยัดพลังงานดีกว่า
- 11–13 คะแนน: ร่องรอยคาร์บอนใหญ่เท่าเกือกม้า!
  ใส่บังเหียนแล้วไปลุยลดพลังงานกันเถอะ
- 8–10 คะแนน: ร่องรอยคาร์บอนเท่าเท้าแมว!
  แต่อย่าเพิ่งเหมียว คุณยังทำได้ดีกว่านี้อีกนะ
- 5–7 คะแนน: เยี่ยม! ร่องรอยคาร์บอนเท่าเท้าหนูตัวน้อย!
  ภูมิใจในตัวเองได้เลย เหลือแค่ต้องชวนคนอื่นให้ทำตาม

2

วาดตาราง 4 คอลัมน์ ในคอลัมน์แรก ให้บันทึกกรณีของการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพที่คุณเห็นรอบตัว (เช่น บนท้องถนน ที่บ้าน หรือที่โรงเรียน) ในคอลัมน์ที่ 2 อธิบายว่าในแต่ละกรณีจะสามารถประหยัดพลังงานหรือใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้อย่างไร ในคอลัมน์ที่ 3 เขียนตัวอย่างของการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่คุณเคยเห็น และในคอลัมน์ที่ 4 ให้เขียนวันละหนึ่งครั้งที่ตัวเองใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและได้ทำสิ่งดี ๆ ให้กับโลก เปรียบเทียบตารางกับของเพื่อนร่วมชั้นและทำรายงานสรุปผล

3

สำรวจสิ่งของทั้งหมดในบ้าน (ควรทำร่วมกับผู้ปกครอง) หาว่าสิ่งของแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน และระบุสถานที่นั้นบนแผนที่โลก แยกสิ่งของที่คุณซื้อหรือได้รับมาแต่ไม่ได้ใช้ออกเป็นกลุ่มต่างหาก คำนวณระยะทางที่ของเหล่านั้นเดินทางมากว่าจะมาถึงมือคุณ จากนั้นคุณสามารถทำแผนภูมิ (ไดอะแกรมหรือแผนที่) แสดงสิ่งที่คุณค้นพบ ได้แก่ ต้นทางของสิ่งของ และคุณค่าที่สิ่งนั้นมีต่อคนในบ้าน (จำเป็นไม่จำเป็น ใช้เป็นครั้งคราว นำไปรีไซเคิลได้ หรือสามารถดัดแปลงเป็นสิ่งใหม่ได้ ฯลฯ)

4

แบ่งชั้นเรียนออกเป็น 7 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจับฉลากเพื่อเลือกกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียนรุ่นเล็ก นักเรียนรุ่นโต แม่บ้าน ผู้สูงอายุ นักอุตสาหกรรม นักการเมือง ครู จากนั้นแต่ละกลุ่มต้องพัฒนาโครงการรณรงค์เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับกลุ่มเป้าหมายของตนเอง

กิจกรรมที่ให้ทำคือ

1) คิดคำขวัญหรือสโลแกนสำหรับการรณรงค์ให้ข้อมูล
2) ออกแบบโปสเตอร์เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานในหมู่กลุ่มเป้าหมาย
3) พัฒนาแผนงานที่จะช่วยให้กลุ่มเป้าหมายเข้าใจหลักการของการประหยัดพลังงานและนำไปปฏิบัติจริง

ใส่ไอเดียสร้างสรรค์ลงในแผนงาน อาจเป็นการแสดงหุ่นมือ การจัดพิมพ์หนังสือ หรือแม้แต่ข้อเสนอในการปฏิรูปรัฐ (ขึ้นอยู่กับกลุ่มเป้าหมาย) หลังจากที่นำเสนอผลงานเสร็จแล้ว ให้นำโปสเตอร์ของกลุ่มที่ทำได้ดีที่สุดไปจัดแสดงในโรงเรียนต่อไป

3.4 ความร่วมมือระดับโลกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การพัฒนาที่ยั่งยืน และแนวทางในการจัดการแบบมีส่วนร่วมของทุกคนในสังคม

ความร่วมมือและการเจรจาระดับโลกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ก่อนช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1970 ผู้ที่ให้ความสนใจต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีเพียงนักวิทยาศาสตร์เท่านั้น

ในปี พ.ศ. 2522 รายงานที่นำเสนอในการประชุมโลกร่วมว่าด้วยภูมิอากาศ (World Climate Conference: WCC) ครั้งแรก ได้แสดงหลักฐานว่ากิจกรรมของมนุษย์ส่งผลกระทบสำคัญต่อภูมิอากาศ เรื่องนี้จึงเริ่มได้รับความสนใจจากนักข่าว จากนั้นก็ประชาชนทั่วไป และในที่สุดก็คือรัฐบาลของหลายประเทศ.

ในปี พ.ศ. 2531 องค์การสหประชาชาติได้ยอมรับว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นหนึ่งในความท้าทายเร่งด่วนที่สุดของมนุษยชาติ

นักวิทยาศาสตร์ระดับแนวหน้าของโลกบางส่วนจึงเริ่มทำงานเกี่ยวกับเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ในปีเดียวกันนั้น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้ก่อตั้งขึ้นโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (IMO) และโครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP) โดยมีภารกิจคือการทบทวนหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ และแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศ

รายงานฉบับแรกของคณะกรรมการ IPCC ซึ่งเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2533 ยืนยันว่าภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องจริง และมีกิจกรรมของมนุษย์เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการในชั้นบรรยากาศของโลก นับแต่นั้นเป็นต้นมาคณะกรรมการ IPCC ได้จัดทำรายงานออกมาอีกห้าฉบับ โดยฉบับล่าสุดครอบคลุมช่วงปี พ.ศ. 2564–2565 ซึ่งได้ประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยอิงจากงานวิจัยล่าสุดของนักวิทยาศาสตร์จากทั่วโลก





นับตั้งแต่รายงานฉบับแรกของคณะกรรมการ IPCC นั้น นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่เริ่มเห็นพ้องกันมากขึ้นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุหลักจากมนุษย์ และสามารถ (และจำเป็นต้อง) หาทางต่อสู้ร่วมกันให้ได้ ซึ่งจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกทำงานร่วมกัน และการทำงานร่วมกันนี้จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดภายใต้กรอบขององค์การสหประชาชาติ

ในปี พ.ศ. 2535 ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้เข้าร่วมประชุมสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ณ กรุงรีโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล และตกลงร่วมกันว่าจำเป็นต้องมีความร่วมมือในประเด็นเกี่ยวกับภูมิอากาศ ความหลากหลายทางชีวภาพ ป่าไม้ และการแปรสภาพกลายเป็นทะเลทราย สำหรับประเด็นภูมิอากาศนั้น ได้มีการจัดทำสนธิสัญญาระหว่างประเทศที่เรียกว่า กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) ซึ่งใช้เวลาเจรจาจัดทำเพียง 18 เดือน

กรอบอนุสัญญาฉบับนี้มีผลบังคับใช้ในปี พ.ศ. 2537 แต่เนื้อหาโดยรวมยังเป็นแนวทางกว้าง ๆ ที่เน้นให้ประเทศต่าง ๆ ดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปรับตัวต่อผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2538 ที่การประชุมรัฐภาคี (COPs) ครั้งแรก ซึ่งหมายถึงประเทศที่ลงนามในอนุสัญญา ได้มีมติให้จัดทำข้อตกลงทางกฎหมายระหว่างประเทศเพิ่มเติมเพื่อกำหนดแนวทางที่เป็นรูปธรรมมากขึ้นสำหรับประเทศต่าง ๆ ในการดำเนินการในคริสต์ศตวรรษที่

แม้การเจรจาเพื่อเตรียมข้อตกลงใหม่นี้จะเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและยากลำบาก แต่ประเทศต่าง ๆ ก็สามารถบรรลุข้อตกลงร่วมกันได้ และในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2540 ที่เมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ประเทศสมาชิกได้ลงนามในข้อตกลงระหว่างประเทศฉบับใหม่ ซึ่งเรียกว่า พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) โดยตั้งชื่อตามเมืองเกียวโต ซึ่งเป็นสถานที่ที่ลงนาม

พิธีสารเกียวโตถือเป็นก้าวสำคัญ เพราะเป็นข้อตกลงฉบับแรกที่มีการกำหนดพันธกรณีแบบมีตัวเลขชัดเจนให้แก่ประเทศพัฒนาแล้ว ว่าจะต้องไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกินกว่าระดับที่กำหนดไว้ในช่วงปี พ.ศ. 2551–2555 โดยอ้างอิงจากระดับการปล่อยก๊าซในปี พ.ศ. 2533 เป็นบรรทัดฐาน นอกจากนี้ ยังมีการนำกลไกตลาดแบบใหม่มาใช้เป็นครั้งแรก ซึ่งให้ “มูลค่า” ซื้อขายกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

United Nations
Framework Convention on
Climate Change



ตัวอย่างเช่น สหภาพยุโรปให้คำมั่นว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 8 ญี่ปุ่นร้อยละ 6 ส่วนรัสเซียและยูเครนให้คำมั่นว่าจะไม่ปล่อยเกินระดับของปี พ.ศ. 2533

สหรัฐอเมริกา ซึ่งในขณะนั้นเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในโลก ได้มีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในการเจรจาเกี่ยวกับพิธีสารเกียวโต แต่ในปี พ.ศ. 2544 สหรัฐฯ กลับไม่ให้สัตยาบันในข้อตกลงฉบับนี้

เมื่อสิ้นสุดปี พ.ศ. 2555 โลกจึงมีสนธิสัญญาระหว่างประเทศที่มีผลบังคับใช้ 2 ฉบับ ได้แก่ กรอบอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศที่กำหนดแผนยุทธศาสตร์ทั่วไปสำหรับมนุษยชาติในการต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และพิธีสารเกียวโตของกรอบอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นข้อตกลงที่มีพันธกรณีเฉพาะสำหรับประเทศอุตสาหกรรม เช่น ประเทศในสหภาพยุโรป และประเทศที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนผ่านทางเศรษฐกิจ เช่น รัสเซียและยูเครน

ระยะเวลาของพันธกรณีแรกที่ให้ไว้โดยประเทศอุตสาหกรรมและประเทศที่เศรษฐกิจกำลังเปลี่ยนผ่านภายใต้พิธีสารเกียวโตสิ้นสุดลงในปลายปี พ.ศ. 2555 จึงจำเป็นต้องมีการเจรจารอบใหม่ เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ประเทศพัฒนาแล้วที่ยังคงอยู่ในพิธีสารเกียวโต ได้ตกลงรับพันธกรณีเพิ่มเติมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงพันธกรณีรอบที่สองระหว่างปี พ.ศ. 2556-2563 ซึ่งเป็นการลดที่มีเป้าหมายสูงกว่าช่วงก่อนหน้า

อย่างไรก็ตาม หลายประเทศได้เปลี่ยนท่าทีต่อพิธีสารเกียวโต โดยสหรัฐอเมริกา แคนาดา ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ และรัสเซียเลือกที่จะไม่เข้าร่วมในพันธกรณีสำหรับปี พ.ศ. 2556-2563 โดยให้เหตุผลว่าโลกได้เปลี่ยนไปแล้วนับตั้งแต่คริสต์ทศวรรษที่ 1990 เป็นต้นมา การปล่อยก๊าซส่วนใหญ่ในปัจจุบันไม่ได้มาจากประเทศพัฒนาแล้วอีกต่อไป แต่กลับมาจากประเทศกำลังพัฒนาขนาดใหญ่ที่เศรษฐกิจกำลังเติบโต (เช่น จีน อินเดีย บราซิล แอฟริกาใต้ ฯลฯ) ซึ่งการปล่อยก๊าซไม่อยู่ภายใต้ข้อบังคับของพิธีสารเกียวโต



ทางออกในเวลานั้น คือการให้ประเทศพัฒนาแล้วที่ไม่ได้เข้าร่วมพันธกรณีรอบที่สองของพิธีสารเกียวโตรับพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบสมัครใจภายในปี พ.ศ. 2563 และให้ประเทศกำลังพัฒนาเริ่มดำเนินมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบที่เรียกว่าแผนการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs) ซึ่งแต่ละประเทศสามารถกำหนดได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 3.4.1

การรับรองความตกลงปารีสครั้งประวัติศาสตร์ในการประชุม COP21 ที่กรุงปารีส เมื่อปี พ.ศ. 2558

เหตุการณ์สำคัญในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

- ปี พ.ศ. 2535 - กรอบอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เมื่อประเทศต่าง ๆ เห็นพ้องให้วางแผนและดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซกลับสู่ระดับของปี พ.ศ. 2533
- ปี พ.ศ. 2551–2555 - พันธกรณีรอบแรกของพิธีสารเกียวโต เมื่อประเทศพัฒนาแล้ว 37 ประเทศ และสหภาพยุโรป ให้คำมั่นว่าจะลดการปล่อยก๊าซเฉลี่ยร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2533
- ปี พ.ศ. 2556–2563 - พันธกรณีรอบที่สอง เมื่อประเทศพัฒนาแล้วตกลงจะลดการปล่อยลงอย่างน้อยร้อยละ 18 ต่ำกว่าระดับของปี พ.ศ. 2533 โดยบางประเทศที่ไม่ได้เข้าร่วมรับพันธกรณีในรอบที่สองได้ให้คำมั่นแบบสมัครใจว่าจะลดการปล่อยก๊าซลงภายในปี พ.ศ. 2563 ส่วนประเทศกำลังพัฒนายินยอมที่จะนำแผนการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Measures: NAMAs) มาใช้
- ปี พ.ศ. 2558 - การรับรองความตกลงปารีส (Paris Agreement) ที่รวมถึงการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (Nationally Determined Contributions: NDCs) ของประเทศต่างๆ พร้อมมาตรการระยะยาวที่มุ่งมั่นเพื่อควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- ปี พ.ศ. 2559 - ความตกลงปารีส มีผลบังคับใช้ พร้อมพันธกรณีแรกเพื่อลดการปล่อยก๊าซ (การมีส่วนร่วม NDCs) สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2563–2568 หรือ พ.ศ. 2563-2573



ในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2558 ประเทศต่าง ๆ ได้ร่วมประชุมกรอบอนุสัญญา UNCCC ในกรุงปารีส เพื่อจัดทำข้อตกลงด้านภูมิอากาศที่ครอบคลุมทุกประเทศ และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป ในการเตรียมการสำหรับการประชุมนี้ รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ ได้เสนอ**แผนภูมิอากาศในรูปแบบของการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (NDCs)** ซึ่งแสดงเป้าหมายระดับชาติในการลดการปล่อยก๊าซในระยะกลาง โดยมีเป้าหมายร่วมกันเพื่อจำกัดอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้ต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส และมุ่งสู่ไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม

การประชุมที่กรุงปารีสได้พิจารณาประเด็นที่ท้าทายและแนวทางแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างหลากหลาย ทั้งในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความสูญเสียและความเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ตลอดจนการสนับสนุนด้านเทคโนโลยี การพัฒนาขีดความสามารถ และการสนับสนุนทางการเงินเพื่อดำเนินการในเรื่องเหล่านี้ ความตกลงปารีส เป็นกรอบกฎหมายสำหรับการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหลังปี พ.ศ. 2563 โดยมีการกำหนดรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการดำเนินงานตามข้อตกลงนี้ และได้มีมติรับรองในการประชุมว่าด้วยสภาพภูมิอากาศครั้งต่อ ๆ มา

ความร่วมมือระหว่างประเทศอย่างมีประสิทธิภาพสามารถช่วยให้โลกพัฒนาไปในแนวทางที่จำกัดอุณหภูมิไม่ให้สูงเกิน 2 องศาเซลเซียส และมุ่งสู่เป้าหมาย 1.5 องศาเซลเซียส รวมทั้งช่วยให้ประเทศต่าง ๆ ปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นแล้วได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้แต่ละประเทศสามารถใช้ประโยชน์จากโอกาสและข้อดีมากมายที่มาพร้อมกับการเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำและมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ที่สำคัญ ความตกลงปารีสไม่ได้กำหนดข้อจำกัดหรือเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นตัวเลขตายตัวสำหรับแต่ละประเทศ หากแต่เปิดโอกาสให้แต่ละประเทศกำหนดเป้าหมายของตนเอง โดยเป้าหมายเหล่านี้จะสะท้อนถึงความพยายามของประเทศนั้น ๆ ในการมีส่วนร่วมเพื่อบรรลุเป้าหมายด้านอุณหภูมิ ความพยายามดังกล่าวจะสะท้อนผ่านแผนสภาพภูมิอากาศของชาติที่ประเทศต่าง ๆ ต้องส่งจัดทำและส่งรายงานเป็นระยะ เป็นรายงานที่เรียกว่า รายงานการมีส่วนร่วม NDCs โดยมีการส่งชุดแรกในช่วงปี พ.ศ. 2558-2559 และชุดที่สองในช่วงปี พ.ศ. 2564-2565

