

1

ปัญหาของ การเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ

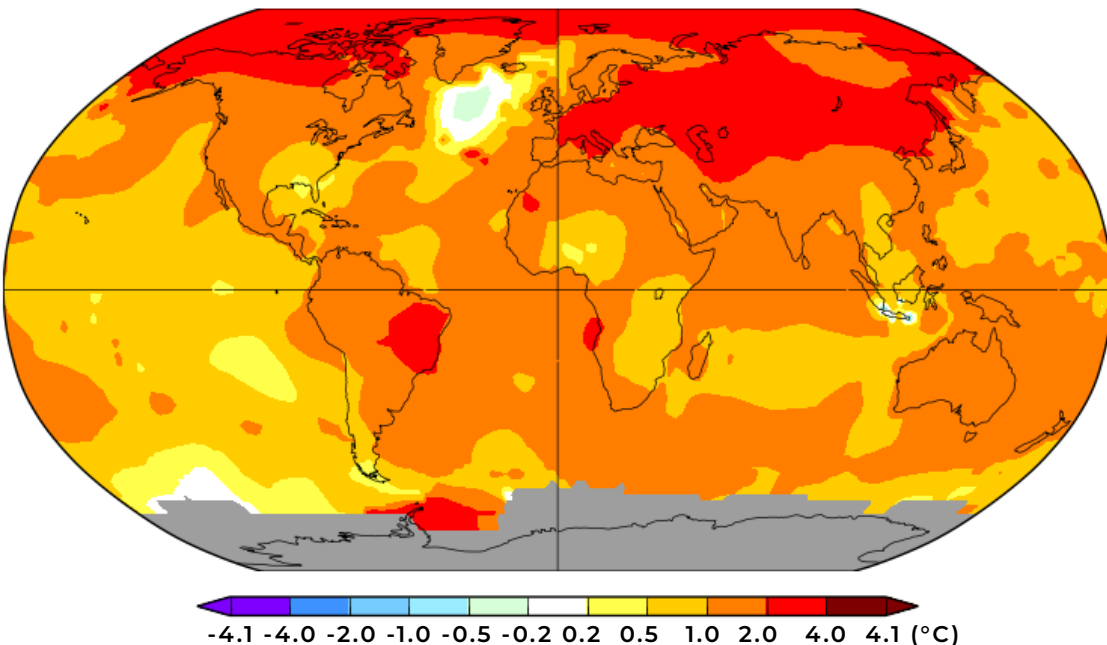
1 | ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

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

ความจริงที่ว่าสภาพอากาศของโลกกำลังเปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นั้น เป็นสิ่งที่ชัดเจนอย่างไม่ต้องสงสัย หากคุณลองพิจารณาดู ตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 19 จนถึงคริสต์ศตวรรษนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจดูไม่มากนัก แต่เมื่อมองในระดับโลกแล้ว การเปลี่ยนแปลงนี้ถือเป็นภัยคุกคามร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือแม้แต่มนุษย์เอง โปรดอย่าลืมว่า ตัวเลข 1.2 องศาเซลเซียสนั้นเป็นเพียงค่าเฉลี่ยรวมของโลกเท่านั้น แต่อุณหภูมิกลับเพิ่มขึ้นรุนแรงกว่าบนแผ่นดินเมื่อเทียบกับในมหาสมุทร และรุนแรงที่สุดในเขตอาร์กติก นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนยังรุนแรงในซีกโลกเหนือมากกว่าในซีกโลกใต้ ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่าและดูดซับรังสีดวงอาทิตย์และการหมุนเวียนของมหาสมุทรได้มากกว่า นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็วมากขึ้นหลังช่วงคริสต์ศตวรรษ 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

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

แต่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรวดเร็วในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา มีผลกระทบร้ายแรงต่อโลกและสิ่งมีชีวิตทั้งหมด

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

มีทฤษฎีต่าง ๆ มากมายเกี่ยวกับสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ นักวิจัยบางคนกล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากผลกระทบของกระบวนการทางดาราศาสตร์ (กิจกรรมของดวงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของแกนโลก) ในขณะที่บางคนกล่าวว่าปัญหาสภาพภูมิอากาศเป็นผลมาจากการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์ที่มากเกินไป สิ่งที่น่าทึ่งคือ กิจกรรมของดวงอาทิตย์และการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของแกนโลกอยู่นอกเหนือการควบคุม ในขณะที่การบริโภคที่มากเกินไปและก๊าซเรือนกระจกที่เป็นอันตรายต่อสภาพภูมิอากาศเป็นสิ่งที่สามารถดำเนินการแก้ไขได้

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

13 CLIMATE ACTION



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 เกิดขึ้นบ่อย และรุนแรงยิ่งขึ้น”

“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. โรว์ลิง, ‘J.K. Rowling’, แฮร์รี่ พอตเตอร์กับภาคีนกฟีนิกซ์) พวกนักเขียนและกวีไม่ได้เขียนเกี่ยวกับภูมิอากาศ และมันก็เข้าใจได้ง่ายว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น คุณสามารถมองเห็นสภาพอากาศได้เพียงแค่ดูจากหน้าต่าง มนุษย์ต้องเผชิญกับสภาพอากาศทุกวันแต่ภูมิอากาศเป็นสิ่งที่เข้าใจได้ยากกว่ามาก แต่ทุกคน ไม่ว่าจะป็นนักวิทยาศาสตร์ นักการเมืองและนักธุรกิจ ต่างก็พูดถึงสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อคุณกลับมาจากวันหยุดกับพ่อแม่ที่โหนกสักแห่งที่ไกลจากบ้าน สิ่งแรกที่คุณอยากรู้ก็คืออากาศเป็นอย่างไร แต่เมื่อคุณแนะนำสถานที่เดียวกันนี้ให้เพื่อน ๆ ไปเที่ยวพักผ่อน อาจจะบอกพวกเขาว่า “ภูมิอากาศที่นั่นดีมาก” แล้วความแตกต่างระหว่างสภาพอากาศและภูมิอากาศคืออะไรเล่า

สภาพอากาศ

คือสถานะของบรรยากาศในสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง ในเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือในช่วงระยะเวลาจำกัด (เช่น หนึ่งวันหรือหนึ่งเดือน)

สภาพอากาศคือสถานะชั่วคราวของสิ่งที่เรียกว่า “องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา” ซึ่งเป็นสิ่งที่ได้ยินทุก ๆ คินจากพยากรณ์อากาศทางโทรทัศน์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ เมฆปกคลุม เป็นต้น เมื่ออากาศหนาวเย็นเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ ในฤดูร้อนและฝนตกหนักจนคุณไม่อยากออกไปข้างนอกเลย แสดงว่านี่คือการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ

สภาพภูมิอากาศ

คือสภาวะอากาศโดยเฉลี่ยในสถานที่หนึ่งในช่วงเวลานาน (หลายทศวรรษ)

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

ลักษณะสำคัญของสภาพอากาศ ได้แก่:

- อุณหภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล
- ปริมาณและช่วงเวลาของการเกิดฝนและหิมะตลอดทั้งปี
- มวลอากาศเคลื่อนที่อย่างไร
- ลมประจำฤดูและลมอื่น ๆ.

มวลอากาศ

ได้แก่บรรยากาศชั้นใหญ่ที่มีอุณหภูมิอากาศ 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 คือระยะทางไกลที่สุดที่สามารถมองเห็นวัตถุก่อนที่มันจะกลบกลืนไปกับฉากหลัง และไม่สามารถแยกแยะออกได้



หมอก คือกลุ่มละอองที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำใกล้พื้นดิน



ความกดอากาศ คือความดันของอากาศที่ระดับหนึ่งในบรรยากาศ



ลม คือการเคลื่อนตัวในแนวนอนของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความดันบรรยากาศ

การสังเกต ศึกษา และพยากรณ์อากาศเป็นหัวข้อของวิทยาศาสตร์บรรยากาศสาขาหนึ่งที่เรียกว่า อุตุนิยมวิทยา ภูมิอากาศวิทยาเป็นอีกสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์บรรยากาศที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายสภาพอากาศ การวิเคราะห์สาเหตุของความแตกต่างและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ตลอดจนผลที่ตามมาในทางปฏิบัติ



ผู้คนที่อาศัยอยู่ในประเทศไอร์แลนด์มักพูดติดตลกว่า “ไอร์แลนด์มีภูมิอากาศที่ยอดเยี่ยม แต่สภาพอากาศกลับแย่ง” ไอร์แลนด์เป็นประเทศที่ตั้งอยู่บนเกาะขนาดใหญ่นอกชายฝั่งยุโรปตะวันตก สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงบ่อยมาก แต่ฤดูหนาวอากาศอบอุ่นและหลู้าเขียวขจีตลอดทั้งปี ด้วยเหตุนี้ ไอร์แลนด์จึงมักถูกเรียกว่า ‘เกาะมรกต’

1.2 | ประเภทของภูมิอากาศและเขตภูมิอากาศ

ส่วนต่าง ๆ ของโลกมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ในประเทศทางตอนเหนือ เมื่อผู้คนมองออกไปนอกหน้าต่างในฤดูหนาว และเห็นหิมะอยู่ทุกหนทุกแห่ง ก็มักจะไปเที่ยวพักผ่อนในประเทศเขตร้อน ซึ่งผู้คนสามารถเพลิดเพลินกับอากาศร้อนและว่ายน้ำในทะเลที่อบอุ่นได้ตลอดทั้งปี

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

พื้นที่ที่มีภูมิอากาศคล้ายกันนั้นเปรียบเสมือนแถบกว้างที่ล้อมรอบโลก เป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์เรียกว่า “เขตภูมิอากาศ” และจะยิ่งหนาวเย็นมากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร

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

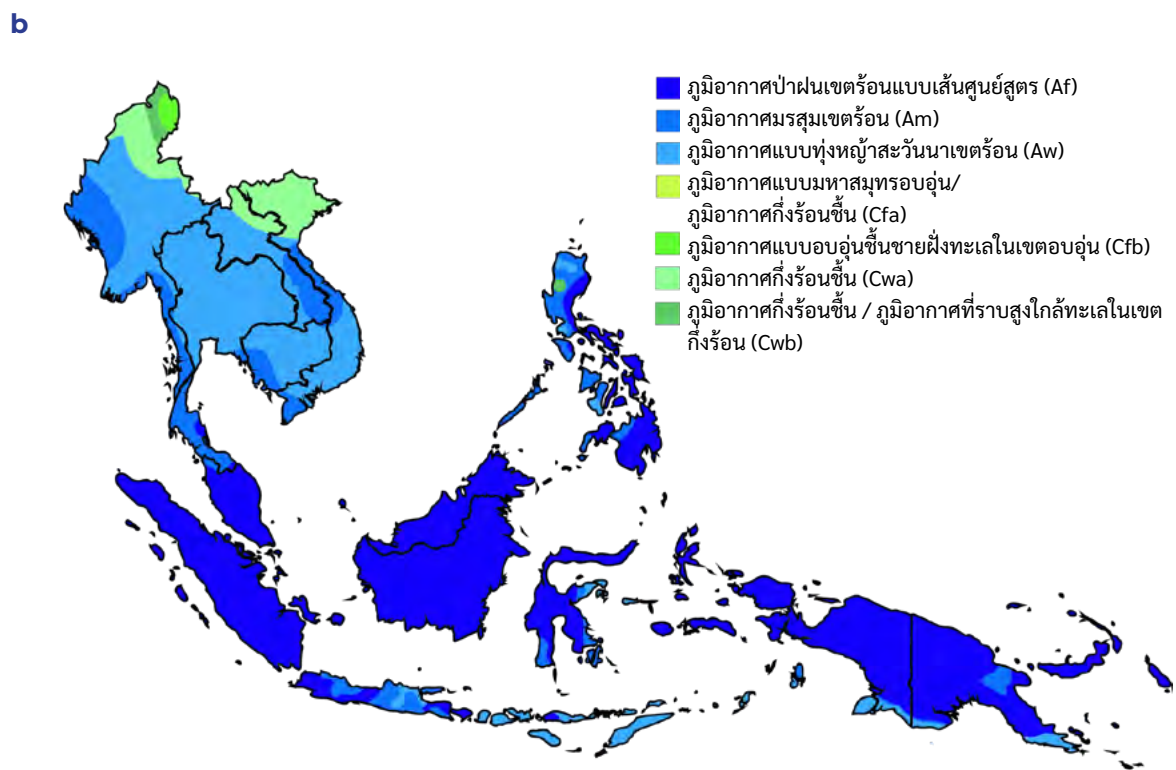
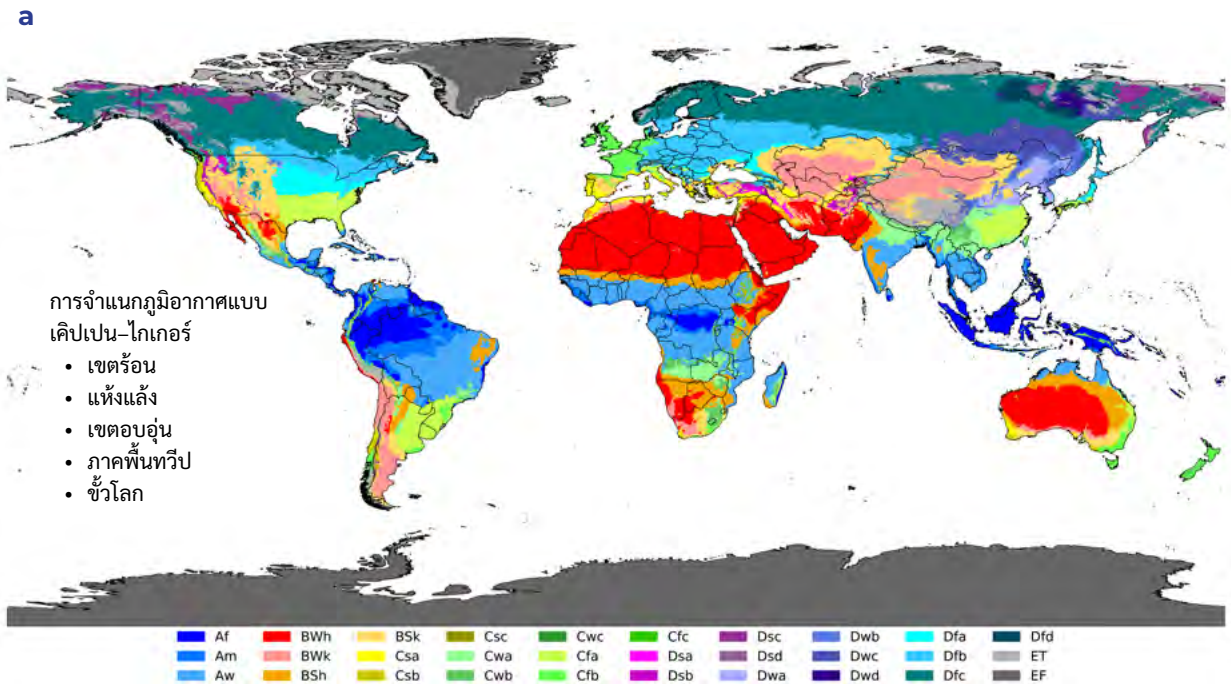
โซนเหล่านี้ยังแบ่งตามอุณหภูมิและความแห้งแล้งอีกด้วย