เพื่อให้มั่นใจว่า เมื่อรวมกันแล้ว การมีส่วนร่วม NDCs ของแต่ละประเทศจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างเพียงพอ เพื่อจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยโลกไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส และมุ่งสู่เป้าหมายไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียสในอนาคต ความตกลงปารีส จึงกำหนดกลไกใหม่ที่เรียกว่า “การทบทวนสถานการณ์และการดำเนินงานระดับโลก (Global Stocktake: GST)” เพื่อประเมินภาพรวมความก้าวหน้าในการบรรลุเป้าหมายของข้อตกลง โดยอิงจากองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยที่สุดและหลักความเป็นธรรม กลไกการทบทวน GST นี้จะช่วยกระตุ้นให้ประเทศต่าง ๆ ตระหนักถึงความจำเป็นในการยกระดับความทะเยอทะยาน และขยายขอบเขตการดำเนินงานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น โดยการทบทวนและส่งรายงาน NDCs ครั้งถัดไปกำหนดไว้ในปี พ.ศ. 2568 ซึ่งคาดว่าจะรวมเป้าหมายสำหรับปี พ.ศ. 2578 ไว้ด้วย

การทบทวน GST ครั้งแรกเกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2565-2566 และสิ้นสุดในการประชุม COP28 ซึ่งจัดขึ้นเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ณ เมืองดูไบ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ที่ประชุมมีความเห็นร่วมกันว่า โลกยังไม่อยู่บนเส้นทางที่จะบรรลุเป้าหมายการจำกัดอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้สูงเกิน 1.5 องศาเซลเซียส ตามที่ระบุไว้ในความตกลงปารีส และเห็นว่าจำเป็นต้องเร่งดำเนินการอย่างจริงจัง ทั้งในด้านการลดผลกระทบและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจะต้องสะท้อนความมุ่งมั่นดังกล่าวไว้ใน รายงานการมีส่วนร่วม NDCs ชุดถัดไป ซึ่งกำหนดส่งภายในปี พ.ศ. 2568

การประเมินดังกล่าวได้นำผลการศึกษาทางวิทยาศาสตร์มาพิจารณา ซึ่งระบุว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกจะต้องลดลงร้อยละ 43 ภายในปี พ.ศ. 2573 และลดลงร้อยละ 60 ภายในปี พ.ศ. 2578 เมื่อเทียบกับระดับในปี พ.ศ. 2562 เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายการปล่อยสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 และจำกัดไม่ให้อุณหภูมิโลกสูงเกิน 1.5 องศาเซลเซียส

แต่ละประเทศจำเป็นต้องดำเนินการตามข้อเรียกร้องจากการทบทวน GST ได้แก่
a) ดำเนินมาตรการอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อบรรลุเป้าหมายการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานหมุนเวียนให้เพิ่มขึ้นสามเท่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้มากขึ้นสองเท่าภายในปี พ.ศ. 2573 รวมถึงการลดการปล่อยก๊าซมีเทน b) เร่งลดการใช้พลังงานจากถ่านหินที่ไม่มีระบบดักจับคาร์บอน ลดการอุดหนุนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ไม่มีประสิทธิภาพ และทยอยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในระบบพลังงาน พร้อมทั้งเปลี่ยนผ่านไปสู่แหล่งพลังงานทางเลือกอย่างเป็นธรรม มีลำดับขั้น และมีระบบ นอกจากนี้ การประเมินการทบทวน GST ยังเรียกร้องให้ประเทศพัฒนาแล้วยังคงมีบทบาทนำในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนผ่านสู่อนาคตที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ รวมถึงการรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังจะเกิดขึ้น

นอกจากนี้ การประชุม COP28 ยังได้บรรลุข้อตกลงร่วมกันในการเพิ่มการสนับสนุนแก่ประเทศกำลังพัฒนา เพื่อให้สามารถดำเนินแผนการที่มีระดับความทะเยอทะยานสูงได้อย่างเป็นรูปธรรม ตัวอย่างหนึ่งคือการประเมินการทบทวน GST ซึ่งนำไปสู่การจัดตั้งกลไกและเครื่องมือทางการเงินเพื่อให้ความช่วยเหลือในกรณีเร่งด่วน เช่น เหตุอุทกภัยรุนแรงในเมืองซิลเฮต ประเทศบังกลาเทศ เมื่อปี พ.ศ. 2565 ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำดื่มสะอาด (ภาพ 3.4.2) ผลลัพธ์ของการประเมินการทบทวน GST จึงนับเป็นก้าวสำคัญที่เปิดโอกาสให้แต่ละประเทศสามารถดำเนินงานให้บรรลุเป้าหมายของความตกลงปารีส ได้ภายในคริสต์ทศวรรษนี้ ซึ่งถือเป็นช่วงเวลาแห่งความเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหาสภาพภูมิอากาศ

ภาพที่ 3.4.2

ผู้หญิงกำลังหาแหล่งน้ำดื่มในเมืองสิเลต ประเทศบังกลาเทศ หลังเกิดอุทกภัยรุนแรงในปี พ.ศ. 2565



ความตกลงปารีส ยังได้กำหนดให้ประเทศพัฒนาแล้วต้องให้การสนับสนุนประเทศกำลังพัฒนา ทั้งในด้านการเงิน เทคโนโลยี และการพัฒนาศักยภาพ ภายใต้กรอบของการประเมินการทบทวน GST ประเทศต่าง ๆ ได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการจัดหาเงินทุนด้านสภาพภูมิอากาศให้แก่ประเทศกำลังพัฒนา คิดเป็นมูลค่าประมาณ 5.8-5.9 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2573

การประชุม COP28 ถือเป็นครั้งแรกที่ให้ความสำคัญกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยรัฐมนตรีจากกระทรวงสาธารณสุข สิ่งแวดล้อม การคลัง และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้ร่วมกันกำหนดแผนปฏิบัติการและแนวทางในการรับมือกับประเด็นดังกล่าว ประเทศต่าง ๆ ยังได้ให้การรับรอง ปฏิญญาว่าด้วยสุขภาพและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศฉบับแรก พร้อมให้คำมั่นในการร่วมกันปรับเปลี่ยนระบบสาธารณสุขให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นระบบที่ปล่อยคาร์บอนต่ำ มีความยั่งยืน เป็นธรรม และสามารถเตรียมความพร้อมให้แก่ชุมชน รวมถึงกลุ่มประชากรเปราะบาง เพื่อรับมือกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการพัฒนาที่ยั่งยืน

ความร่วมมือระหว่างประเทศในด้านเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งของมนุษยชาติ นั่นคือ การบรรลุการพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อความมั่งคั่งของโลก การพัฒนาที่ยั่งยืนต้องการการดำเนินการที่สนับสนุนกันและกันในสามด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อทั้งสามด้านนี้

ในการประชุมสมัชชาใหญ่แห่งสหประชาชาติเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ประเทศสมาชิกทั้ง 193 ประเทศได้ให้การรับรอง “วาระการพัฒนาที่ยั่งยืน พ.ศ. 2573” ซึ่งประกอบด้วยเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG) ทั้ง 17 เป้าหมาย โดยเป้าหมายที่ 13 มุ่งเน้นที่การดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น (ภาพที่ 3.4.3)

ภาพที่ 3.4.3 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ข้อขององค์การสหประชาชาติ



เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน หลายข้อมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น เป้าหมายที่ 7 ซึ่งมุ่งเน้นการส่งเสริมการเข้าถึงพลังงานที่มีราคาเหมาะสม เชื่อถือได้ ยั่งยืน และทันสมัยสำหรับทุกคน

ในโลกยุคใหม่ที่เทคโนโลยีก้าวหน้า ยังมีประชากรราว 1.3 พันล้านคนที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยประมาณร้อยละ 80 ของกลุ่มนี้อาศัยอยู่ในพื้นที่ชนบท กลุ่มคนเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นผู้ยากจนที่สุดในโลก และคิดเป็นร้อยละ 16 ของประชากรโลกทั้งหมด ซึ่งมีอยู่ราว 8 พันล้านคนในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ยังมีประชากรราว 3 พันล้านคนที่ยังคงใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแบบดั้งเดิม (เช่น ไม้และฟืน) ในการหุงต้มและให้ความร้อน ซึ่งนำไปสู่การปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ในอุปกรณ์หุงต้มที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยมลพิษเหล่านี้เป็นสาเหตุให้มีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรกว่า 1.5 ล้านคนต่อปี หรือเฉลี่ยมากกว่า 4,000 คนต่อวัน ซึ่งสูงกว่าจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคมาลาเรีย วัณโรค และเอดส์ในแต่ละวันรวมกัน ผู้ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในภูมิภาคแอฟริกาใต้สะฮารา เอเชียใต้ และลาตินอเมริกา

ปัญหานี้เรียกว่า **“ความยากจนด้านพลังงาน”**

การบรรลุเป้าหมายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศควบคู่กับเป้าหมายในการจัดหาไฟฟ้าให้แก่ทุกคน เป็นสิ่งที่เกื้อหนุนซึ่งกันและกัน พลังงานที่สะอาด มีประสิทธิภาพ ราคาเหมาะสม และเชื่อถือได้ ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อสุขภาพและความมั่งคั่งของโลก ขณะเดียวกัน การใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็มีบทบาทในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นี่คือเหตุผลที่การส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างสมเหตุสมผลและมีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

แนวทางการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทุกภาคส่วนร่วมมือกัน

ตั้งแต่คริสต์ทศวรรษ 1990 เป็นต้นมา ตัวแทนจากภาคธุรกิจ เมืองและภูมิภาคต่าง ๆ นักลงทุน ภาคประชาสังคม สถาบันการศึกษา รวมถึงองค์กรสตรี เยาวชน ชนพื้นเมือง และกลุ่มทางสังคมอื่น ๆ ที่อยู่นอกภาครัฐ ได้มีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในเวทีการเจรจาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การประชุม COP21 ณ กรุงปารีส คือจุดที่รัฐบาลประเทศต่าง ๆ ได้ตกลงร่วมกันอย่างเป็นทางการว่า การเร่งระดมความร่วมมือด้านสภาพภูมิอากาศที่เข้มข้นและทะเยอทะยานยิ่งขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามความตกลงปารีส ทุกคนล้วนมีบทบาทในกระบวนการนี้ ภาคสังคมและกลุ่มที่ไม่ใช่ภาครัฐมีส่วนร่วมในการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศ ผ่านการจัดทำแผนปฏิบัติการของตนเอง การตั้งเป้าหมายเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเปิดเผยความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศ การเสริมสร้างศักยภาพทางเทคนิคและการดำเนินงาน ตลอดจนการสนับสนุนให้เกิดผลลัพธ์ของนโยบายระดับชาติในระดับพื้นที่ นอกจากนี้ ทุกภาคส่วนยังสามารถร่วมมือกัน และทำงานเคียงข้างกับรัฐบาลในโครงการข้ามพรมแดนด้านสภาพภูมิอากาศ หรือความร่วมมือระดับนานาชาติ การประชุมสุดยอดว่าด้วยความมุ่งมั่นในการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของสหประชาชาติ (United Nations Climate Ambition Summit: UNCAS) ในปี พ.ศ. 2566 ได้ให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับบทบาทของรัฐบาล ภาคธุรกิจ เมือง ภูมิภาค และสถาบันการเงิน รวมถึงแนวทางความร่วมมือระหว่างกันในการผลักดันให้การลดคาร์บอนของสังคมและเศรษฐกิจเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม (ภาพ 3.4.4)

ภาพที่ 3.4.4 ความร่วมมือของภาคส่วนต่าง ๆ ในการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การประชุมสุดยอดว่าด้วยความมุ่งมั่นด้านสภาพภูมิอากาศของสหประชาชาติ ปี พ.ศ. 2566



กรอบอนุสัญญา UNFCCC ได้ให้ข้อมูล ณ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2566 ว่ามีผู้มีส่วนร่วมในด้านการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศมากกว่า 32,000 ราย ซึ่งประกอบด้วยบริษัท 15,590 แห่ง นักลงทุน 1,654 ราย องค์กร 3,443 องค์กร ภูมิภาค 282 แห่ง เมือง 11,354 แห่ง และประเทศ 194 ประเทศ คณะผู้แทนระดับสูงของสหประชาชาติ ภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ ทำหน้าที่กำกับและสนับสนุนการดำเนินงานของภาคีที่ไม่ใช่ภาครัฐ เพื่อส่งเสริมความร่วมมือระหว่างรัฐบาล เมืองต่าง ๆ ภูมิภาค ธุรกิจ และนักลงทุน ซึ่งล้วนมีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โครงการริเริ่มที่มีความเคลื่อนไหวโดดเด่นในช่วงหลัง ได้แก่ โครงการความก้าวหน้าเปลี่ยนโลกภายในปี ค.ศ. 2030 (2030 Breakthroughs) วาระการปรับตัวชาร์มเอลชีค (Sharm-el-Sheikh Adaptation Agenda) แคมเปญปฏิบัติการแข่งขันเพื่อคาร์บอนเป็นศูนย์ และปฏิบัติการเร่งปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Race to Zero and Race to Resilience campaigns)

นอกจากนี้ ด้วยการตระหนักถึงความสำคัญของบทบาทเยาวชนในการขับเคลื่อนประเด็นสภาพภูมิอากาศ การประชุม COP28 ณ กรุงดูไบ จึงได้จัดตั้งตำแหน่ง คณะผู้แทนเยาวชนด้านสภาพภูมิอากาศ (Youth Climate Champion) ขึ้น โดยผู้ที่ดำรงตำแหน่งนี้มีบทบาทในการส่งเสริมให้เยาวชนมีส่วนร่วมอย่างจริงจัง และสามารถเป็นตัวแทนของคนรุ่นใหม่ในการประชุม COP28 ครั้งต่อ ๆ ไป



กิจกรรม

1

ในกิจกรรมนี้ ให้ลองสวมบทบาทเป็นนักเจรจาระหว่างประเทศ
โปรดอ่านเคล็ดลับทั้ง 10 ข้อต่อไปนี้ และจดจำให้ขึ้นใจ

10 เคล็ดลับสำหรับนักเจรจาระหว่างประเทศ

1. จดจ่อกับประเด็นที่กำลังอภิปราย อย่าไขว้เขว และอย่าออกนกเรื่องหรือยกประเด็นอื่นขึ้นมา

2. พยายามค้นหาและแยกแยะแนวคิดสำคัญ โดยให้ความสำคัญกับเนื้อหา ไม่ใช่แค่รูปแบบ อย่างไรก็ตาม ในการสื่อสารกับผู้อื่น อย่าลืมว่ารูปแบบหรือวิธีการนำเสนอแนวคิดมีความสำคัญอย่างมากในด้านการทูต

3. ถอดความทบทวนสิ่งที่อีกฝ่ายพูดและตรวจสอบว่าคุณเข้าใจถูกต้องหรือไม่ (เช่น ‘ถ้าเข้าใจไม่ผิด คุณหมายถึงว่า...’ ‘ฉันเข้าใจถูกไหมว่า...’)