เขตภูมิอากาศ

คือพื้นที่ที่มีภูมิอากาศค่อนข้างสม่ำเสมอ

ภาพที่ 1.2.1

แผนที่การจำแนกภูมิอากาศแบบเคิเพิน-ไกเกอร์ของโลก (a) และของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (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 จะแสดงการแบ่งเขตภูมิอากาศอย่างละเอียดและลักษณะเฉพาะตามการจำแนกภูมิอากาศแบบเคิเปิน

ประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่มีภูมิอากาศแบบโซน A อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเขตภูมิอากาศเหล่านี้ถูกกำหนดขึ้นตามละติจูด ประเทศหนึ่งจึงสามารถสังเกตภูมิอากาศได้มากกว่าหนึ่งประเภท

ระบบการจำแนกสภาพภูมิอากาศอีกระบบหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในยุโรปตะวันออกถูกสร้างขึ้นในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1950 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย บอริส อาลิสอฟ (Boris Alisov) ระบบดังกล่าวได้กำหนดเขตภูมิอากาศหลักสี่เขตในแต่ละซีกโลกและเขตเปลี่ยนผ่านสามเขต

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

ระหว่างเขตภูมิอากาศหลักคือเขตเปลี่ยนผ่าน ได้แก่ **กึ่งเส้นศูนย์สูตร กึ่งเขตร้อนและกึ่งขั้วโลก** (กึ่งอาร์กติกในซีกโลกเหนือและกึ่งแอนตาร์กติกในซีกโลกใต้) 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 เอเชียใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกาใต้ อเมริกากลาง บางส่วนของทะเลแคริบเบียน อเมริกาเหนือ และออสเตรเลียตอนเหนือ (เช่น กัมพูชา โคลอมเบีย อินโดนีเซีย สเปน ลาเวีย 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	แอฟริกา เอเชีย อเมริกากลาง อเมริกาใต้ ออสเตรเลียตอนเหนือ แคริบเบียน (เช่น บราซิล อินเดีย ไทย)
B – แห้งแล้ง	BWk – ทะเลทรายสะตูดกลาง (ทะเลทรายเย็น)	อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส ฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง	ทะเลทรายสะตูดกลาง อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	ทะเลทรายในเอเชียกลาง (เช่น ทางตอนเหนือของจีน มองโกเลีย) อเมริกาเหนือ (ทะเลทรายเกรทเบซิน) อเมริกาใต้ (ทะเลทรายอาตากามา ทะเลทรายปาตาโกเนีย)
	BWh – ทะเลทรายกึ่งเขตร้อน (ทะเลทรายร้อน)	อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 18 องศาเซลเซียส ไม่มีน้ำค้างแข็งหรือเกิดขึ้นไม่บ่อย	ทะเลทรายสะตูดต่ำ อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	แอฟริกาเหนือ เอเชียตะวันตก ส่วนตะวันตกเฉียงเหนือของอนุทวีปอินเดีย แอฟริกาตะวันตกเฉียงใต้ อเมริกากลาง ออสเตรเลีย ยุโรป (เช่น เม็กซิโก สเปนตะวันออกเฉียงใต้)
	BSk – ทุ่งหญ้าสเตปป์สะตูดกลาง (สภาพอากาศกึ่งแห้งแล้งที่มีอากาศหนาวเย็น)	อุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 18 องศาเซลเซียส	ทุ่งหญ้าสเตปป์แบบแห้งแล้งสะตูดกลาง อัตราการระเหยสูงและปริมาณน้ำฝนต่ำ	เอเชียกลางและทางตะวันตกของสหรัฐอเมริกา ตะวันออกกลาง เอเชีย แอฟริกาเหนือ แอฟริกาใต้ อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย (เช่น อาร์เจนตินา จีน แอฟริกาใต้)
	BSh – ทุ่งหญ้าสเตปป์เขตกึ่งร้อน (สภาพอากาศกึ่งแห้งแล้งที่มีอากาศร้อน)	อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 18 องศาเซลเซียส	ทุ่งหญ้าสเตปป์แบบแห้งแล้งสะตูดต่ำ 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	แอฟริกาและตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกาเหนือ อเมริกากลาง อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย ยุโรป บางส่วน (เช่น แองโกลา จีน คองโก ฮองกง 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 อีรัก แอฟริกาใต้ สหรัฐอเมริกา)