4. ถามหลาย ๆ คำถาม

5. เคารพความเงียบของคู่สนทนา อย่าพยายามรีบพูดแทรกทุกครั้งที่เกิดความเงียบ

6. ตีความข้อมูลจากทั้งมุมในของวัฒนธรรมของตนเอง และวัฒนธรรมของคู่สนทนา

7. พยายามอย่าตีความพฤติกรรมของผู้อื่นโดยยึดตามเพียงมุมมองของตนเอง

8. อย่าด่วนตัดสินหรือประเมินคุณค่าเร็วเกินไป

9. ฝึกสังเกตและจดจำสัญญาณที่ไม่ใช้คำพูดของผู้ที่กำลังสื่อสารด้วย (เช่น สีหน้า ท่าทาง การวางท่า น้ำเสียง ฯลฯ)

10. อย่าด่วนสรุปเพียงจากสัญญาณหรือท่าทางเพียงครั้งเดียว

หนึ่งในกลยุทธ์ที่น่าสนใจและประสบความสำเร็จมากที่สุดในการสื่อสารกับผู้คนจากวัฒนธรรมที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การเลียนแบบพฤติกรรมของพวกเขา การเลียนแบบพฤติกรรมของคู่สนทนาเพิ่มโอกาสที่ทั้งสองฝ่ายจะได้ผลลัพธ์เชิงบวกอย่างมาก ดังนั้นการเป็น กิ้งก่าเปลี่ยนสี อาจช่วยให้ประสบความสำเร็จในการเจรจาระหว่างประเทศ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม ความสุภาพ การเคารพคู่สนทนาและวัฒนธรรมของพวกเขา รวมถึงการเปิดกว้างในการสื่อสาร สามารถสร้างสิ่งมหัศจรรย์ในการสื่อสารได้ (และสิ่งเหล่านี้ก็ใช้ได้ดีในชีวิตประจำวันเช่นกัน)

2

เกม

ให้จินตนาการว่ากำลังเข้าร่วมการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจะต้องอภิปรายเกี่ยวกับปัญหาที่ประเทศต่าง ๆ เผชิญซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

เตรียมคำกล่าวต้อนรับสั้น ๆ ที่ผู้นำของรัฐจะกล่าวต่อผู้เข้าร่วมประชุม โดยในคำกล่าวควรกล่าวถึงประเด็นต่อไปนี้

- ลักษณะภูมิอากาศและทรัพยากรธรรมชาติหลักของประเทศ
- วิถีชีวิตของประชาชนในประเทศ
- ภาคเศรษฐกิจหลักของประเทศ
- ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อธรรมชาติ ประชาชน และเศรษฐกิจ
- สิ่งที่ประเทศคาดหวังว่าการประชุมครั้งนี้จะสามารถบรรลุได้

หลังจากการกล่าวต้อนรับ ผู้เข้าร่วมการประชุมจะแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางในการป้องกันผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและผู้คนในประเทศที่เข้าร่วมประชุม

เมื่อจบกิจกรรม จะมีการคัดเลือกผู้ชนะ ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการอภิปรายมากที่สุด และสามารถนำเสนอความคิดเห็นที่เกี่ยวข้อง มีเหตุผลน่าเชื่อถือ และน่าสนใจ

3

สมมติว่ากำลังปฏิบัติหน้าที่ในฐานะเจ้าหน้าที่ภาครัฐของประเทศเกาะเล็กแห่งหนึ่งในภูมิภาคแปซิฟิก โดยมีหน้าที่จัดทำข้อเสนอโครงการเพื่อยื่นขอรับการสนับสนุนทางการเงินจากประชาคมระหว่างประเทศ เพื่อช่วยให้ประเทศสามารถรับมือกับผลกระทบทางลบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ข้อเสนอโครงการควรครอบคลุมประเด็นต่อไปนี้

1) ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่คาดว่าจะเป็นภัยคุกคามร้ายแรงที่สุดต่อประเทศคืออะไร

2) แนวทางในการดำเนินการหากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้เกาะจมหายไปทั้งหมด

3) องค์กรระหว่างประเทศและประเทศใดบ้างที่สามารถยื่นขอความช่วยเหลือได้

4) หากเกาะต้องจมหายไปใต้ทะเล แผนในการอนุรักษ์วัฒนธรรมของประเทศจะเป็นเช่นไร



4

แนวทางสำหรับครูผู้สอน ในการใช้ชุดเครื่องมือการเรียนรู้ "กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ" ในโรงเรียน

4 แนวทางสำหรับครูผู้สอนในการใช้ชุดเครื่องมือการเรียนรู้ "กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ" ในโรงเรียน

“กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ” เป็นชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย รวมถึงครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเอกสารประกอบการเรียนรู้เหล่านี้จัดทำโดย UNDP โดยได้รับการสนับสนุนจาก GEF กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของรัสเซีย และบริษัทโคคา-โคล่า (Coca-Cola) อีกทั้ง “กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ” ยังเป็นชุดเครื่องมือสำหรับนักเรียนในโรงเรียนชุดที่ 3 ที่จัดทำโดย UNDP และพันธมิตรถัดจากชุด Black Sea Box และ Baikal's Little Treasure Chest

วัตถุประสงค์ของ “กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ” ได้แก่

- เพื่อแจ้งให้นักเรียนทราบเกี่ยวกับโลกที่อยู่รอบตัวพวกเขา ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
- เพื่อส่งเสริมความคิดในการอนุรักษ์และการเคารพธรรมชาติ
- เพื่อปลูกฝังวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมในการบริโภคอย่างรับผิดชอบในกลุ่มคนรุ่นใหม่ พัฒนาทักษะการประหยัดพลังงานและทรัพยากรในกลุ่มคนรุ่นใหม่
- เพื่อช่วยครูในการเตรียมและดำเนินการสอนในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยตรงหรือโดยอ้อม

ชุดเครื่องมือการเรียนรู้แบบโต้ตอบนี้ประกอบไปด้วย

- หนังสือเรียนพร้อมภาพประกอบสำหรับนักเรียน ประกอบด้วยเนื้อหาการศึกษา คำถาม และภารกิจหลากหลายสำหรับงานเดี่ยวและงานกลุ่ม พร้อมแนวทางการใช้สื่อประกอบการสอนสำหรับครู ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับนักเรียนในช่วงวัยต่าง ๆ (เนื้อหานี้เป็นบทหนึ่งในหนังสือหลัก และมีฉบับเสริมแยกต่างหาก)
- เกมทายปัญหาเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ (Climate Quiz)
- แผนที่ติดผนังแสดงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อธรรมชาติและมนุษย์ในส่วนต่าง ๆ ของโลกภายในตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 21
- โปสเตอร์ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีลดร่องรอยคาร์บอน
- โปสเตอร์แนะนำวิธีรับมือและปรับตัวกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ไม่สามารถบรรเทาได้โดยง่าย
- เว็บไซต์ climate-box.com ซึ่งรวบรวมเนื้อหาทั้งหมดจากชุดสื่อการเรียนรู้นี้ไว้ในที่เดียว

หนังสือเรียน “กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ”

หนังสือเรียนประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ‘ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ’ ‘การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร เราสามารถปรับตัวให้เข้ากับผลที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้หรือไม่’ และ ‘จะป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตรายได้อย่างไร’ หนังสือเล่มนี้ช่วยให้นักเรียนพัฒนาความรู้และทักษะในการแยกแยะประเภทต่างๆ ของสภาพภูมิอากาศและเขตธรรมชาติ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ของระบบธรรมชาติ สอนวิธีการแยกแยะ อธิบาย และอธิบายลักษณะสำคัญของลักษณะทางภูมิศาสตร์และปรากฏการณ์สภาพอากาศ และวิธีที่ลักษณะเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปอันเป็นผลจากผลกระทบจากธรรมชาติและฝีมือมนุษย์ อธิบายการใช้แหล่งพลังงานทางเลือก สอนกฎการปฏิบัติตนในกรณีที่มีสภาพอากาศเลวร้าย และสอนการใช้ทรัพยากรอย่างประหยัดในบ้าน ที่โรงเรียน และกลางแจ้ง ข้อมูลในแต่ละส่วนของหนังสือเรียนสามารถให้ข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์สำหรับโปรแกรมการศึกษาหลายๆ ด้าน

แผนภูมิในหน้า 241–252 ระบุถึงวิธีเชื่อมโยง กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศกับหลักสูตรระดับชาติ แนวทางเหล่านี้มุ่งเน้นไปที่หลักสูตรการศึกษาของรัสเซียอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม แนวทางเหล่านี้มีข้อมูลอันมีค่าที่อาจเป็นประโยชน์สำหรับหลักสูตรของประเทศอื่นๆ ซึ่งหลักสูตรหลายหลักสูตรมีรูปแบบคล้ายคลึงกับหลักสูตรของรัสเซีย

หนังสือเรียนมีข้อเท็จจริงที่น่าสนใจและให้ข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติทางธรรมชาติมากมาย ตัวอย่างผลที่ตามมาของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อชายฝั่ง ภูเขา และ ภูมิภาคอาร์กติก ป่าไม้ เมือง และประเทศต่างๆ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเอง รวมทั้งสร้างสมมติฐานและพยากรณ์เกี่ยวกับกระบวนการทางธรรมชาติและปรากฏการณ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับภูมิภาคที่พวกเขาอาศัยอยู่

แนวทางดังกล่าวจะช่วยให้ครูสามารถให้ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโลกที่อยู่รอบตัวแก่ลูกศิษย์ พัฒนาความสามารถทางปัญญาและความปรารถนาที่จะแสวงหาความรู้ หนังสือเรียนนี้ช่วยให้นักเรียนมองโลกจากมุมมองของนักดาราศาสตร์ นักภูมิศาสตร์ และนักนิเวศวิทยา ภาพประกอบ แผนภูมิ และกราฟที่มีสีสันสวยงามช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับวิวัฒนาการ (โดยอ้างอิงถึงเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตและรูปร่างของโลกในปัจจุบัน) ความแตกต่างเชิงพื้นที่ในกระบวนการสร้างสภาพภูมิอากาศ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของโครงสร้างทางธรรมชาติของทวีปและมหาสมุทรต่างๆ แนวทางการอนุรักษ์ สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากธรรมชาติและฝีมือมนุษย์ มาตรการในการรักษาโลกธรรมชาติและปกป้องผู้คนจากภัยพิบัติจากธรรมชาติและฝีมือมนุษย์ ผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกและความหลากหลายทางชีวภาพ และ carbon footprint ของมนุษย์บนโลก

คำถามและงานที่จัดทำไว้ในหนังสือเรียนให้โอกาสในการใช้ความรู้ทั้งหมดนี้ในทางปฏิบัติ

หนังสือเรียนนี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับนักเรียนอายุตั้งแต่ 8 ขวบขึ้นไป แต่เหมาะเป็นพิเศษสำหรับนักเรียนอายุ 10–13 ขวบ ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรหลักหรือเป็นกิจกรรมนอกหลักสูตรก็ตาม

ขอแนะนำให้ครูใช้สื่อการเรียนรู้จากหนังสือเรียนโดยคำนึงถึงสิ่งที่นักเรียนกำลังสนใจในขณะนั้น ความต้องการ ความสนใจและความสามารถของพวกเขา เด็กบางคนอาจสนใจเนื้อหาทั้งเล่ม ในขณะที่เด็กบางคนอาจสนใจข้อเท็จจริง ภาพประกอบหรือแนวคิดเฉพาะสำหรับการทดลอง เราเชื่อมั่นว่านักเรียนทุกคนจะพบสิ่งใหม่และน่าสนใจในหนังสือเรียน เราขอแนะนำให้ครูใช้แนวทางที่สร้างสรรค์กับชุดเครื่องมือ โดยใช้สื่อการเรียนรู้ในกิจกรรมนอกห้องเรียนและกิจกรรมนอกหลักสูตร ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมกลางแจ้ง กิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม สัปดาห์ตารางเรียนแบบบูรณาการตามบริบทการเรียนรู้ การแข่งขันและแบบทดสอบ และวงการเรียนรู้

ทีมผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดเครื่องมือกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ จะช่วยกระตุ้นให้เหล่านักเรียน ครู และผู้ปกครองปรับเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิตเพื่อให้มีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การเชื่อมโยงหลักสูตรกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานและหลักสูตรการพัฒนาอย่างยั่งยืนของกรุงเทพมหานคร

กล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ เป็นแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่าสำหรับครูในประเทศไทย โดยช่วยให้ครูสามารถเสริมสร้างหัวข้อต่างๆ ที่กำลังสอน หรือช่วยให้ครูสามารถสอนหัวข้อต่างๆ ที่กำลังสอนได้อย่างครอบคลุม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (ปรับปรุง พ.ศ. 2560) และหลักสูตรเมืองยั่งยืนของกรุงเทพมหานคร

1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

สาระการเรียนรู้ของหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศมากที่สุด ได้แก่

- สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
- สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม – สาระที่ 5 ภูมิศาสตร์
- สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์
- สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี
- สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา

1.1 สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) สำหรับสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มี 4 สาระ ดังนี้

สาระที่ 1: วิทยาศาสตร์ชีวภาพ
สาระที่ 2: วิทยาศาสตร์กายภาพ
สาระที่ 3: วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ
สาระที่ 4: เทคโนโลยี

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเกี่ยวกับชุดเครื่องมือกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศในแต่ละสาระ

สาระที่ 1: วิทยาศาสตร์ชีวภาพ
มาตรฐาน ว 1.1: เข้าใจความหลากหลายของระบบนิเวศ ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งไม่มีชีวิต กับสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ การถ่ายทอดพลังงาน การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในระบบนิเวศ ความหมายของ ประชากร ปัญหาและผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม แนวทางในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์
มาตรฐาน ว 1.2: เข้าใจสมบัติของสิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต การลำเลียงสารเข้า และออกจากเซลล์ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสัตว์และมนุษย์ที่ทำงานสัมพันธ์กัน ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ ของพืชที่ทำงานสัมพันธ์กัน รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์
มาตรฐาน ว 1.3: เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม สารพันธุกรรม การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต ความหลากหลาย ทางชีวภาพ และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 2: วิทยาศาสตร์กายภาพ
มาตรฐาน ว 2.1: เข้าใจสมบัติของสสาร องค์ประกอบของสสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของ สสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค หลักและธรรมชาติ ของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร การเกิดสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี
มาตรฐาน ว 2.3: เข้าใจความหมายของพลังงาน การเปลี่ยนแปลงและการถ่ายโอนพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสสารและพลังงาน พลังงานในชีวิตประจำวัน ธรรมชาติ ของคลื่น ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง แสง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 3: วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ
มาตรฐาน ว.3.2: เข้าใจองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบโลก กระบวนการเปลี่ยนแปลง ภายในโลกและบนผิวโลก ธรณีพิบัติภัย กระบวนการเปลี่ยนแปลงลมฟ้า อากาศและภูมิอากาศโลก รวมทั้งผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สาระที่ 4: เทคโนโลยี
มาตรฐาน ว 4.1: เข้าใจแนวคิดหลักของเทคโนโลยีเพื่อการดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลง อย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และ ศาสตร์อื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม
มาตรฐาน ว 4.2: เข้าใจและใช้แนวคิดเชิงคำนวณในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงอย่างเป็น ขั้นตอนและเป็นระบบ ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในการเรียนรู้ การทำงาน และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รู้เท่าทัน และมีจริยธรรม

1.2 สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม ประกอบด้วยสาระที่ 5 ภูมิศาสตร์ ซึ่งมี 2 มาตรฐาน ดังนี้

สาระที่ 5: ภูมิศาสตร์
มาตรฐาน ส 5.1: เข้าใจลักษณะทางกายภาพของโลกและความสัมพันธ์ของสรรพสิ่งซึ่งมีผลต่อกัน ใช้แผนที่และเครื่องมือทางภูมิศาสตร์ในการค้นหา วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลตามกระบวนการทางภูมิศาสตร์ ตลอดจนใช้ภูมิสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ
มาตรฐาน ส 5.2: เข้าใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่ก่อให้เกิดการสร้างสรรค์วิถีการดำเนินชีวิต มีจิตสำนึกและมีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

1.3 สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

สาระที่ 1: จำนวนและพีชคณิต
มาตรฐาน ค 1.1: เข้าใจความหลากหลายของการแสดงตัวเลข ระบบจำนวน การดำเนินการของจำนวน ผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ สมบัติของการดำเนินการ และนำไปใช้
มาตรฐาน ค 1.2: เข้าใจและวิเคราะห์แบบรูป ความสัมพันธ์ ฟังก์ชัน ลำดับและอนุกรม และนำไปใช้

สาระที่ 2: การวัดและเรขาคณิต
มาตรฐาน ค 2.1: เข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการวัด วัดและคาดคะแนขนาดของสิ่งที่ต้องการวัด และนำไปใช้
สาระที่ 3: สถิติและความน่าจะเป็น
มาตรฐาน ค 3.1: เข้าใจกระบวนการทางสถิติ และใช้ความรู้ทางสถิติในการแก้ไขปัญหา

1.4 สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี

สาระที่ 4: การดำรงชีวิตและครอบครัว
มาตรฐาน ง 1.1: เข้าใจการทำงาน มีความคิดสร้างสรรค์ มีทักษะกระบวนการทำงาน ทักษะการจัดการ ทักษะกระบวนการแก้ปัญหา ทักษะการทำงานร่วมกัน และทักษะการแสวงหาความรู้ มีคุณธรรม และลักษณะนิสัยในการทำงาน มีจิตสำนึกในการใช้พลังงาน ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม เพื่อการดำรงชีวิตและครอบครัว

1.5 สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา

สาระที่ 5: ความปลอดภัยในชีวิต
มาตรฐาน พ 5.1: ป้องกันและหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยง พฤติกรรมเสี่ยงต่อสุขภาพ อุบัติเหตุ การใช้ยา สารเสพติด และความรุนแรง

2. หลักสูตรการศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของกรุงเทพมหานคร: หลักสูตรมหานครแห่งความยั่งยืน

หลักสูตรการศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นนโยบายสำคัญของกรุงเทพมหานคร ประกอบด้วย 5 หน่วยการเรียนรู้ รวม 80 ชั่วโมง สำหรับแต่ละระดับชั้น โดย 5 หน่วยการเรียนรู้ประกอบด้วย