	Csb – เมดิเตอร์เรเนียน (ฤดูร้อนที่เย็นสบาย)	ไม่มีเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่ร้อนที่สุด สูงกว่า 22 องศาเซลเซียส อย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส	อากาศอบอุ่นและฤดูร้อนที่เย็นสบาย ปริมาณน้ำฝนอย่างน้อยสามเท่าในฤดูหนาวที่มีฝนตกชุก เมื่อเทียบกับเดือนที่แห้งแล้งที่สุดของฤดูร้อน อันตรายจากน้ำค้างแข็งในฤดูหนาว	ออสเตรเลีย ยุโรป อเมริกาใต้ อเมริกาเหนือ (เช่น แคนาดา ซิลี 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 อูรุกวัย เวียดนาม ซิมบับเว)
	Cwb – กึ่งร้อนชื้น (ที่ราบสูง กึ่งร้อน)	ทุกเดือนมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส เดือนที่หนาวที่สุดมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส และมีอย่างน้อยสี่เดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส	มีฝนตกอย่างน้อยสิบเท่าในเดือนที่ฝนตกชุกที่สุดของฤดูร้อน เมื่อเทียบกับเดือนที่แห้งที่สุดของฤดูหนาว	พบในภูเขาและที่ราบสูงในประเทศเขตร้อนและกึ่งร้อน (เช่น ในพื้นที่สูงของอินโดนีเซีย สเปน ปาวา 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 – พื้นที่ขั้วโลก และเทือกเขา	ET – พื้นที่ทุ่งทุนดรา	อย่างน้อยหนึ่งเดือนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 0 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีเดือนใดที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่า 10 องศาเซลเซียส	พื้นที่ทุ่งทุนดราในขั้วโลก ไม่มีฤดูร้อนที่แท้จริง	กรีนแลนด์ ไอซ์แลนด์ รัสเซีย สหรัฐอเมริกา
	EF – พื้นที่น้ำแข็งปกคลุม	สภาพอากาศแบบขั้วโลกมีอุณหภูมิเย็นตลอดทั้งปี โดยเดือนที่ร้อนที่สุดจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส	มีน้ำแข็งปกคลุมตลอดปี	พื้นที่ชายฝั่งทางตอนเหนือของอเมริกาเหนือ ยุโรป เอเชีย และบนแผ่นดินของกรีนแลนด์ และแอนตาร์กติกา
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



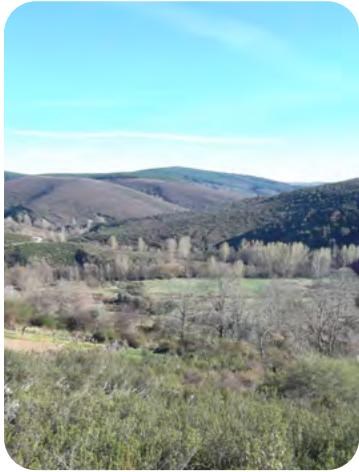
(B) ภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง

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 โดยมักประกอบด้วย ป่า 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 ซึ่งนำไปสู่ฤดูกาลที่แตกต่างกันแคนาดา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของจีน และรัสเซียส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในพื้นที่เช่นไซบีเรียและที่ราบใหญ่ของสหรัฐอเมริกามีภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีป ภูมิอากาศแบบนี้เอื้อต่อป่าไม้ในช่วงเดือนที่อากาศอบอุ่น แต่ในช่วงฤดูหนาวอาจมีหิมะตกหนักและรุนแรงได้



(E) ภูมิอากาศแบบขั้วโลกและเทือกเขา

พื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบขั้วโลกและเทือกเขาเป็นที่รู้จักกันว่ามีความหนาวเย็นจัด และผู้คนอาศัยอยู่อย่างเบาบาง เนื่องจากอุณหภูมิที่หนาวเย็นจัดตลอดทั้งปี ในภูมิอากาศแบบขั้วโลก อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนที่ร้อนที่สุดอยู่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในภูมิอากาศแบบเทือกเขา อุณหภูมิอาจอุ่นขึ้นเล็กน้อย ในฤดูร้อนแต่ยังคงเย็นอยู่ ภูมิอากาศเหล่านี้มีฤดูหนาวที่ยาวนานและรุนแรงพร้อมอุณหภูมียือกแข็งและฤดูร้อนที่สั้นและเย็น ปริมาณน้ำฝนโดยทั่วไปจะต่ำ โดยพื้นที่ขั้วโลกได้รับฝนประจำปีเพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่เป็นหิมะ ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขาอาจมีฝนตกมากขึ้นเนื่องจากระดับความสูง ซึ่งมักส่งผลให้เกิดหิมะตก พืชพรรณในภูมิอากาศแบบขั้วโลกมีจำกัดเฉพาะมอส ไลเคน และพืชที่เติบโตต่ำบางชนิด ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขาอาจเอื้อต่อทุ่งหญ้าและพุ่มไม้บนภูเขาในระดับความสูงที่ต่ำกว่า ภูมิอากาศแบบขั้วโลกพบในภูมิภาคต่าง ๆ เช่น แอนตาร์กติกา และอาร์กติก รวมถึงกรีนแลนด์และบางส่วนของแคนาดาตอนเหนือ ในขณะที่ภูมิอากาศแบบเทือกเขามักพบในเทือกเขาสูง เช่น แอนดิส เทือกเขาแอลป์ และเทือกเขาหิมาลัย