หน่วยที่ 1: บทนำและถอดบทเรียน (8 ชั่วโมง)
หน่วยที่ 2: สิ่งแวดล้อม (18 ชั่วโมง)
หน่วยที่ 3: การเงิน (18 ชั่วโมง)
หน่วยที่ 4: พลเมืองกรุงเทพฯ (18 ชั่วโมง)
หน่วยที่ 5: สุขภาพและความปลอดภัย (18 ชั่วโมง)

แต่ละหน่วยประกอบด้วย

- การเรียนรู้ในห้องเรียน
  - » เนื้อหา
  - » โครงการ
- การเรียนรู้ภายนอกห้องเรียน
  - » การเรียนรู้รอบโรงเรียน: บริเวณทั่วไปภายในและใกล้โรงเรียน
- การประเมินการเรียนรู้

เนื้อหาการเรียนรู้ในห้องเรียนสำหรับแต่ละหน่วยและระดับชั้นเรียนที่เหมาะสมจะถูกจับคู่กับส่วนต่างๆ ของชุดเครื่องมือกล่องเรียนรู้สภาพภูมิอากาศ

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
ส่วนที่ 1: ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ			
1.1 สภาพภูมิอากาศและภูมิอากาศ			**หน่วยที่ 5 สุขภาพดี อนามัยงาม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** » สภาพอากาศรอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » การเปลี่ยนแปลงของอากาศ (3 ชั่วโมง)
1.2 ประเภทภูมิอากาศและเขตภูมิอากาศ	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 5. อธิบายผลของมรสุมต่อการเกิดฤดูของประเทศไทย จากข้อมูลที่รวบรวมได้		
1.3 สภาพอากาศในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรและเพราะเหตุใด			
1.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 8. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการเกิดปรากฏการณ์ เรือนกระจก และผลของปรากฏการณ์เรือนกระจก ต่อสิ่งมีชีวิต 9. ตระหนักถึงผลกระทบของปรากฏการณ์เรือน กระจก โดยนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตนเพื่อ ลดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก		**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - ภูมิอากาศ » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่- ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** » ความหมายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » ภัยพิบัติทางธรรมชาติจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » พลังงานสะอาดกับการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (3 ชั่วโมง) » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (2 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
ส่วนที่ 2: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร เราจะปรับตัวให้เข้ากับผลที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้หรือไม่?			
2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสภาพอากาศอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** 3. อธิบายการเกิดลมจากหลักฐานเชิงประจักษ์ 4. บรรยายประโยชน์และโทษของลมจากข้อมูล ที่รวบรวมได้		
2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อพืชและสัตว์อย่างไร	**มาตรฐาน ว 1.1** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** 1. ระบุชื่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณต่าง ๆ จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2. บอกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิต ของสัตว์ในบริเวณที่อาศัยอยู่ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** 1. บรรยายโครงสร้างและลักษณะของสิ่งมีชีวิต ที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิต ซึ่งเป็นผลมาจาก การปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในแต่ละแหล่งที่อยู่ 2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับ สิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต กับสิ่งไม่มีชีวิต เพื่อประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต 3. เขียนโซ่อาหารและระบุบทบาทหน้าที่ของ สิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคในโซ่อาหาร 4. ตระหนักในคุณค่าของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการ ดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยมีส่วนร่วมในการดูแล รักษาสิ่งแวดล้อม **มาตรฐาน ว 1.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** 1. ระบุชื่อ บรรยายลักษณะและบอกหน้าที่ของ ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ สัตว์และพืช รวมทั้งบรรยายการทำหน้าที่ร่วมกันของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ จากข้อมูลที่รวบรวมได้ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. ระบุว่าพืชต้องการแสงและน้ำ เพื่อการเจริญ เติบโต โดยใช้ข้อมูลจากหลักฐานเชิงประจักษ์ 2. ตระหนักถึงความจำเป็นที่พืชต้องได้รับน้ำและ แสงเพื่อการเจริญเติบโต โดยดูแลพืชให้ได้รับ สิ่งดังกล่าวอย่างเหมาะสม 3. สร้างแบบจำลองที่บรรยายวัฏจักรชีวิตของพืชดอก		**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** » การจำแนกประเภท (2 ชั่วโมง) » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเราสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิต (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (3 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - ป่า/พืช - แม่น้ำที่สำคัญ - สัตว์ในท้องถิ่น - แหล่งน้ำที่สำคัญในกรุงเทพมหานคร » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่ - ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ (1 ชั่วโมง) » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » อันตรายและภัยพิบัติทางธรรมชาติเกี่ยวกับภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
	ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 1. บรรยายสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของมนุษย์และสัตว์ โดยใช้ข้อมูล ที่รวบรวมได้ 2. ตระหนักถึงประโยชน์ของอาหาร น้ำ และอากาศ โดยการดูแลตนเองและสัตว์ให้ได้รับสิ่งเหล่านี้ อย่างเหมาะสม 3. สร้างแบบจำลองที่บรรยายวัฏจักรชีวิตของสัตว์ และเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของสัตว์บางชนิด 4. ตระหนักถึงคุณค่าของชีวิตสัตว์โดยไม่ทำให้ วัฏจักรชีวิตของสัตว์เปลี่ยนแปลง **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** 1. บรรยายหน้าที่ของราก ลำต้น ใบ และดอก ของพืชดอก โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ **มาตรฐาน ว 1.3** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. เปรียบเทียบลักษณะของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต จากข้อมูลที่รวบรวมได้ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** 1. จำแนกสิ่งมีชีวิตโดยใช้ความเหมือนและ ความแตกต่างของลักษณะของสิ่งมีชีวิต ออกเป็นกลุ่มพืช กลุ่มสัตว์และกลุ่มที่ไม่ใช่พืช และสัตว์ 2. จำแนกพืชออกเป็นพืชดอกและพืชไม่มีดอก โดยใช้การมีดอกเป็นเกณฑ์โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ 3. จำแนกสัตว์ออกเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังและ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยใช้การมีกระดูกสันหลัง เป็นเกณฑ์โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ 4. บรรยายลักษณะเฉพาะที่สังเกตได้ของสัตว์ มีกระดูกสันหลังในกลุ่มปลา กลุ่มสัตว์สะเทินน้ำ สะเทินบก กลุ่มสัตว์เลื้อยคลาน กลุ่มนก และ กลุ่มสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม และยกตัวอย่าง สิ่งมีชีวิตในแต่ละกลุ่ม **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** 1. อธิบายลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการถ่ายทอด จากพ่อแม่สู่ลูกของพืช สัตว์และมนุษย์ 2. แสดงความอยากรู้อยากเห็น โดยการถามคำถาม เกี่ยวกับลักษณะที่คล้ายคลึงกันของตนเองกับพ่อแม่		» สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) ได้แก่ - ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** » นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม (10 ชั่วโมง) ได้แก่ - ความหลากหลาย และความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ - การถ่ายทอดพลังงาน - การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในระบบนิเวศ - ประชากร - ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (2 ชั่วโมง) » สำรวจ/โครงงานสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) - ภัยพิบัติทางธรรมชาติ - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ สถานการณ์น้ำ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ และสถานการณ์ป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง) » ขยะมูลฝอย (2 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อป่าไม้อย่างไร	**มาตรฐาน ว 1.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** 1. ระบุชื่อ บรรยายลักษณะและบอกหน้าที่ของ ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ สัตว์และพืช รวมทั้งบรรยายการทำหน้าที่ร่วมกันของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ จากข้อมูลที่รวบรวมได้ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. ระบุว่าพืชต้องการแสงและน้ำ เพื่อการเจริญเติบโต โดยใช้ข้อมูลจากหลักฐานเชิงประจักษ์ 2. ตระหนักถึงความจำเป็นที่พืชต้องได้รับน้ำและ แสงเพื่อการเจริญเติบโต โดยดูแลพืชให้ได้รับสิ่งดังกล่าวอย่างเหมาะสม 3. สร้างแบบจำลองที่บรรยายวัฏจักรชีวิตของพืชดอก **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** 1. บรรยายหน้าที่ของราก ลำต้น ใบ และดอก ของพืชดอก โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ **มาตรฐาน ว 1.3** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. เปรียบเทียบลักษณะของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต จากข้อมูลที่รวบรวมได้ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** 1. จำแนกสิ่งมีชีวิตโดยใช้ความเหมือนและ ความแตกต่างของลักษณะของสิ่งมีชีวิตออกเป็นกลุ่มพืช กลุ่มสัตว์และกลุ่มที่ไม่ใช่พืช และสัตว์ 2. จำแนกพืชออกเป็นพืชดอกและพืชไม่มีดอก โดยใช้การมีดอกเป็นเกณฑ์โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ 3. จำแนกสัตว์ออกเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลัง และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยใช้การมีกระดูกสันหลัง เป็นเกณฑ์โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ 4. บรรยายลักษณะเฉพาะที่สังเกตได้ของสัตว์ มีกระดูกสันหลังในกลุ่มปลา กลุ่มสัตว์สะเทินน้ำ สะเทินบก กลุ่มสัตว์เลื้อยคลาน กลุ่มนก และ กลุ่มสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม และยกตัวอย่าง สิ่งมีชีวิตในแต่ละกลุ่ม		**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1** » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (3 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - ดิน - ป่า/พืช » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่ - ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ (1 ชั่วโมง) » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » อันตรายและภัยพิบัติทางธรรมชาติเกี่ยวกับภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) ได้แก่ - ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
	ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 1. อธิบายลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการถ่ายทอด จากพ่อแม่สู่ลูกของพืช สัตว์และมนุษย์ 2. แสดงความอยากรู้อยากเห็น โดยการถามคำถาม เกี่ยวกับลักษณะที่คล้ายคลึงกันของตนเองกับ พ่อแม่ **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. ระบุส่วนประกอบของดิน และจำแนกชนิดของดิน โดยใช้ลักษณะเนื้อดินและการจับตัวเป็นเกณฑ์ 2. อธิบายการใช้ประโยชน์จากดิน จากข้อมูลที่รวบรวมได้		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** » นิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม (10 ชั่วโมง) ได้แก่ - ความหลากหลาย และความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ - การถ่ายทอดพลังงาน - การเปลี่ยนแปลงแทนที่ในระบบนิเวศ - ประชากร - ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (2 ชั่วโมง) » สำรวจ/โครงงานสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) - ภัยพิบัติทางธรรมชาติ - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ และสถานการณ์ป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** » ความหลากหลายทางชีวภาพ (2 ชั่วโมง) » ความหลากหลายทางพันธุกรรมของพืช (2 ชั่วโมง) » ธนาคารเมล็ดพันธุ์ (6 ชั่วโมง) » การสร้างหลักประกัน การเข้าถึง และแบ่งปันผลประโยชน์ (1 ชั่วโมง) » ระบบนิเวศ การป้องกัน และการฟื้นฟู (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ การฟื้นฟู และการใช้ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
			หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ทรัพยากรชีวภาพ (1 ชั่วโมง) » ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ (1 ชั่วโมง) » เทคโนโลยีและธนาคารยีนของพืชสัตว์ (2 ชั่วโมง) » เศรษฐกิจใหม่ 6 ด้าน (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ และการใช้น้ำ (1ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรดิน การฟื้นฟูแผ่นดิน และทะเลทราย (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาฯ (2 ชั่วโมง) » การหยุดยั้งการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (1 ชั่วโมง) **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง) » ภูมิอากาศโลก และภูมิอากาศไทย (2 ชั่วโมง) » ปัญหาสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อทรัพยากรน้ำอย่างไร	**มาตรฐาน ว 2.1** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** 1. อธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารเมื่อสสารได้รับความร้อนหรือเย็นลง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ 2. อธิบายการละลายของสารในน้ำโดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ 4. วิเคราะห์และระบุ การเปลี่ยนแปลงที่สามารถกลับคืนได้และไม่สามารถกลับคืนได้ **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 1. อธิบายและเปรียบเทียบการแยกสารผสม โดยการหยิบออก การร่อน การใช้แม่เหล็กดึงดูด การรินออก การกรอง และการตกตะกอน โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์รวมทั้งระบุวิธีแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับการแยกสาร **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** 1. เปรียบเทียบปริมาณน้ำในแต่ละแหล่งและระบุ ปริมาณน้ำที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2. ตระหนักถึงคุณค่าของน้ำโดยนำเสนอแนวทาง การใช้น้ำอย่างประหยัดและการอนุรักษ์น้ำ 3. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการหมุนเวียนของน้ำ ในวัฏจักรน้ำ 4. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดเมฆ หมอก น้ำค้าง และน้ำค้างแข็ง จากแบบจำลอง 5. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดฝน หิมะ และลูกเห็บ จากข้อมูลที่รวบรวมได้		**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - แม่น้ำที่สำคัญ - แหล่งน้ำที่สำคัญในกรุงเทพมหานคร » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่ - ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ (1 ชั่วโมง) » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวมล้อม (2ชั่วโมง) » ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » อันตรายและภัยพิบัติทางธรรมชาติเกี่ยวกับภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) ได้แก่ - ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ สถานการณ์น้ำ (2 ชั่วโมง)
2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเกษตรกรรม อย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 1. ระบุส่วนประกอบของดิน และจำแนกชนิดของดิน โดยใช้ลักษณะเนื้อดินและการจับตัวเป็นเกณฑ์ 2. อธิบายการใช้ประโยชน์จากดิน จากข้อมูลที่รวบรวมได้		

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.6 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคชายฝั่งอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 4. เปรียบเทียบการเกิดลมบก ลมทะเล และมรสุม รวมทั้งอธิบายผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม จากแบบจำลอง 6. บรรยายลักษณะและผลกระทบของน้ำท่วม การกัดเซาะชายฝั่ง ดินถล่ม แผ่นดินไหว สึนามิ		
2.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคภูเขาอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 1. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดหินอัคนี หินตะกอน และหินแปร และอธิบายวัฏจักรหิน จากแบบจำลอง 2. บรรยายและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของหิน และแร่ในชีวิตประจำวันจากข้อมูลที่รวบรวมได้ 3. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการเกิดซากดึกดำบรรพ์ และคาดคะเนสภาพแวดล้อมในอดีตของซากดึกดำบรรพ์		
2.8 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคอาร์กติกอย่างไร			
2.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเมืองและสุขภาพของมนุษย์อย่างไร			**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - ภูมิอากาศ - ดิน - ป่า/พืช - แม่น้ำที่สำคัญ - สัตว์ในท้องถิ่น - แหล่งน้ำที่สำคัญในกรุงเทพมหานคร » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่ - ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
			หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้ **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ สถานการณ์น้ำ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ และสถานการณ์ป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง) » ขยะมูลฝอย (2 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียน/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 สุขภาพดี อนามัยงาม** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » มลพิษในอากาศ และการปฏิบัติตน (3 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 รอบรู้อนามัย ใส่ใจปลอดภัย** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** » ฝุ่น PM 2.5 ภัยใกล้ตัว (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » โรคติดเชื้อทางเดินหายใจ (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** » โรคติดต่อทางเดินหายใจ (2 ชั่วโมง)
2.10 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปัญหาสังคมอย่างไร			

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
ส่วนที่ 3: การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตราย			
3.1 แหล่งพลังงาน 'สีเขียว' **3.1.1 พลังงานคืออะไร?** **3.1.2 แหล่งพลังงานหลัก**	**มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** 1. ยกตัวอย่างการเปลี่ยนพลังงานหนึ่งไปเป็นอีกพลังงานหนึ่งจากหลักฐานเชิงประจักษ์ 2. บรรยายการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบุแหล่งพลังงานในการผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 3. ตระหนักในประโยชน์และโทษของไฟฟ้า โดยนำเสนอวิธีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด และปลอดภัย		
3.1.3 เชื้อเพลิงฟอสซิล			**หน่วยที่ 5 สุขภาพดี อนามัยงาม** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » มลพิษในอากาศ และการปฏิบัติตน (3 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 รอบรู้อนามัย ใส่ใจปลอดภัย** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** » ฝุ่น PM 2.5 ภัยใกล้ตัว (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » โรคติดเชื้อทางเดินหายใจ (2 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** » โรคติดต่อทางเดินหายใจ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง)
3.1.4 พลังงานนิวเคลียร์			
3.1.5 แหล่งพลังงานหมุนเวียน			**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » พลังงาน (3 ชั่วโมง) **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** » พลังงานสะอาดกับการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง)
3.1.6 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน			