(F) ที่ราบสูง

ภูมิอากาศแบบที่ราบสูงหมายถึงภูมิอากาศที่พบในภูมิภาคภูเขาที่ระดับความสูง เนื่องจากระดับความสูงที่ต่างกัน สภาพอากาศจึงสามารถแตกต่างกันไปตั้งแต่แบบอบอุ่นไปจนถึงแบบกึ่งอาร์กติกหรือแบบขั้วโลก โดยที่ระดับความสูงที่สูงขึ้นจะมีอากาศเย็นกว่า ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่สูงจะแตกต่างกันมาก โดยบางภูมิภาคจะมีฝนตกหนัก โดยเฉพาะบนเนินเขาที่มีลมพัดแรง ในขณะที่บางภูมิภาคอาจแห้งแล้งกว่า หิมะตกทั่วไปในพื้นที่สูง แม้กระทั่งในช่วงฤดูร้อน พืชพรรณในพื้นที่เหล่านี้ยังเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูง โดยป่าไม้หรือทุ่งหญ้าในพื้นที่ต่ำจะเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้าบนภูเขาและทุ่งทุนดราในพื้นที่สูง สภาพอากาศในพื้นที่สูงจะพบได้ในพื้นที่ภูเขา เช่น เทือกเขาแอนดิสในอเมริกาใต้ เทือกเขาหิมาลัยในเอเชีย และเทือกเขาร็อกกีในอเมริกาเหนือ

ภูมิอากาศต่าง ๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีภูมิอากาศแบบเขตร้อนเป็นหลักตามการจำแนกของเคิปปิน-ไกอเกอร์ (A) โดยบางพื้นที่อยู่ในกลุ่มภูมิอากาศอบอุ่น (C) ซึ่งมีรูปแบบปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่หลากหลายตลอดทั้งปี นอกจากนี้ยังพบภูมิอากาศที่ราบสูงในพื้นที่ที่มีระดับความสูงมากขึ้น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน (เคิปปิน 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 ภูมิภาคเหล่านี้มีฤดูฝนที่ชัดเจนในช่วงมรสุม โดยมีฝนตกหนักตามด้วยฤดูแล้ง ในช่วงเดือนที่มีฝนตกหนักฝนตกหนักทุกวัน และพืชพรรณในภูมิภาคจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงดังกล่าว แม้ว่าฤดูแล้งอาจเกิดขึ้นได้

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



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

- **ภูมิอากาศแบบอบอุ่นชื้นกึ่งเขตร้อน (Cfa):** ภูมิอากาศแบบนี้พบได้ในเวียดนามตอนเหนือและบางส่วนของจีนตอนใต้ ซึ่งรวมถึงพื้นที่อย่างฮานอยและก๊วยหลิน 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 หิมะหรือลูกเห็บแตกต่างกันไปตามความสูงเหนือระดับน้ำทะเล



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 ไม่ใช่จากนอกอวกาศจึงจะถือว่าเป็นบันทึกอุณหภูมิต่ำสุดที่ได้รับการรับรองในระดับสากลจึงยังคงอยู่ที่ -89.2 องศาเซลเซียส ซึ่งบันทึกไว้ที่ไซเวียต (รัสเซียในปัจจุบัน) ณ สถานีวิจัยวอสตอคในเขตแอนตาร์กติกาเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2526 (ภาพที่ 1.2.4) หมู่บ้านโอมยาคอน (Oymyakon) ในไซบีเรียตะวันออกเป็นสถานที่ที่อยู่อาศัยถาวรที่หนาวเย็นที่สุดในโลก โดยมีอุณหภูมิในฤดูหนาวเฉลี่ย -50 องศาเซลเซียส วันที่หนาวเย็นที่สุดของเมืองซึ่งได้รับการบันทึกไว้คือในปี พ.ศ. 2467 เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนเหลือ -71.2 องศาเซลเซียส

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

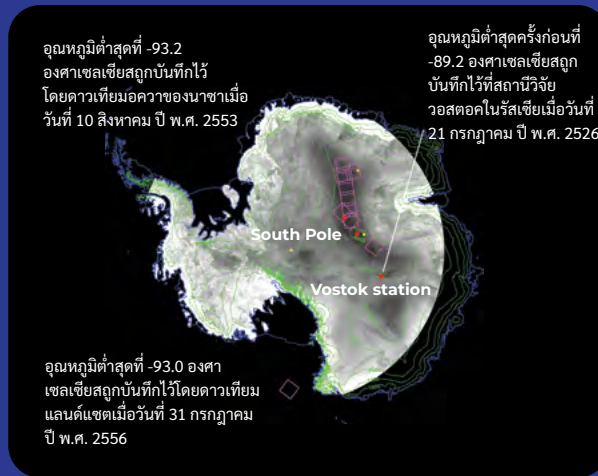
ภาพที่ 1.2.2

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 ชั่วโลกเหนือหรือชั่วโลกใต้

—

6

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





กิจกรรม

1

เกม

วัตถุประสงค์: โฟ่ ที่แสดงภูมิอากาศหลายแบบ ได้แก่ แบบเขตร้อน เขตแห้งแล้ง เขตอบอุ่น เขตอบอุ่นภาคพื้นทวีป เขตขั้วโลก และเขตเทือกเขา/ที่ราบสูง ในคุณลักษณะต่าง ๆ กัน เกมนี้สำหรับผู้เล่น 12-24 คน โดยผู้เล่นแต่ละคนจะได้รับโฟ่หนึ่งใบที่มีคุณลักษณะของภูมิอากาศหนึ่งอย่าง

คุยกับผู้เล่นคนอื่น และรวบรวมคุณลักษณะทั้งหมดของภูมิอากาศหนึ่งแบบไว้ในผู้เล่นหนึ่งกลุ่ม แล้วแสดงทำให้คำให้กลุ่มอื่นทายว่าคุณมีภูมิอากาศแบบใด

2

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

ลองหานิวอิงแลนด์บนแผนที่ของสหรัฐอเมริกา ที่นี้อยู่ในเขตภูมิอากาศใด

3

สภาพภูมิอากาศ ‘เป็นมิตร’ และ ‘ไม่เป็นมิตร’ เป็นอย่างไร

แบ่งกลุ่มและเลือกภูมิอากาศหนึ่งแบบ

สร้างการแสดงสมมุติและมุขตลกเกี่ยวกับประเภทของภูมิอากาศที่คุณเลือก

4

เกม

จุดประสงค์ของเกม: เพื่อให้คุณรู้สึกราวกับอยู่ในภูมิอากาศป่าฝนเขตร้อนแบบศูนย์สูตร และสัมผัสกับฝนที่ตกลงมาเป็นประจำทุกวัน