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงาน **3.2.1 การขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม** **3.2.2 เครื่องใช้ในครัวเรือนและอุปกรณ์ไฟฟ้า**	**มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** 3. ตระหนักในประโยชน์และโทษของไฟฟ้า โดย นำเสนอวิธีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด และ ปลอดภัย **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** 1. ระบุส่วนประกอบของอากาศ บรรยายความสำคัญของอากาศ และผลกระทบของมลพิษทาง อากาศต่อสิ่งมีชีวิต จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2. ตระหนักถึงความสำคัญของอากาศ โดยนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตนในการลดการเกิดมลพิษทางอากาศ		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง) » ขยะมูลฝอย (2 ชั่วโมง)
3.2.3 การก่อสร้างสีเขียว อาคารแบบ Passive และ Active **3.2.4 เมืองสีเขียว**			**หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** » กรุงเทพมหานครบ้านฉัน (8 ชั่วโมง) ได้แก่ - ตำแหน่งและพื้นที่กรุงเทพมหานคร - อาณาเขตติดต่อ - ภูมิอากาศ - ดิน - ป่า/พืช - แม่น้ำที่สำคัญ - สัตว์ในท้องถิ่น - แหล่งน้ำที่สำคัญในกรุงเทพมหานคร » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (3 ชั่วโมง) ได้แก่ - ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 เรียนรู้เรื่องรอบตัว** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติ (1 ชั่วโมง) » ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » อันตรายและภัยพิบัติทางธรรมชาติเกี่ยวกับภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง)

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
			» ศูนย์การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชีวิตคนเมือง (3 ชั่วโมง) » สำรวจสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเรา (2 ชั่วโมง) ได้แก่ - ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ควรรู้จัก - มลพิษในชุมชน » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมน่ารู้** **1.สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** » ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ สถานการณ์น้ำ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ และสถานการณ์ป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » อากาศ (3 ชั่วโมง) » พลังงาน (3 ชั่วโมง) » ขยะมูลฝอย (2 ชั่วโมง) » สวนพฤกษศาสตร์ในและนอกโรงเรียน/พื้นที่สีเขียวในเมืองหลวง/สาธารณะใกล้บ้านฉัน/สวน 15 นาที ใกล้บ้านฉัน (2 ชั่วโมง)
3.3 การปล่อยคาร์บอน **3.4 ฉันจะช่วยโลกได้อย่างไร ลดการปล่อยคาร์บอน**	**มาตรฐาน ว 2.1** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 3. เปรียบเทียบสมบัติที่สังเกตได้ของวัสดุ เพื่อนำ มาทำเป็นวัตถุในการใช้งานตามวัตถุประสงค์ และอธิบายการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ 4. ตระหนักถึงประโยชน์ของการนำวัสดุที่ใช้แล้ว กลับมาใช้ใหม่ โดยการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมา ใช้ใหม่		
3.5 ความร่วมมือระดับโลกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการพัฒนาอย่างยั่งยืน		**มาตรฐาน ว 5.1** **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 1. สืบค้นและอธิบายข้อมูลลักษณะ ทางกายภาพของประเทศไทย ด้วยแผนที่ รูปถ่ายทางอากาศและภาพจากดาวเทียม 2. อธิบายลักษณะทางกายภาพที่ส่งต่อแหล่งทรัพยากรและสภานที่สำคัญในภูมิภาค	

ระดับประถมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์ สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
		มาตรฐาน ว 5.2 **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2** 2. จำแนกและ ใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วไม่หมดไป ที่ใช้แล้วหมดไป และสร้างทดแทนขึ้นใหม่ได้อย่างคุ้มค่า 4. มีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อมในโรงเรียน **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3** 1. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมของชุมชนในอดีตกับปัจจุบัน 2. อธิบายการใช้ประโยชน์จากสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติในการสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์และการประกอบอาชีพ 3. อธิบายสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษโดยมนุษย์ 6. มีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อมในชุมชน **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4** 2. วิเคราะห์อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดวิถีการดำเนินชีวิตในภูมิภาคของตน 3. นำเสนอแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในจังหวัด **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5** 3. นำเสนอตัวอย่างที่สะท้อนให้เห็นผลจากการรักษาและทำลายสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมในภูมิภาค **ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6** 2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของระเทศไทยในอดัตกับปัจจุบันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลง 3. นำเสนอตัวอย่างที่สะท้อนให้เป็นผลจากการรักษาและทำลายทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางในการจัดการที่ยั่งยืนในประเทศไทย	

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
ส่วนที่ 1: ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ			
1.1 สภาพภูมิอากาศและภูมิอากาศ	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 1. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการแบ่งชั้นบรรยากาศ และเปรียบเทียบประโยชน์ของบรรยากาศแต่ละชั้น 2. อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง องค์ประกอบของลมฟ้าอากาศ จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย 4. อธิบายการพยากรณ์อากาศ และพยากรณ์ อากาศอย่างง่ายจากข้อมูลที่รวบรวมได้ 5. ตระหนักถึงคุณค่าของการพยากรณ์อากาศ โดยนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตนและการใช้ ประโยชน์จากคำพยากรณ์อากาศ **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** 8. อธิบายการหมุนเวียนของอากาศ ที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความกดอากาศ 9. อธิบายทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นผลมาจากการหมุนรอบตัวเองของโลก 11. อธิบายปัจจัยที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ผิวหน้าในมหาสมุทร และรูปแบบการหมุนเวียน ของน้ำผิวหน้าในมหาสมุทร 12. อธิบายผลของการหมุนเวียนของอากาศ และน้ำผิวหน้าในมหาสมุทรที่มีต่อลักษณะภูมิอากาศ ลมฟ้าอากาศ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อากาศ (14 ชั่วโมง) - PM 2.5 มลพิษทางอากาศที่มีอันตรายต่อสุขภาพ (2 ชั่วโมง) - รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศรายวัน (1 ชั่วโมง) - ดัชนีคุณภาพอากาศ และความสำคัญของอากาศ (2 ชั่วโมง) - สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (3 ชั่วโมง) - สาเหตุการเกิดมลพิษทางอากาศ (3 ชั่วโมง) - ผลกระทบจากเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง)
1.2 ประเภทภูมิอากาศและเขตภูมิอากาศ	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** 7. อธิบายปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของโลก 10. อธิบายการหมุนเวียนของอากาศตามเขตละติจูด และผลที่มีต่อภูมิอากาศ		
1.3 สภาพอากาศในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรและเพราะเหตุใด			

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
1.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 6. อธิบายสถานการณ์และผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจากข้อมูลที่รวบรวมได้ 7. ตระหนักถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศโลก โดยนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตน ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** 13. อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศของโลก พร้อมทั้งนำเสนอแนวปฏิบัติ เพื่อลดกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการ เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก	**มาตรฐาน ส 5.1** ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 3. วิเคราะห์สาเหตุการเกิดภัยพิบัติและผลกระทบในทวีปเอเชีย ทวีปออสเตรเลียและโอเชียเนีย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 3. วิเคราะห์สาเหตุการเกิดภัยพิบัติและผลกระทบในทวีปยุโรปและทวีปแอฟริกา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 2. วิเคราะห์สาเหตุการเกิดภัยพิบัติและผลกระทบในทวีปอเมริกาเหนือ และทวีปอเมริกาใต้ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 2. วิเคราะห์ลักษณะ ทางกายภาพซึ่งทำให้ เกิดปัญหาและภัยพิบัติ ทางธรรมชาติในประเทศไทยและภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก	**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อากาศ (14 ชั่วโมง) - สาเหตุการเกิดมลพิษทางอากาศ (3 ชั่วโมง) - ผลกระทบจากเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (2 ชั่วโมง) **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** » ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (2 ชั่วโมง) » สภาพอากาศสุดขั้ว (1ชั่วโมง) » สภาวะโลกร้อน และผลกระทบ (2 ชั่วโมง) » วิธีการลดสภาวะโลกร้อน (1 ชั่วโมง) » ภัยพิบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ (1 ชั่วโมง) » การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง) » ภูมิอากาศโลก และภูมิอากาศไทย (2 ชั่วโมง) » ปัญหาสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง)
ส่วนที่ 2: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อโลกธรรมชาติและมนุษย์อย่างไร เราจะปรับตัวให้เข้ากับผลที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้หรือไม่?			
2.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อสภาพอากาศอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** 11. อธิบายปัจจัยที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ผิวหน้าในมหาสมุทร และรูปแบบการหมุนเวียน ของน้ำผิวหน้าในมหาสมุทร 12. อธิบายผลของการหมุนเวียนของอากาศ และน้ำผิวหน้าในมหาสมุทรที่มีต่อลักษณะภูมิอากาศ ลมฟ้าอากาศ สิ่งมีชีวิต และ สิ่งแวดล้อม		

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อพืชและสัตว์อย่างไร	**มาตรฐาน ว 1.1** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 1. อธิบายปฏิสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบนิเวศที่ได้จากการสำรวจ 2. อธิบายรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต กับสิ่งมีชีวิตรูปแบบต่าง ๆ ในแหล่งที่อยู่เดียวกัน ที่ได้จากการสำรวจ 3. สร้างแบบจำลองในการอธิบายการถ่ายทอด พลังงานในสายใยอาหาร 4. . อธิบายความสัมพันธ์ของผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบนิเวศ 5. อธิบายการสะสมสารพิษในสิ่งมีชีวิตในโซ่อาหาร 6. ตระหนักถึงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตและ สิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศ โดยไม่ทำลายสมดุล ของระบบนิเวศ **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** 1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความสัมพันธ์ของสภาพทางภูมิศาสตร์บนโลกกับความหลากหลายของไบโอม และยกตัวอย่างไบโอมชนิดต่างๆ 2. สืบค้นข้อมูล อภิปรายสาเหตุและยกตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงแทนที่ของระบบนิเวศ 3. สืบค้นข้อมูล อธิบายและยกตัวอย่างเกี่ยวกับ การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางชีวภาพที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากรสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ 4. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับปัญหา และผลกระทบที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางในการ อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม **มาตรฐาน ว 1.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 9. เปรียบเทียบความหลากหลายทางชีวภาพ ในระดับชนิดสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศต่าง ๆ 10. อธิบายความสำคัญของความหลากหลายทาง ชีวภาพที่มีต่อการรักษาสมดุลของระบบนิเวศและต่อมนุษย์ 11. แสดงความตระหนักในคุณค่าและความสำคัญ ของความหลากหลายทางชีวภาพ โดยมีส่วนร่วม ในการดูแลรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** 6. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นผลมาจากวิวัฒนาการ		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** » ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ความหลากหลายทางชีวภาพ (2 ชั่วโมง) » ความหลากหลายทางพันธุกรรมของพืช (1 ชั่วโมง) » ธนาคารเมล็ดพันธุ์ (6 ชั่วโมง) » การสร้างหลักประกัน การเข้าถึง และแบ่งปันผลประโยชน์ (1 ชั่วโมง) » ระบบนิเวศ การป้องกัน และการฟื้นฟู (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ การฟื้นฟู และการใช้ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ทรัพยากรชีวภาพ (1 ชั่วโมง) » ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ (1 ชั่วโมง) » เทคโนโลยีและธนาคารยีนของพืชสัตว์ (2 ชั่วโมง) » เศรษฐกิจใหม่ 6 ด้าน (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ และการใช้น้ำ (1 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรดิน การฟื้นฟูแผ่นดิน และทะเลทราย (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาฯ (2 ชั่วโมง) » การหยุดยั้งการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (1 ชั่วโมง) **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง)

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
	มาตรฐาน ว 3.2 **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** 12. อธิบายผลของการหมุนเวียนของอากาศ และน้ำผิวหน้าในมหาสมุทรที่มีต่อลักษณะภูมิอากาศ ลมฟ้าอากาศ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม		
2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อป่าไม้อย่างไร	**มาตรฐาน ว 1.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 6. ระบุปัจจัยที่จำเป็นในการสังเคราะห์ด้วยแสง และผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ 7. อธิบายความสำคัญของการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม 8. ตระหนักในคุณค่าของพืชที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม โดยการร่วมกันปลูกและดูแลรักษา ต้นไม้ในโรงเรียนและชุมชน 9. บรรยายลักษณะและหน้าที่ของไซเล็มและโฟลเอ็ม 10. เขียนแผนภาพที่บรรยายทิศทางการลำเลียงสารในไซเล็มและโฟลเอ็มของพืช 11. อธิบายการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศของพืชดอก 12. อธิบายลักษณะโครงสร้างของดอกที่มีส่วนทำให้เกิดการถ่ายเรณูรวมทั้งบรรยายการปฏิสนธิของพืชดอก การเกิดผล และเมล็ด การกระจายเมล็ด และการงอกของเมล็ด 13. ตระหนักถึงความสำคัญของสัตว์ที่ช่วยในการ ถ่ายเรณูของพืชดอก โดยการไม่ทำลายชีวิต ของสัตว์ที่ช่วยในการถ่ายเรณู 14. อธิบายความสำคัญของธาตุอาหารบางชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการดำรงชีวิตของพืช **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** 8. ทดสอบ และบอกชนิดของสารอาหารที่พืชสังเคราะห์ได้ 9. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และยกตัวอย่างเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสารต่าง ๆ ที่พืชบางชนิดสร้างขึ้น 10. ออกแบบการทดลอง ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** » ความหลากหลายทางชีวภาพ (2 ชั่วโมง) » ความหลากหลายทางพันธุกรรมของพืช (1 ชั่วโมง) » ธนาคารเมล็ดพันธุ์ (6 ชั่วโมง) » การสร้างหลักประกัน การเข้าถึง และแบ่งปันผลประโยชน์ (1 ชั่วโมง) » ระบบนิเวศ การป้องกัน และการฟื้นฟู (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ การฟื้นฟู และการใช้ระบบนิเวศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ทรัพยากรชีวภาพ (1 ชั่วโมง) » ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ (1 ชั่วโมง) » เทคโนโลยีและธนาคารยีนของพืชสัตว์ (2 ชั่วโมง) » เศรษฐกิจใหม่ 6 ด้าน (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ และการใช้น้ำ (1 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรดิน การฟื้นฟูแผ่นดิน และทะเลทราย (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาฯ (2 ชั่วโมง) » การหยุดยั้งการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (1 ชั่วโมง) **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง) » ภูมิอากาศโลก และภูมิอากาศไทย (2 ชั่วโมง) » ปัญหาสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง)

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
	มาตรฐาน ว 3.2 **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 6. อธิบายลักษณะของชั้นหน้าตัดดินและกระบวนการ เกิดดิน จากแบบจำลอง รวมทั้งระบุปัจจัย ที่ทำให้ดินมีลักษณะและสมบัติแตกต่างกัน 7. ตรวจวัดสมบัติบางประการของดิน โดยใช้เครื่องมือ ที่เหมาะสมและนำเสนอแนวทางการใช้ ประโยชน์ดินจากข้อมูลสมบัติของดิน		» การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง)
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อทรัพยากรน้ำอย่างไร	**มาตรฐาน ว 2.1** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 3. นำวิธีการแยกสารไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยบูรณาการวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 8. อธิบายปัจจัยและกระบวนการเกิดแหล่งน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดินจากแบบจำลอง 9. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการใช้น้ำและนำเสนอ แนวทางการใช้น้ำอย่างยั่งยืนในท้องถิ่นของตนเอง 10. สร้างแบบจำลองที่อธิบายกระบวนการเกิด และผลกระทบของน้ำท่วม การกัดเซาะชายฝั่ง ดินถล่ม หลุมยุบ แผ่นดินทรุด		**หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ทรัพยากรชีวภาพ (1 ชั่วโมง) » ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ (1 ชั่วโมง) » เทคโนโลยีและธนาคารยีนของพืชสัตว์ (2 ชั่วโมง) » เศรษฐกิจใหม่ 6 ด้าน (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ และการใช้น้ำ (1 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรดิน การฟื้นฟูแผ่นดิน และทะเลทราย (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาฯ (2 ชั่วโมง) » การหยุดยั้งการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (1 ชั่วโมง) **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง) » ภูมิอากาศโลก และภูมิอากาศไทย (2 ชั่วโมง) » ปัญหาสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 ปลอดโรค ปลอดภัย** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** » ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อาหาร น้ำดื่ม และสุขอนามัยที่จำเป็น (3 ชั่วโมง)

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเกษตรกรรมอย่างไร	**มาตรฐาน ว 1.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 15. เลือกใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารเหมาะสมกับพืชในสถานการณ์ที่กำหนด 16. เลือกวิธีการขยายพันธุ์พืชให้เหมาะสมกับความต้องการของมนุษย์โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ของพืช 17. อธิบายความสำคัญของเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ 18. ตระหนักถึงประโยชน์ของการขยายพันธุ์พืช โดยการนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** 11. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น และยกตัวอย่างการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านการเกษตรของพืช **มาตรฐาน ว 1.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 7. อธิบายการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม และผลกระทบที่อาจมีต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้ 8. ตระหนักถึงประโยชน์และผลกระทบของสิ่งมีชีวิต ดัดแปรพันธุกรรมที่อาจมีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยการเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีข้อมูลสนับสนุน **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** 5. สืบค้นข้อมูล และอภิปรายผลของเทคโนโลยี ทางดีเอ็นเอที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 6. อธิบายลักษณะของชั้นหน้าตัดดินและกระบวนการ เกิดดิน จากแบบจำลอง รวมทั้งระบุปัจจัย ที่ทำให้ดินมีลักษณะและสมบัติแตกต่างกัน 7. ตรวจวัดสมบัติบางประการของดิน โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมและนำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ดินจากข้อมูลสมบัติของดิน		