วิธีเล่น: ยืนล้อมวงโดยให้คนนำคนหนึ่งอยู่ตรงกลาง ในฐานะคนนำ คุณต้องทำท่าเคลื่อนไหวให้ผู้เล่นคนอื่น ๆ เห็น ค่อย ๆ หันไปทางผู้เล่นแต่ละคนช้า ๆ เริ่มท่าเคลื่อนไหวใหม่หลังจากที่ผู้เล่นทุกคนในวงเริ่มเลียนแบบท่าเคลื่อนไหวก่อนหน้านี้ของคุณแล้ว ผู้เล่นแต่ละคนเปลี่ยนไปยังท่าเคลื่อนไหวถัดไปเมื่อคุณหันเข้าหาพวกเขา ในขณะเดียวกันผู้เล่นคนอื่น ๆ ก็ทำท่าเคลื่อนไหวก่อนหน้านี้ต่อไป

ลำดับท่าเคลื่อนไหว: คนนำและผู้เล่นคนแรก (จากนั้นก็เป็นผู้เล่นคนที่สอง คนที่สาม ไปเรื่อย ๆ) ประสานฝ่ามือเข้าด้วยกันและใช้มือที่ประสานกันทำท่าเคลื่อนไหวเป็นวงกลมอย่างช้า ๆ หลังจากนั้น ก็คิดนิ้ว ตามด้วยปรบมือ ตามด้วยตบสะโพกแล้วก็กระที่บเท้า เมื่อจบลำดับท่าเคลื่อนไหว ให้ทำท่าทั้งหมดย้อนจากหลังมาหน้า ผลที่ได้คือการเลียนแบบเสียงฝนตกตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด

5

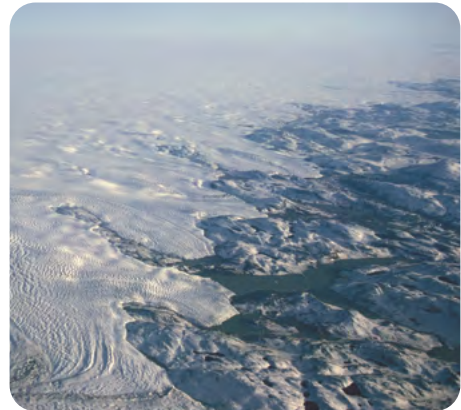
ปริศนาอักษรไขว้ (ศัพท์ภาษาอังกฤษ)

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

1	W								
2	E								
3	A								
4	T								
5	H								
6	E								
7	R								
&									
8	C								
9	L								
10	I								
11	M								
12	A								
13	T								
14	E								

1.3 | ภูมิอากาศในอดีตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และเพราะเหตุใด

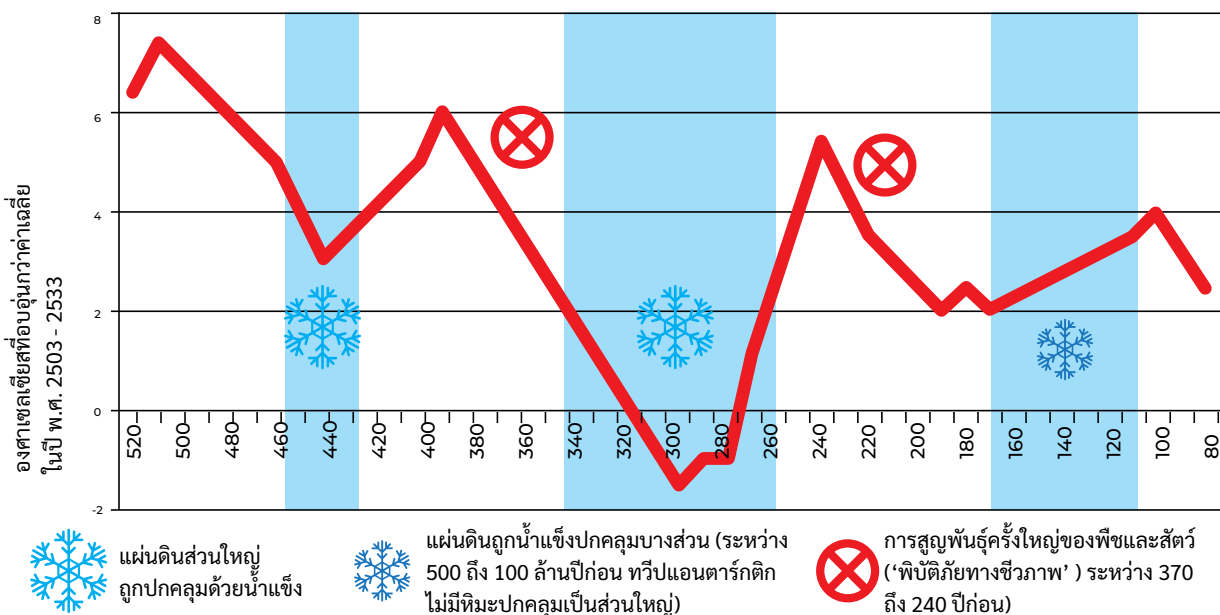
ไม่ใช่เรื่องยากที่จะแสดงให้เห็นว่าภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงมาโดยตลอด แน่นอนว่าผู้ล่าในการ์ตูนและเกมคอมพิวเตอร์เกี่ยวกับไดโนเสาร์และยุคน้ำแข็งเป็นเรื่องที่ถูกแต่งขึ้น แต่ไดโนเสาร์เคยมีอยู่จริงตามที่รู้จากการค้นพบกระดูกและไข่ไดโนเสาร์ ในขณะที่สัตว์เหล่านี้ยังมีชีวิตอยู่ ภูมิอากาศบนดาวเคราะห์โลกอบอุ่นกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้มาก แต่ก็มีช่วงเวลาที่หนาวเย็นเช่นกัน นั่นก็คือตอนที่ภูมิอากาศหนาวเย็นยะเยือกกว่าปัจจุบันนี้ และธารน้ำแข็งก็แผ่ลงได้ไปไกลถึงเบอร์ลินหรือซิดาโก 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 และในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ ก็อาจจะร้อนเกินกว่าที่ผู้คนจะอาศัยอยู่ได้

ภาพที่ 1.3.1

อุณหภูมิบนโลกตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา



นักวิทยาศาสตร์รู้ได้อย่างไรว่าภูมิอากาศในอดีตเป็นอย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ประเมินว่าอุณหภูมิบนโลกในอดีตเป็นอย่างไรด้วยการศึกษาก้อนหิน ตะกอนที่ก้นทะเลสาบ ทะเล และมหาสมุทร น้ำแข็งที่ร่องรอยไว้บนก้อนหิน ในขณะที่ตะกอนจากตรงบริเวณที่เคยเป็นทะเลลึกดำบรรพ์ก็มีซากพืชซึ่งสามารถอยู่รอดได้ในบางอุณหภูมิเท่านั้น

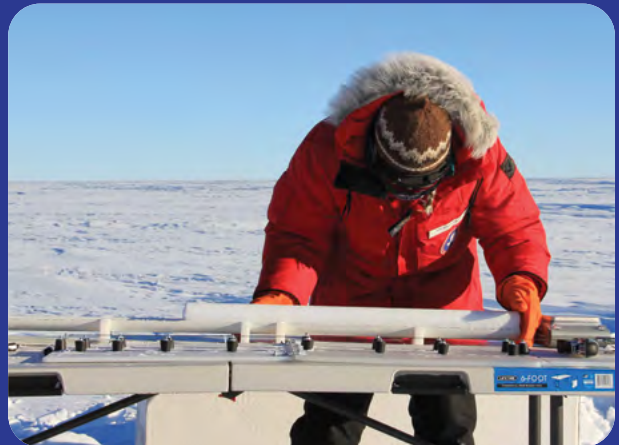
นักวิทยาศาสตร์มีแหล่งข้อมูลที่ดียิ่งกว่าในการประเมินอุณหภูมิในช่วงหนึ่งล้านปีที่ผ่านมา นั่นก็คือ พวกเขาใช้น้ำแข็งของทวีปแอนตาร์กติกา น้ำแข็งที่นั่นมีฟองอากาศที่เป็นให้หลักฐานแสดงให้เห็นถึงเป็นองค์ประกอบของก๊าซในบรรยากาศและอุณหภูมิของบนโลกในอดีต (ภาพที่ 1.3.2) ชุดข้อมูลที่ยาวที่สุด (ประมาณ 800,000 ปี)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

วงปีต้นไม้ก็เป็นแหล่งข้อมูลที่ดีในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหลายศตวรรษที่ผ่านมา วงปีจากช่วงปีที่อบอุ่นจะกว้างกว่า แต่วงปีจากช่วงปีที่หนาวเย็นจะแคบกว่า เปลือกหอยทะเลและเปลือกหอยน้ำจืดก็เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีอีกอย่างหนึ่งถึงภูมิอากาศในอดีต

วิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการศึกษาภูมิอากาศในอดีตมีชื่อเรียกว่า ‘ภูมิอากาศบรรพกาลวิทยา’ (paleoclimatology)

ภาพที่ 1.3.2

นักวิทยาศาสตร์สกัดลำน้ำแข็งแอนตาร์กติกา ซึ่งนำมาใช้ระบุอุณหภูมิของอากาศและสารคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศตลอดหลายแสนปีที่ผ่านมา



1.3.1 | สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ในช่วงเวลาหลายล้านปี

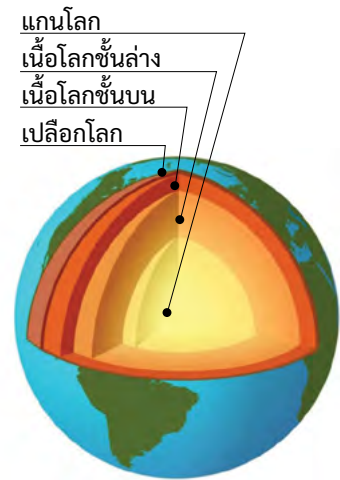
นักวิทยาศาสตร์พิจารณาปัจจัยที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางธรณีวิทยา ดาราศาสตร์ ชีววิทยา สุนัขแม่เหล็กโลก และปัจจัยเกี่ยวกับอวกาศ เพื่อหาคำอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ ๆ ของภูมิอากาศโลกที่เกิดขึ้นตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา พวกเขาถึงกับเคยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะมีผู้มาเยือนจากดาวเคราะห์ดวงอื่น ซึ่งอาจจะใช้อาวุธทางภูมิอากาศบางอย่าง แต่เหล่านักวิทยาศาสตร์ก็ไม่พบร่องรอยของมนุษย์ต่างดาวเลย สิ่งที่เราพบก็คือ อุณหภูมิบนดาวเคราะห์ที่เรียกว่าโลกนี้ในสองถึงสามร้อยปีที่ผ่านมาถูกกำหนดโดยตำแหน่งของทวีปนั้น ๆ