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.6 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคชายฝั่งอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 10. สร้างแบบจำลองที่อธิบายกระบวนการเกิด และผลกระทบของน้ำท่วม การกัดเซาะชายฝั่ง ดินถล่ม หลุมยุบ แผ่นดินทรุด		**หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (4 ชั่วโมง) » ภูมิอากาศโลก และภูมิอากาศไทย (2 ชั่วโมง) » ปัญหาสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (1 ชั่วโมง) » การบูรณาการเชิงนโยบายเพื่อแก้ปัญหาภูมิอากาศ (2 ชั่วโมง) » กลไกการพัฒนาคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างความตระหนักรู้รักษ์สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน (1 ชั่วโมง)
2.7 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคภูเขาอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 10. สร้างแบบจำลองที่อธิบายกระบวนการเกิด และผลกระทบของน้ำท่วม การกัดเซาะชายฝั่ง ดินถล่ม หลุมยุบ แผ่นดินทรุด		**หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ทรัพยากรชีวภาพ (1 ชั่วโมง) » ธนาคารทรัพยากรชีวภาพแห่งชาติ (1 ชั่วโมง) » เทคโนโลยีและธนาคารยีนของพืชสัตว์ (2 ชั่วโมง) » เศรษฐกิจใหม่ 6 ด้าน (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรน้ำ และการใช้น้ำ (1 ชั่วโมง) » ทรัพยากรป่าไม้ (2 ชั่วโมง) » ทรัพยากรดิน การฟื้นฟูแผ่นดิน และทะเลทราย (1 ชั่วโมง) » การอนุรักษ์ระบบนิเวศภูเขาฯ (2 ชั่วโมง) » การหยุดยั้งการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (1 ชั่วโมง)
2.8 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อภูมิภาคอาร์กติกอย่างไร			

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
2.9 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อเมืองและสุขภาพของมนุษย์อย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อากาศ (14 ชั่วโมง) - PM 2.5 มลพิษทางอากาศที่มีอันตรายต่อสุขภาพ (2 ชั่วโมง) - รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศรายวัน (1 ชั่วโมง) - ดัชนีคุณภาพอากาศ และความสำคัญของอากาศ (2 ชั่วโมง) - สาเหตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (3 ชั่วโมง) - สาเหตุการเกิดมลพิษทางอากาศ (3 ชั่วโมง) - ผลกระทบจากเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** » พลังงานสมัยใหม่ / พลังงานทดแทน / พลังงานหมุนเวียน พลังงานจากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 5 ประเภท (4 ชั่วโมง) » ปัญหาและผลกระทบจากการใช้พลังงาน (1 ชั่วโมง) » สถานการณ์พลังงานของโลก (2 ชั่วโมง) » ความหมายจริยธรรมสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » แนวคิดพื้นฐานของจริยธรรมสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของจริยธรรมต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างคุณธรรมและจริยธรรมต่อสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 ปลอดโรค ปลอดภัย** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อาหาร น้ำดื่ม และสุขอนามัยที่จำเป็น (3 ชั่วโมง)
2.10 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปัญหาสังคมอย่างไร	**มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และพายุหมุนเขตร้อน และผลที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งนำเสนอแนวทางการ ปฏิบัติตนให้เหมาะสมและปลอดภัย		

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
ส่วนที่ 3: การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นอันตราย			
3.1 แหล่งพลังงาน 'สีเขียว' **3.1.1 พลังงานคืออะไร?** **3.1.2 แหล่งพลังงานหลัก**			
3.1.3 เชื้อเพลิงฟอสซิล	**มาตรฐาน ว 2.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 6. อธิบายปฏิกิริยาการเกิดสนิมของเหล็ก ปฏิกิริยา ของกรดกับโลหะ ปฏิกิริยาของกรดกับเบส และปฏิกิริยาของเบสกับโลหะ โดยใช้หลักฐานเชิง ประจักษ์และอธิบายปฏิกิริยาการเผาไหม้ การเกิดฝนกรด การสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ สารสนเทศ รวมทั้งเขียนสมการข้อความแสดงปฏิกิริยาดังกล่าว 7. ระบุประโยชน์และโทษของปฏิกิริยาเคมีที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และยกตัวอย่าง วิธีการป้องกันและแก้ปัญหาที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ที่พบในชีวิตประจำวัน จากการสืบค้นข้อมูล 8. ออกแบบวิธีแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี โดยบูรณาการวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 1. เปรียบเทียบกระบวนการเกิดสมบัติและการใช้ประโยชน์รวมทั้งอธิบายผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2. แสดงความตระหนักถึงผลจากการใช้เชื้อเพลิง ซากดึกดำบรรพ์โดยนำเสนอแนวทางการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์		**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อากาศ (14 ชั่วโมง) - PM 2.5 มลพิษทางอากาศที่มีอันตรายต่อสุขภาพ (2 ชั่วโมง) - รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศรายวัน (1 ชั่วโมง) - ดัชนีคุณภาพอากาศ และความสำคัญของอากาศ (2 ชั่วโมง)
3.1.4 พลังงานนิวเคลียร์	**มาตรฐาน ว 2.1** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** 24. อธิบายสมบัติของสารกัมมันตรังสี และคำนวณ ครึ่งชีวิตและปริมาณของสารกัมมันตรังสี 25. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างประโยชน์ของสารกัมมันตรังสี และการป้องกันอันตรายที่เกิดจากกัมมันตภาพรังสี **มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** 1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายพลังงานนิวเคลียร์ ฟิชชันและฟิวชัน และความสัมพันธ์ระหว่างมวล กับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากฟิชชัน และฟิวชัน		

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**	**สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์**	**หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน**
3.1.5 แหล่งพลังงานหมุนเวียน	**มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** 2. สืบค้นข้อมูล และอธิบายการเปลี่ยนพลังงาน ทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและ อภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่นำมาแก้ปัญหา หรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงาน โดยเน้นด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่า ด้านค่าใช้จ่าย		**หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** » พลังงานสมัยใหม่ / พลังงานทดแทน / พลังงานหมุนเวียน พลังงานจากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 5 ประเภท (4 ชั่วโมง) » ปัญหาและผลกระทบจากการใช้พลังงาน (1 ชั่วโมง) » สถานการณ์พลังงานของโลก (2 ชั่วโมง) » ความหมายจริยธรรสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » แนวคิดพื้นฐานของจริยธรรมสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของจริยธรรมต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างคุณธรรมและจริยธรรมต่อสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง)
3.1.6 ข้อดีและข้อเสียของแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน	**มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** 2. สืบค้นข้อมูล และอธิบายการเปลี่ยนพลังงาน ทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและ อภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่นำมาแก้ปัญหา หรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงาน โดยเน้นด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่า ด้านค่าใช้จ่าย **มาตรฐาน ว 3.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 3. เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของพลังงาน ทดแทนแต่ละประเภทจากการรวบรวมข้อมูล และนำเสนอแนวทางการใช้พลังงานทดแทน ที่เหมาะสมในท้องถิ่น		**หน่วยที่ 2 รักษ์สิ่งแวดล้อม** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** » พลังงานสมัยใหม่ / พลังงานทดแทน / พลังงานหมุนเวียน พลังงานจากธรรมชาติที่เป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม 5 ประเภท (4 ชั่วโมง) » ปัญหาและผลกระทบจากการใช้พลังงาน (1 ชั่วโมง) » สถานการณ์พลังงานของโลก (2 ชั่วโมง) » ความหมายจริยธรรสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » แนวคิดพื้นฐานของจริยธรรมสิ่งแวดล้อม (1 ชั่วโมง) » ความสำคัญของจริยธรรมต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง) » การสร้างคุณธรรมและจริยธรรมต่อสิ่งแวดล้อม (2 ชั่วโมง)
3.2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการ ประหยัดพลังงาน **3.2.1 การขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม** **3.2.2 เครื่องใช้ในครัวเรือนและอุปกรณ์ไฟฟ้า**	**มาตรฐาน ว 2.3** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 9. ตระหนักในคุณค่าของการเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยนำเสนอวิธีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า อย่างประหยัดและปลอดภัย		
3.2.3 การก่อสร้างสีเขียว อาคารแบบ Passive และ Active **3.2.4 เมืองสีเขียว**	**มาตรฐาน ว 2.1** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5** 19. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอผลกระทบของการใช้ผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม พร้อมแนวทางป้องกันหรือแก้ไข		

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
3.3 การปล่อยคาร์บอน **3.4 ฉันจะช่วยโลกได้อย่างไร ลดการปล่อยคาร์บอน**			**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** » การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ (2 ชั่วโมง)
3.5 ความร่วมมือระดับโลกด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการพัฒนาอย่างยั่งยืน		**มาตรฐาน ส 5.2** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** 3. สืบค้น อภิปรายประเด็นปัญหาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางกายภาพกับมนุษย์ที่เกิดขึ้นในทวีปเอเชีย ทวีปออสเตรเลีย และโอเชียเนีย 4. วิเคราะห์แนวทางการจัดการภัยพิบัติและการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ในทวีปเอเชีย ทวีปออสเตรเลีย และโอเชียเนียที่ยั่งยืน **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** 3. สืบค้น อภิปรายประเด็นปัญหาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางกายภาพกับมนุษย์ที่เกิดขึ้นในทวีปยุโรปและทวีปแอฟริกา 4. วิเคราะห์แนวทางการจัดการภัยพิบัติและการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ในทวีปยุโรปและทวีปแอฟริกาที่ยั่งยืน **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3** 3. สืบค้น อภิปรายประเด็นปัญหาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางกายภาพกับมนุษย์ที่เกิดขึ้นในทวีปอเมริกาเหนือและทวีปอเมริกาใต้ 4. วิเคราะห์แนวทางการจัดการภัยพิบัติและการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ในทวีปอเมริกาเหนือและทวีปอเมริกาใต้ที่ยั่งยืน 5. ระบุความร่วมมือระหว่างประเทศที่มีผลต่อการจัดการทรัพยากร และสิ่งแวดล้อม	**หน่วยที่ 2 สิ่งแวดล้อมศึกษา** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2** » การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ (2 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 ปลอดโรค ปลอดภัย** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1** » อาหาร น้ำดื่ม และสุขอนามัยที่จำเป็น (3 ชั่วโมง) **หน่วยที่ 5 สุขภาวะดี วิถีบางกอก** **1. สาระการเรียนรู้ในห้องเรียน** **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4** » ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และการป้องกัน (3 ชั่วโมง)

ระดับมัธยมศึกษา			
หัวข้อในชุดเครื่องมือการเรียนรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	สาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม: ภูมิศาสตร์	หลักสูตร BMA ด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน
		ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 1. วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ กับกิจกรรมของมนุษย์ ในการสร้างสรรค์วิถีการดำเนินชีวิตของท้องถิ่น ทั้งในประเทศไทยและภูมิภาคต่างๆ ของโลก และเห็นความสำคัญของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ 2. วิเคราะห์สถานการณ์ สาเหตุ และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยและภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก 3. ระบุมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหากฎหมายและนโยบายด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม บทบาทขององค์การที่เกี่ยวข้อง และการประสานความร่วมมือทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ 4. วิเคราะห์แนวทางและมีส่วนร่วมในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน	

สาระที่ 4: เทคโนโลยี

โปรดทราบ: เมื่อนักเรียนมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาผ่านประสบการณ์การเรียนรู้แบบเน้นปัญหาและโครงงานเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือการพัฒนาอย่างยั่งยืน นักเรียนจะใช้มาตรฐานและตัวบ่งชี้ของหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐานดังต่อไปนี้:

มาตรฐาน ว 4.1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

2. ระบุปัญหาหรือความต้องการในชีวิตประจำวัน รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา โดยวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จำเป็น นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาให้ผู้อื่นเข้าใจ วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 4. ทดสอบ ประเมินผล และระบุข้อบกพร่อง ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข และนำเสนอผลการแก้ปัญหา 5. ใช้ความรู้และทักษะเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ กลไก ไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และปลอดภัย

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

2. ระบุปัญหาหรือความต้องการในชุมชนหรือ ท้องถิ่น สรุปกรอบของปัญหา รวบรวม วิเคราะห์ ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา โดยวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จำเป็น ภายใต้เงื่อนไขและทรัพยากรที่มีอยู่ นำเสนอ แนวทางการแก้ปัญหาให้ผู้อื่นเข้าใจ วางแผน ขั้นตอนการทำงานและดำเนินการแก้ปัญหา อย่างเป็นขั้นตอน

4. ทดสอบ ประเมินผล และอธิบายปัญหาหรือ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ภายใต้กรอบเงื่อนไข พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข และ นำเสนอผลการแก้ปัญหา

5. ใช้ความรู้และทักษะเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ กลไก ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และปลอดภัย

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2. ระบุปัญหาหรือความต้องการของชุมชนหรือ ท้องถิ่น เพื่อพัฒนางานอาชีพ สรุปกรอบของ ปัญหา รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลและแนวคิด ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยคำนึงถึงความถูกต้อง ด้านทรัพย์สินทางปัญญา

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา โดยวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จำเป็น ภายใต้เงื่อนไขและทรัพยากรที่มีอยู่ นำเสนอ แนวทางการแก้ปัญหาให้ผู้อื่นเข้าใจด้วยเทคนิค หรือวิธีการที่หลากหลายวางแผนขั้นตอน การทำงานและดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน

4. ทดสอบ ประเมินผล วิเคราะห์และให้เหตุผล ของปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใต้ กรอบเงื่อนไข พร้อมทั้งหาแนวทางการปรับปรุง แก้ไข และนำเสนอผลการแก้ปัญหา

5. ใช้ความรู้และทักษะเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ กลไก ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ให้ถูกต้องกับลักษณะของงาน และปลอดภัย เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางาน

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. ระบุปัญหาหรือความต้องการที่มีผลกระทบต่อ สังคม รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลและแนวคิด ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่มีความซับซ้อน เพื่อสังเคราะห์วิธีการ เทคนิคในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงความถูกต้องด้านทรัพย์สินทางปัญญา

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา โดยวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จำเป็น ภายใต้เงื่อนไขและทรัพยากรที่มีอยู่ นำเสนอ แนวทางการแก้ปัญหาให้ผู้อื่นเข้าใจด้วยเทคนิค หรือวิธีการที่หลากหลาย โดยใช้ซอฟต์แวร์ ช่วยในการออกแบบ วางแผนขั้นตอนการทำงานและดำเนินการแก้ปัญหา

4. ทดสอบ ประเมินผล วิเคราะห์และให้เหตุผล ของปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใต้ กรอบเงื่อนไข หาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข และนำเสนอผลการแก้ปัญหา พร้อมทั้งเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอด

5. ใช้ความรู้และทักษะเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ กลไก ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยีที่ซับซ้อนในการแก้ปัญหา หรือพัฒนางาน ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมและปลอดภัย

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

1. ประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะจากศาสตร์ต่าง ๆ รวมทั้งทรัพยากรในการทำโครงงานเพื่อแก้ปัญหา หรือพัฒนางาน

โปรดทราบ: หากนักเรียนมีส่วนร่วมในการวิจัยโดยใช้อินเทอร์เน็ตและใช้สื่อจากอินเทอร์เน็ตเพื่อแก้ไขปัญหาเป็นส่วนหนึ่งของโครงงาน นักเรียนจะต้องนำมาตรฐานและตัวบ่งชี้ของหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐานต่อไปนี้มาใช้ด้วย

มาตรฐาน ว 4.2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

3. รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิประมวลผล ประเมินผล นำเสนอข้อมูล และสารสนเทศตามวัตถุประสงค์ โดยใช้ซอฟต์แวร์หรือบริการบนอินเทอร์เน็ต ที่หลากหลาย4. ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างปลอดภัย ใช้สื่อ และแหล่งข้อมูลตามข้อกำหนดและข้อตกลง

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

3. อภิปรายองค์ประกอบและหลักการทำงานของ ระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการสื่อสาร เพื่อประยุกต์ใช้งานหรือแก้ปัญหาเบื้องต้น

4. ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างปลอดภัย มีความ รับผิดชอบ สร้างและแสดงสิทธิในการเผยแพร่ผลงาน

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2. รวบรวมข้อมูล ประมวลผล ประเมินผล นำเสนอ ข้อมูลและสารสนเทศตามวัตถุประสงค์โดยใช้ ซอฟต์แวร์หรือบริการบนอินเทอร์เน็ตที่หลากหลาย
3. ประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูล วิเคราะห์สื่อ และผลกระทบจากการให้ข่าวสารที่ผิด เพื่อการใช้งานอย่างรู้เท่าทัน
4. ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างปลอดภัย และมีความรับผิดชอบต่อสังคม ปฏิบัติตามกฎหมายเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ใช้ลิขสิทธิ์ของผู้อื่นโดยชอบธรรม

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

1. ประยุกต์ใช้แนวคิดเชิงคำนวณในการพัฒนา โครงงานที่มีการบูรณาการกับวิชาอื่นอย่างสร้างสรรค์และเชื่อมโยงกับชีวิตจริง

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

1. รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และใช้ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์สื่อดิจิทัล เทคโนโลยี สารสนเทศในการแก้ปัญหาหรือเพิ่มมูลค่าให้กับบริการหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตจริงอย่างสร้างสรรค์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

1. ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการนำเสนอ และแบ่งปันข้อมูลอย่างปลอดภัย มีจริยธรรม และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีผลต่อการดำเนินชีวิต อาชีพ สังคม และวัฒนธรรม

รายการภาพประกอบ

- ปกหน้า Natan Giuliano
- หน้า 2 การ์ตูนสัญลักษณ์: Anna Alekperova และ Natan Giuliano
- หน้า 6 Anna Alekperova, Natan Giuliano และ UNDP-GCF “Armenia’s National Adaptation Plan” Project
- หน้า 7: ภาพถ่ายได้รับความเอื้อเฟื้อจาก courtesy of T. Stocker
- หน้า 9-10 Natan Giuliano
- หน้า 12 ภาพที่ 1.1: NASA, https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/
- หน้า 14 ภาพที่ 1.2: IPCC Assessment Report 6. Climate Change 2023. Synthesis Report: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- หน้า 16 ภาพที่ 1.1.1: Peel, M. C., Finlayson, B. L., และ McMahon, T. A. แผนที่โลกฉบับปรับปรุงใหม่แสดงการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิพเพิน-ไกเกอร์ (ภูมิภาคเอเชียกลาง) ภาพจาก Wikipedia ภาพถ่าย (ล่าง): Shutterstock.com
- หน้า 17 ภาพถ่าย: P. Kosmider, Shutterstock.com
- หน้า 18 ภาพที่ 1.2.1: Wikipedia
- หน้า 20 ตารางที่ 1.2.1: คณะผู้เขียนเรียบเรียง
- หน้า 21 ภาพถ่าย (บน): R. Loesche, Shutterstock.com ภาพถ่าย (กลาง): Semork, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): apdesign, Shutterstock.com
- หน้า 22 ภาพถ่าย (บน): A. Latsun, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): R. Donar, Shutterstock.com
- หน้า 23 ภาพถ่าย (บน): Susan R. Serna, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): Axily, Shutterstock.com
- หน้า 24 ภาพที่ 1.2.2: NASA. ภาพที่ 1.2.3: T. Skambos, National Research Centre for Snow and Ice, USA ภาพที่ 1.2.4: I. Frolov, Arctic and Antarctic Institute ภาพที่ 1.2.5: J. Sullivan, Wikipedia
- หน้า 27 ปริศนาอักษรไขว้: คณะผู้เขียนเรียบเรียงจากฉบับภาษารัสเซียของ S. Korshchikova
- หน้า 28. ภาพ (ซ้าย): M. Anton, Public Library of Science, ใน Wikipedia ภาพถ่าย (ขวา): H. Grobe, Wikipedia ภาพที่ 1.3.1: A.O. Kokorin, E.V. Smirnova, D.G. Zamolodchikov. Climate Change. Book for High School Teachers. - Moscow: 2013. 220 หน้า
- หน้า 29 ภาพที่ 1.3.2: ภาพถ่าย (ซ้ายและบนขวา): M. Dunn, NOAA Climate Program Office, NABOS 2006 Expedition ภาพถ่าย (ล่างขวา): L. Koenig, NASA
- หน้า 30 ภาพที่ 1.3.3: A. Alekperova. ภาพที่ 1.3.4: http://school-collection.lyceum62.ru
- หน้า 31 ภาพ: Catmando, Shutterstock.com.
- หน้า 32 ภาพที่ 1.3.5: J. Hansen และ M. Sato, 2011: Paleoclimate implications for human-made climate change ใน Climate Change: Inferences from PaleoClimate and Regional Aspects. Berger, Andre; Mesinger et al. - Springer, 2012. - 270 หน้า http://www.springer.com/
- หน้า 33 ภาพที่ 1.3.6: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. www.ipcc.ch ภาพที่ 1.3.7: R. Blakey, http://www.cpgeosystems.com
- หน้า 35 ภาพที่ 1.3.8: http://www.britishmuseum.org
- หน้า 36 ภาพถ่าย: A. Jack, Shutterstock.com ภาพที่ 1.3.9: http://earthobservatory.nasa.gov/
- หน้า 37 ภาพถ่าย: Y. Kumsri, Shutterstock.com
- หน้า 40 ภาพที่ 1.4.1: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom และ New York, NY, USA, 2391 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- หน้า 41 ภาพที่ 1.4.2: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. / T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. www.ipcc.ch
- หน้า 42 ภาพที่ 1.4.3: http://climate.nasa.gov/evidence/
- หน้า 43 ภาพที่ 1.4.4: A.O. Kokorin, E.V. Smirnova, D.G. Zamolodchikov, Climate Change. Book for High School Teachers. - Moscow: 2013. - 220 หน้า
- หน้า 44 ภาพที่ 1.4.5: The World Meteorological Organization, 2023. https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record ภาพที่ 1.4.6: The World Meteorological Organization, State of Global Climate 2022: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate
- หน้า 45 ภาพที่ 1.4.7: ภาพถ่ายจากซ้ายไปขวา: Saiho/Pixabay, olegkamenskij20120/Pixabay, USGS. Image design: NASA. JPL-Caltech
- หน้า 46 ภาพที่ 1.4.8: D. Belyukin, http://www.belukin.ru
- หน้า 48 ภาพที่ 1.4.9: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom และ New York, NY, USA, 2391 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- หน้า 50 ภาพถ่าย: H. Grobe, Wikipedia.
- หน้า 52 ภาพถ่าย (บนซ้าย): Wikipedia ภาพถ่าย (บนขวา): Wutthichai, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): pmau, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่างขวา): P. Litovchenko
- หน้า 53 ภาพที่ 2.1: A. Alekperova, V. Berdin, Y. Dobrolyubova, Y. Kalinicheva, A. Kokorin.
- หน้า 54 ภาพที่ 2.2: World Resource Institute (https://wri-indonesia.org/en/insights/10-big-findings-2023-ipcc-report-climate-change) referring to IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

- หน้า 55 ภาพที่ 2.3: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation และ Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- หน้า 58 ภาพที่ 2.4: UNDP-GCF “Armenia’s National Adaptation Plan” Project
- หน้า 59 ภาพที่ 2.1.1: V. Kantor.
- หน้า 60 ภาพที่ 2.1.2: Earth Observatory to the NASA by Lauren Dauphin
- หน้า 61 ภาพถ่าย (บนซ้าย): http://earthobservatory.nasa.gov ภาพถ่าย (บนขวา): T. Shoemake, Shutterstock.com. ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): Wikipedia ภาพถ่าย (ล่างขวา): B. Sosnovy, Shutterstock.com
- หน้า 63 ภาพที่ 2.1.3: Muhammad J. Elalwany/AP
- หน้า 65 ภาพที่ 2.1.4: Natan Giuliano อ้างอิง NASA, Facts, https://climate.nasa.gov/extreme-climate
- หน้า 68 ภาพถ่าย: เครดิต Jose Jimenez/Getty Images
- หน้า 69 ภาพถ่าย (บน): D.J. Rao, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): T. Th. Walther, Wikipedia
- หน้า 71 ภาพถ่าย: ChameleonsEye, Shutterstock.com
- หน้า 72 ภาพถ่าย (ซ้าย): https://unsplash.com ภาพถ่าย (ขวา): S. Tulinov
- หน้า 73 ภาพถ่าย (บน): Wikipedia ภาพถ่าย (ล่าง): MarcusVDT, Shutterstock.com
- หน้า 74 ภาพตัดแปะ: A. Alekperova จากภาพประกอบใน Wikipedia
- หน้า 77 ภาพถ่าย (ภาพแรก): Xocolatl, Wikipedia ภาพถ่าย (ภาพที่สอง): N. Tomura, Wikipedia ภาพถ่าย (ภาพที่สาม): Wilson44691, Wikipedia ภาพถ่าย (ภาพที่สี่): D. Bogdanov, Wikipedia
- หน้า 78 ภาพถ่าย (บน): jamon jp, Wikipedia. ภาพถ่าย (ล่าง). หน้า Kapitola, State Phytosanitary Administration, Bugwood.org
- หน้า 79 ภาพถ่าย (บน): Fraan, Photobucket.com ภาพถ่าย (ล่าง): Smithsonian National Museum of Natural History.
- หน้า 80 ภาพถ่าย (บน): Vlad61, Shutterstock. com ภาพถ่าย (ล่าง): S. Baron, Wikipedia
- หน้า 81 ภาพถ่าย (ภาพแรก): S. Uryadnikov, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ภาพที่สอง): martinhlavacek79, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ภาพที่สาม): Argus fin, Wikipedia
- หน้า 82 ภาพถ่าย (บน): edmon, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): elitravo, Shutterstock.com
- หน้า 83 ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): M. Opp, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่างกลาง): Silky, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่างขวา): freestock.ca
- หน้า 84 ภาพถ่าย (ภาพแรก): Lorcel, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ภาพที่สอง): https://unsplash.com ภาพถ่าย (ภาพที่สาม): MarkVanDykePhotography, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ภาพที่สี่): L. Galuzzi
- หน้า 85 ภาพถ่าย (บน): S. Myatyashev, http://stasmat.livejournal.com/15402.html?thread=77610 ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): Forestry Department Rothaarge-birge ภาพถ่าย (ล่าง ขวา): M. Manske, Wikipedia
- หน้า 86 ภาพถ่าย (ภาพแรก): SNEHIT, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ภาพที่สอง): http://www.destination360.com/north-america/us/utah/zion-national-parklodging ภาพถ่าย (ภาพที่สาม): http://www.taganay.org ภาพถ่าย (ภาพที่สี่): A. Martynova, Shutterstock.com
- หน้า 87 ภาพถ่าย: http://pohod.h12.ru/FOTOAlbom/Taganay/f_t_21.jpg
- หน้า 88 ภาพถ่าย (ซ้ายและขวา): http://www.laparios.com
- หน้า 89 ภาพถ่าย: IUCN
- หน้า 90 ภาพที่ 2.2.1: Global Commission on Adaptation 2019 and WRI.
- หน้า 93 ภาพที่ 2.3.1: ที่มา: MA 2005. แผนที่ออกแบบโดย Emmanuelle Bournay, Paris.
- หน้า 94 ภาพที่ 2.3.2: http://blog.pershyn.name/2011/09/2011.html
- หน้า 95 ภาพที่ 2.3.3 และ 2.3.4: D. Zamolodchikov.
- หน้า 96 ภาพที่ 2.3.5: Shiyatov, 2009 ภาพถ่าย (ล่าง): El Misti, Wikipedia
- หน้า 97 ภาพที่ 2.3.6: J.F. Stuefer, Wikipedia
- หน้า 98 ภาพที่ 2.3.7: Fishlin et al., 2007.
- หน้า 99 ภาพที่ 2.3.8. (ซ้าย): www.rosleskhoz.gov.ru (ขวา): https://unsplash.com ภาพที่ 2.3.9: D. Zamolodchikov
- หน้า 100 ภาพที่ 2.3.10: D. Zamolodchikov.
- หน้า 102 ภาพที่ 2.3.11: D. Zamolodchikov ภาพที่ 2.3.12 และ 2.3.13: V. Kaganov
- หน้า 103 ภาพที่ 2.3.14: D. Zamolodchikov
- หน้า 104 ภาพที่ 2.3.15: D. Zamolodchikov
- หน้า 105 ภาพที่ 2.3.16: V. Kaganov
- หน้า 106 ภาพที่ 2.3.17 และ ภาพที่ 2.3.18: D. Zamolodchikov
- หน้า 107 ภาพที่ 2.3.19: The State of the Forests of Papua New Guinea, 2008.
- หน้า 108 ภาพถ่าย: A. Fedorov, Shutterstock.com.
- หน้า 110 ภาพที่ 2.3.20 และ 2.3.21: D. Zamolodchikov.
- หน้า 114 ภาพถ่าย (บน): T. Spider, Shutterstock.com ภาพที่ 2.4.1: http://www.astronet.ru/db/msg/1224153
- หน้า 115 ภาพที่ 2.4.2: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation และ Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- หน้า 116 ภาพถ่าย (บน): S. Tulinov ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): L. Nunes, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่างขวา): G. Paire, Shutterstock.com
- หน้า 117 ภาพที่ 2.4.3: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, et al. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3,056 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

- หน้า 118 ภาพที่ 2.4.4: Wikipedia.
- หน้า 119 ภาพที่ 2.4.5: Wikipedia (ซ้าย) N. Palmer, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), http://flickr.com/photos/38476503@N08/5641586406 (ขวา) ภาพที่ 2.4.6: E. Harrison, National Geographic Magazine, Volume 31 (1917), หน้า 272 (ซ้าย) Rjruiziii, Wikipedia (ขวา) ภาพที่ 2.4.7: Katvic, Shutterstock.com
- หน้า 120 ภาพที่ 2.4.8: Water Supply report by National Climate Assessment, USA http://nca2014.globalchange.gov/report ภาพที่ 2.4.9: A. Bezlepkin
- หน้า 121 ภาพที่ 2.4.10: Octal, Wikipedia
- หน้า 122 ภาพที่ 2.4.11: BK Bates et al. Climate change and water resources. IPCC Technical Paper. – Geneva 2008
- หน้า 124 ภาพถ่าย: N. Palmer, Wikipedia
- หน้า 125 ภาพถ่าย: V. Salman, Shutterstock.com
- หน้า 126 ภาพถ่าย: Ratikova, Shutterstock.com
- หน้า 127 ภาพถ่าย (บนซ้าย): R. Jary, Shutterstock.com ภาพถ่าย (บนขวา): Gleizes ภาพถ่าย (กลาง): I. Strukov, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): J. Tran, Shutterstock.com
- หน้า 128 ภาพถ่าย: A. Bondarets, Shutterstock.com
- หน้า 129 ภาพที่ 2.5.1: https://heliovolt.net/blog/smart-irrigation-system-techniques-a-step-ahead-in-water-conservation
- หน้า 131 ภาพถ่าย: B. Jevtic, Shutterstock.com
- หน้า 132 ภาพถ่าย: zstock, Shutterstock.com
- หน้า 133 ภาพที่ 2.6.1: S. Tulinov ภาพที่ 2.6.2: JaySi, Shutterstock.com
- หน้า 134 ภาพที่ 2.6.3: R. Rowley, J. Kostelnick, D. Braaten et al. Risk of rising sea level to population and land area. 2007
- หน้า 135 ภาพที่ 2.6.4: Z. Pereira da Mata, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): R. Whitcombe, Shutterstock.com
- หน้า 136 ภาพที่ 2.6.5: Wikipedia ภาพที่ 2.6.6: A. Kolotilin. ภาพที่ 2.6.7: N. Mitchell, Shutterstock.com
- หน้า 137 ภาพที่ 2.6.8: Evaluation report 'Key environmental and socio-economic effects of climate change in permafrost areas: a forecast based on synthesis of observations and modelling'. Ed. O. Anisimov. - SPb: State Hydrological Institute, 2009 ภาพที่ 2.6.9: M. Grigoriev (ibid) ภาพถ่าย (ล่าง): Lippert Photography, Shutterstock.com
- หน้า 138 ภาพถ่าย: AlinaMD, Shutterstock.com ภาพที่ 2.6.10: http://peakwatch.typepad.com/.a/6a00d83452403c69e20154358c6598970c-pi
- หน้า 139 ภาพที่ 2.6.11: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the IPCC/ T. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. www.ipcc.ch ภาพที่ 2.6.12: แผนภูมิ: http://oceanadapt.rutgers.edu ภาพปลาแบสดำ: Encyclopaedia Britannica, http://global.britannica.com/media/full/530475/132944
- หน้า 140. ภาพถ่าย (จากซ้าย): ermess, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ขวา): withGod, Shutterstock.com
- หน้า 142 ภาพถ่าย: S. Ilyas, Wikipedia
- หน้า 143 ภาพถ่าย: momanuma, Shutterstock.com
- หน้า 144 ภาพที่ 2.7.1: A. Alekperova และ Yu. Dobrolyubova ใช้ภาพจาก http://900igr.net/datai/geografija ภาพถ่าย (ซ้าย): https://unsplash.com ภาพถ่าย (ขวา): https://unsplash.com
- หน้า 145 ภาพที่ 2.7.2: Wikipedia ภาพที่ 2.7.3: A. Egorov, Shutterstock.com
- หน้า 146 ภาพที่ 2.7.4: The World Glacier Monitoring Service (WGMS)
- หน้า 147 ภาพที่ 2.7.5: Wikipedia
- หน้า 148 ภาพที่ 2.7.6: The World Glacier Monitoring Service (WGMS): https://wgms.ch/global-glacier-state ภาพที่ 2.7.7: M. Hëltsle, University of Zurich, The World Glacier Monitoring Service (WGMS) ภาพที่ 2.7.8: NASA ภาพที่ 2.7.9: NASA
- หน้า 149 ภาพที่ 2.7.10: Y. Dobrolyubova
- หน้า 150 ภาพที่ 2.7.11: V. Kantor
- หน้า 151 ภาพถ่าย (ซ้าย): A. Gl, Shutterstock.com. ภาพถ่าย (ขวา): M. Topchiy, Shutterstock.com ภาพที่ 2.7.12. A. Alekperova, Y. Dobrolyubova G. Tushinskaya
- หน้า 152 ภาพที่ 2.7.13: (บน): M. Topchiy, Shutterstock.com (ล่าง): V. Kantor ภาพที่ 2.7.14: L. Gridinoc, Wikipedia
- หน้า 153 ภาพที่ 2.7.15: ภาพถ่าย (ซ้าย): ANA Peru ภาพถ่าย (ขวา): Dtarazona, Wikipedia
- หน้า 154 ภาพที่ 2.7.16: NASA ภาพที่ 2.7.17: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 2007. M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof et al. - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA หน้า 155 ภาพถ่าย (ซ้าย): Pikoso.kz, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ขวา): D. Lynch, Shutterstock.com.
- หน้า 157 สำเนาภาพถ่าย: Wikipedia
- หน้า 159 ภาพถ่าย: S. Dobrolyubov
- หน้า 160 ภาพที่ 2.8.1: http://www.athropolis.com/map2.htm.
- หน้า 162 ภาพที่ 2.8.2: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2,391 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- หน้า 163 ภาพที่ 2.8.3: NASA/Goddard Space Flight Centre Scientific Visualization Studio ข้อมูลเรื่องหินอ่อนสีน้ำเงินได้รับความเอื้อเฟื้อจาก Reto Stockli
- หน้า 164 ภาพที่ 2.8.4: A. Kokorin
- หน้า 165 ภาพถ่าย: J. McDonald, Shutterstock.com ภาพที่ 2.8.5: C. Accardo, AP photo/NOAA
- หน้า 166 ภาพถ่าย: D. Pilipenko, Shutterstock.com

- หน้า 167 ภาพที่ 2.8.6: J. Shaw, http://www.johnshawphoto.com
- หน้า 168 ภาพที่ 2.8.7: N. Shiklomanov. Evaluation report: Key environmental and socio-economic impacts of Climate Change in permafrost areas: a forecast based on synthesis of observations and modelling'. Ed. O. Anisimov. SPb: State Hydrological Institute, 2009 ภาพที่ 2.8.8: ibid ภาพที่ 2.8.9: D. Drozdov, ibid.
- หน้า 169 ภาพที่ 2.8.10: V. Romanovsky, ibid. ภาพที่ 2.8.11: M. Grigoriev, ibid.
- หน้า 170 ภาพที่ 2.8.12: V. Romanovsky, Past and Present and Future Changes in Permafrost and Implications for a Changing Carbon Budget. Environmental Science Seminar Series, 2008, American Meteorological Society
- หน้า 171 ภาพที่ 2.8.13. และ 2.8.14: N. Shiklomanov, Evaluation report: Key environmental and socio-economic impacts of Climate Changes in permafrost areas: a forecast based on the synthesis of observations and modelling. Ed. O. Anisimov. SPb: State Hydrological Institute, 2009.
- หน้า 172 ภาพที่ 2.8.15: ภาพถ่าย (ซ้าย): G. Baturova; ภาพถ่าย (ขวา): A. Walk, Wikipedia
- หน้า 173 ภาพถ่าย (ซ้าย): https://unsplash.com ภาพถ่าย (ขวา): https://unsplash.com
- หน้า 174 ภาพที่ 2.8.16: IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom และ New York, NY, USA, 2,391 หน้า https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- หน้า 175 ภาพถ่าย: S. Dobrolyubov
- หน้า 178 ภาพที่ 2.9.1: F. Schmidt, Ellen J. Beer et al. (eds.), Berns grosse Zeit
- หน้า 179 ภาพถ่าย: KPG_Payless, Shutterstock.com ภาพที่ 2.9.2: A. Alekperova และ Y. Dobrolyubova โดยใช้ https://population.un.org/wup/Maps
- หน้า 180 ตารางที่ 2.9.1: A. Alekperova ใช้ข้อมูลจาก World Urbanization Study, 2018. https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf และ ภาพที่ 2.9.3: https://unsplash.com
- หน้า 181 ภาพถ่าย (ซ้าย): 1000 Words, Shutterstock.com. ภาพถ่าย (ขวา): P. Rogat, Shutterstock.com
- หน้า 182 ภาพที่ 2.9.4: US Global Change Research Program (USGCRP), 2009. สำเนาภาพเขียน (ล่าง): Wikipedia.
- หน้า 183 ภาพที่ 2.9.5: Centre for Health Research School of Medicine, http://climatehealthcluster.org/wp-content/uploads/2013/06/Bambrick_Hi- lary_080813.pdf
- หน้า 185 ภาพถ่าย: ChameleonsEye, Shutterstock.com
- หน้า 186 ภาพถ่าย (จากซ้าย): SW Stock, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ขวา): A. Ruzhin, Shutterstock.com
- หน้า 187 ภาพที่ 2.9.6: B. Revich
- หน้า 189 ภาพที่ 2.9.7: The Nature Conservancy, ภาพถ่ายโดย Greg Kahn: https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/stormwater-solutions-investing-in-nature-and-communities
- หน้า 191 ภาพถ่าย: https://unsplash.com
- หน้า 192 ภาพถ่าย (ซ้าย): anandoart / Shutterstock ภาพถ่าย (ขวา): Wikipedia
- หน้า 193 ภาพถ่าย (ซ้าย): https://unsplash.com ภาพถ่าย (ขวา): G. Paire, Shutterstock.com
- หน้า 195 ภาพถ่าย (บน): H. Conesa, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): P. HaSon, Shutterstock.com
- หน้า 197 ภาพที่ 2.10.1: T. Hakala, Shutterstock.com ภาพที่ 2.10.2: S. Gulec, Shutterstock.com ภาพที่ 2.10.3: R. Whitcombe, Shutterstock.com
- หน้า 198 ภาพถ่าย: VVO, Shutterstock.com
- หน้า 199 ภาพที่ 2.10.4: UNDP report, Charting a New Low-Carbon Route to Development. - Moscow: UNDP, 2009
- หน้า 203 ภาพที่ 3.1.1: จากต้นฉบับใน http://keelingcurve.uesd.edu
- หน้า 207 ภาพที่ 3.1.2: A. Alekperova, E. Gracheva, Yu. Dobrolyubova
- หน้า 208 ภาพที่ 3.1.3: tno.nl
- หน้า 209 ภาพถ่าย (ซ้าย): huyangshu, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ขวา): https://unsplash.com
- หน้า 210 ภาพที่ 3.1.4: A. Alekperova. ภาพถ่าย: N. Vinokurov, Shutterstock.com
- หน้า 211 ภาพที่ 3.1.5: IEA, 2021. www.iea.org
- หน้า 212 ภาพถ่าย (บน): K. Black, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่าง): เอื้อเฟื้อโดยคณะผู้เขียน
- หน้า 213 ภาพที่ 3.1.6: http://www.world-nuclear.org ตารางที่ 3.1 จากข้อมูลของสหภาพยุโรป
- หน้า 214 ภาพ: A. Alekperova
- หน้า 215 ภาพถ่าย (บน): overcrew, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง): KPG Payless2, Shutterstock.com
- หน้า 216 ภาพถ่าย: M. Lisner, Shutterstock.com
- หน้า 217 ภาพที่ 3.1.7: ทั้งสองภาพจาก Wikipedia
- หน้า 218 ตารางที่ 3.2: IRENA, 2022.
- หน้า 219 ภาพถ่าย: CSIRO, http://www.scienceimage.csiro.au/pages/about
- หน้า 220 ภาพถ่าย: Chixoy, Wikipedia
- หน้า 221 ภาพถ่าย: Wikipedia
- หน้า 222 ภาพถ่าย (ซ้าย): Y. Dobrolyubova. ภาพถ่าย (ขวา): เอื้อเฟื้อโดยคณะผู้เขียน
- หน้า 223 ภาพถ่าย: D. Dixon, Geography project collection: https://www.geograph.org.uk/photo/2391702
- หน้า 224 ภาพที่ 3.1.7: Wikipedia (ทั้งสองภาพ)
- หน้า 225 ภาพถ่าย: Arnold C., Wikipedia ภาพที่ 3.1.8: Wikipedia
- หน้า 226 ภาพที่ 3.1.9. M. Grmek, Wikipedia ภาพที่ 3.1.10: Le Grand Portage, Wikipedia ภาพที่ 3.1.11: Wikipedia
- หน้า 227 ภาพถ่าย: http://oceanrusenergy.ru/Gallery

- หน้า 228 ภาพถ่าย: Dani 7C3, Wikipedia
- หน้า 229 ภาพถ่าย (บน): S. Tulinov ภาพที่ 3.1.12: เอื้อเฟื้อโดยคณะผู้เขียน
- หน้า 231 ภาพถ่าย: Wikipedia.
- หน้า 232 ภาพถ่าย (ล่างซ้าย): K. Stuchelova, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่างกลาง): images72, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่างขวา): Bildagentur Zoonar GmbH, Shutterstock.com
- หน้า 233 ภาพที่ 3.1.13: BiofuelNet: https://biofuelnet.ca/about-biofuels/infographics
- หน้า 234 ภาพที่ 3.1.14: R Sabbatini, Wikipedia ภาพที่ 3.1.15: Natecull, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่าง ภาพแรก): indogolotus, Shutterstock.com ภาพถ่าย (ล่าง ภาพที่สอง): Dickelbers, Wikipedia
- หน้า 241 ภาพที่ 3.2.1: A. Alekperova
- หน้า 242 ภาพถ่าย: A. Alekperova
- หน้า 243 ภาพถ่าย: A. Alekperova
- หน้า 245 ภาพที่ 3.2.2: Energy Efficiency in Russia: Hidden Reserves. - Moscow: CENEF, WB, IFC, 2008
- หน้า 246 ภาพที่ 3.2.3: Arnold Paul, Wikipedia ภาพที่ 3.2.4: US Federal Emergency Management Agency, Wikipedia ภาพที่ 3.2.5: V. Dyakov, Wikipedia
- หน้า 247 ภาพที่ 3.2.6: A. Alekperova ใช้ข้อมูลจาก IEA, Global CO_2 emissions from transport by subsector, 2000-2030, IEA, Paris. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-subsector-2000-2030, IEA ภาพที่ 3.2.7 UK Department for Environment, Food and Rural Affairs
- หน้า 248 ภาพที่ 3.2.8: Wikipedia ภาพที่ 3.2.9: ENEA
- หน้า 249 ภาพที่ 3.2.10: https://lufthansa.myclimate.org/en
- หน้า 250 ภาพที่ 3.2.11: E. Smirnova
- หน้า 251 ภาพที่ 3.2.12: Wikipedia
- หน้า 252 ภาพที่ 3.2.13: ภาพถ่าย (ซ้าย): Wikipedia ภาพถ่าย (ขวา): Floydian, Wikipedia
- หน้า 253 ภาพถ่าย (ซ้าย): Sacramento Seersucker Ride, http://flickr.com/photos/56052306@N06/17107186918 ภาพถ่าย (ขวา): ehedaya, Wikipedia
- หน้า 254 ภาพที่ 3.2.14: A. Alekperova และ Y. Dobrolyubova จากภาพต่าง ๆ ใน Wikipedia ภาพที่ 3.2.15: Wikipedia
- หน้า 255 ภาพที่ 3.2.16: UNDP, 2011
- หน้า 256 ภาพที่ 3.2.17: Wikipedia
- หน้า 257 ภาพที่ 3.2.18: Green Building Council of Finland, http://figbc.fi/en/building-sector ภาพถ่าย: เอื้อเฟื้อโดยคณะผู้เขียน
- หน้า 258 โลโก้: Wikipedia ภาพถ่าย: A. Hodge, http://www.usgbc.org
- หน้า 259 ภาพที่ 3.2.19: ได้รับความเอื้อเฟื้อจาก E. Gracheva
- หน้า 260 ภาพถ่าย (บน): British Prime Minister's Office, https://www.gov.uk ภาพถ่าย (ล่าง): www.sidwell.edu
- หน้า 261 ภาพถ่าย: http://www.activehouse.info/cases/home-life
- หน้า 262 ภาพถ่าย: Wikipedia
- หน้า 263 ภาพถ่าย (บน): J. Seifert, Wikipedia ภาพถ่าย (ล่าง): จากภาพยนตร์โครงการรณรงค์ 'Sustainable Living, Made Easy' ของเมืองมาสดาร์ซิตี้
- หน้า 264 ภาพถ่าย (บน): US Navy National Museum of Naval Aviation ภาพถ่าย (กลาง): NASA ภาพถ่าย (ล่าง): G. Jones, Wikipedia
- หน้า 265 ภาพถ่าย: ecstaticist, Wikipedia
- หน้า 268 ภาพที่ 3.3.1: ภาพถ่าย (ซ้ายและกลาง): Wikipedia. ภาพถ่าย (ขวา): เอื้อเฟื้อโดยคณะผู้เขียน
- หน้า 269 ภาพถ่าย: http://www.climate-kic.org http://wmsbf.org http://memoenglish.ru http://originalcarbon.com/why-offset http://www.environnet.in.th
- หน้า 271 ภาพที่ 3.3.2.-3.3.4: F. Urban, How we heat the street // Real Estate Bulletin, January 18, 2012 http://www.bn.ru/articles/2012/01/18/89218.html
- หน้า 277 ภาพที่ 3.3.5 ภาพถ่าย: Wikipedia
- หน้า 278 Table 3.3.1: คณะผู้เขียนเรียบเรียงจากข้อมูลที่เก็บรวมรวมจากโครงการต่าง ๆ ที่ประเทศรัสเซีย ภาพถ่าย: C. Hutchingson, Wikipedia
- หน้า 279 ภาพที่ 3.3.6: A. Alekperova, V. Berdin, Yu. Dobrolyubova, Y. Kalinicheva, A. Kokorin
- หน้า 283 ภาพถ่าย (ซ้าย): Yu. Dobrolyubova ภาพถ่าย (ขวา): Wikipedia
- หน้า 284 ภาพถ่าย: T. Yamanaka – AFP/Getty Images, สืบค้นได้ที่ http://global.britannica.com/event/Kyoto-Protocol
- หน้า 285 ภาพถ่าย (บน): หน้า Souza, Official White House Photo ใน Wikipedia ภาพที่ 3.4.1: ภาพถ่าย: UN, http://www.un.org/sustainabledevelopment
- หน้า 286 ตราสัญลักษณ์: http://www.cop21paris.org/about/cop21
- หน้า 288 ภาพที่ 3.4.2: H.M. Shahidul Islam/iStock
- หน้า 289 ภาพที่ 3.4.3: http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals
- หน้า 291 ภาพที่ 3.4.4: UN Climate Ambition Summit 2023

อาริยานี อเมลลินา (Aryanie Amellina), วลาดิเมียร์ เบอร์ดิน (Vladimir Berdin), ยูเลีย โดโบรลูโบวา (Yulia Dobrolyubova), เอคาเทรินา กราเชวา (Ekaterina Gracheva), พาเวล คอนสแตนตินอฟ (Pavel Konstantinov), นาตาเลีย รือโชวา (Natalia Ryzhova), คาเทีย ซีเมโอโนวา (Katia Simeonova), เอเลนา สเมียร์โนวา (Elena Smirnova), ดมิทรี ซาโมโลดชิคอฟ (Dmitry Zamolodchikov)

CLIMATE BOX

เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กล่องเครื่องมือ
การเรียนรู้แบบโต้ตอบ
เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หนังสือเรียน

©โครงการพัฒนาแห่งสหประชาชาติ (UNDP), 2025

CLIMATE BOX

เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กล่องเครื่องมือ
การเรียนรู้แบบโต้ตอบ
เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หนังสือเรียน

UNDP

www.climate-box.com