ทวีปที่มีการเคลื่อนตัว

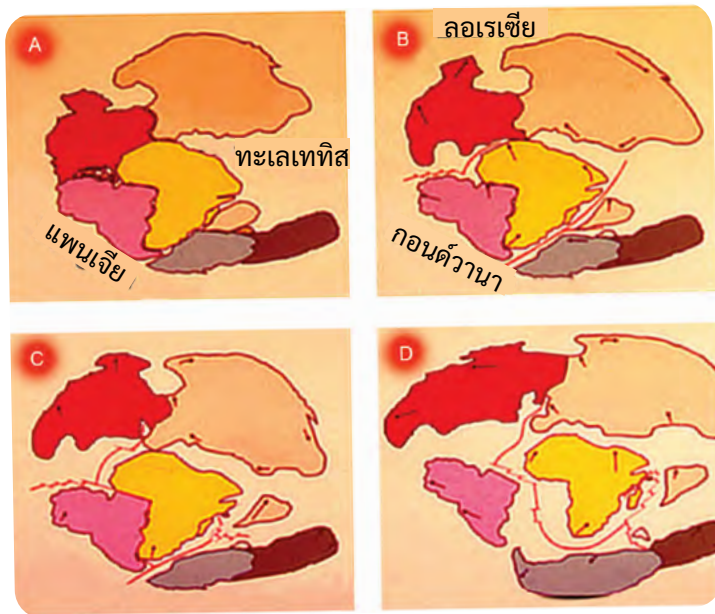
เปลือกโลกเป็นเพียงชั้นบาง ๆ ที่อยู่ด้านบนบนดาวเคราะห์นี้ (ภาพที่ 1.3.3) ลึกลงไประดับแรกสุดจะพบชั้นเนื้อโลก ซึ่งเป็นส่วนหลักของดาวเคราะห์ดวงนี้และเมื่อยิ่งลึกลงไปก็จะเป็นของเหลวเหนียวและร้อนมาก เปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นบน ๆ ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก ('ธรณีภาค') ซึ่งสามารถแตก เคลื่อนออกจากกันหรือเคลื่อนเข้าหากัน และเคลื่อนตัวเพียงแค่ไม่กี่เซนติเมตรต่อปี แต่ครอบคลุมหลายพันกิโลเมตรตลอดหลายล้านปี! สิ่งนี้เรียกว่า 'ทวีปเลื่อน' (continental drift) มหาทวีปแพนเจีย (หรือเรียกสั้น ๆ ว่า 'แพนเจีย') โบราณ ซึ่งเป็นแผ่นเดียวค่อย ๆ แยกออกเป็นหลายทวีป ซึ่งเคลื่อนออกจากกันและเคลื่อนมาชนกัน (ภาพที่ 1.3.4) ถ้าคุณดูที่ฝั่งตะวันตกของแอฟริกาและฝั่งตะวันออกของอเมริกาใต้ ก็จะได้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวของทั้งสองทวีปเหมือนตัวต่อสองชิ้นที่ต่อกันได้สนิทพอดี และเหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็คือนี่คือทวีปทั้งสองเคยเป็นทวีปเดียวกันมาก่อนที่ต่อมาแยกออกจากกัน

ภาพที่ 1.3.3

ชั้นต่าง ๆ ของโลก



ทวีปที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรไม่มีน้ำแข็งสะสม แต่ถ้าหากว่าทวีปเหล่านั้นอยู่ใกล้ขั้วโลก ในไม่ช้าก็就会被ฝังอยู่ใต้ธารน้ำแข็ง (มวลน้ำแข็ง) ที่เห็นกันในเขตแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์ พื้นผิวสีขาวของน้ำแข็งและหิมะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับไปยังอวกาศ ทำให้แน่ใจได้ว่าน้ำแข็งและหิมะจะคงความเย็นอยู่ในขณะที่พื้นผิวส่วนที่มีดมืดของโลกรหรือพื้นน้ำที่นั่นดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้เกือบทั้งหมด พื้นผิวดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 1.3.4

ทวีปเลื่อนตลอด 500 ล้านปีที่ผ่านมา

- A - การก่อตัวของแพนเจีย
- B - การแยกออกจากกันของแพนเจีย, การก่อตัวของลอเรเซียและกอนด์วานา
- C - การแยกตัวของกอนด์วานา, การก่อรูปของอินโดจีน ออสเตรเลีย และทวีปแอนตาร์กติกา
- D - การก่อตัวของทวีปอเมริกาใต้, การเริ่มต้นของกระบวนการแยกตัวของลอเรเซีย (ซึ่งต่อมาแยกออกจากกันเป็นยูเรเชีย ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ หมู่เกาะอินโดนีเซีย เป็นต้น)

เมื่อทวีปเลื่อนเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง สิ่งนี้จึงกลายเป็นปัจจัยหลักที่ส่งอิทธิพลต่อภูมิอากาศของดาวเคราะห์ทั้งดวง เวลา 500 ล้านปีที่ผ่านมามีส่วนใหญ่ทวีปต่าง ๆ มีน้ำแข็งปกคลุมน้อยกว่า ภูมิอากาศของโลกจึงอบอุ่นกว่าในปัจจุบัน

พื้นผิวสีขาวของน้ำแข็งและหิมะสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับไปอวกาศ ทำให้แน่ใจได้ว่าน้ำแข็งและหิมะจะคงความเย็นอยู่ ในขณะที่พื้นผิวส่วนที่มีดทิมของโลกหรือพื้นน้ำนั้นดูดซับรังสีดวงอาทิตย์เอาไว้เกือบทั้งหมด พื้นผิวดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น

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

ช่วงอากาศหนาวเย็นครั้งหนึ่งเมื่อประมาณ 60 ล้านปีก่อนนำไปสู่การสูญพันธุ์ของไดโนเสาร์กลุ่มสุดท้าย เหตุการณ์นี้น่าจะเป็นกระบวนการที่ค่อยเป็นค่อยไปนานมากกว่าหนึ่งพันปี สาเหตุที่แท้จริงที่ไดโนเสาร์สูญพันธุ์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด และน่าจะไม่ได้มาจากสาเหตุเดียวแต่มีหลายสาเหตุ

เหตุไดโนเสาร์จึงสูญพันธุ์



ไดโนเสาร์สูญพันธุ์ไปจนหมดเมื่อราว ๆ 60 ล้านปีก่อน ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ยังไม่แน่ใจถึงสาเหตุที่แท้จริง

ทฤษฎีหนึ่งก็คือไดโนเสาร์ไม่สามารถสู้กับสิ่งมีชีวิตที่ ‘ซับซ้อน’ กว่าได้ ตัวอย่างเช่น กับสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมเลือดอุ่นที่ตัวเล็กพอ ๆ กับกระดูก แต่สามารถกินไข่ไดโนเสาร์หรือจูโจมพวกมันในเวลากลางคืนตอนที่สัตว์เลื้อยเย็นอย่างไดโนเสาร์ไม่สามารถขยับเขยื้อนได้

อีกทฤษฎีหนึ่งก็คือ มีอุกกาบาตลูกใหญ่พุ่งชนโลกตรงแถบทะเลแคริบเบียนในปัจจุบัน ทำให้เกิดฝุ่นปริมาณมหาศาลกระจายไปทั่ว

ชั้นบรรยากาศ บดบังแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร นัก สัตว์เลื้อยลูกด้วยนม และสิ่งมีชีวิตอีกมากมายปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิใหม่ แต่ไดโนเสาร์ไม่ปรับตัวตาม

และยังมีอีกทฤษฎีหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้กันสำหรับสัตว์เลื้อยคลานบางชนิด (เช่น เต่าและจระเข้) อุณหภูมิของพื้นดินจะเป็นตัวกำหนดว่าไข่ที่ถูวางไว้บนทรายตามแนวริมแม่น้ำและชายฝั่งจะฟักออกเป็นตัวผู้หรือตัวเมีย นักชีววิทยาเสนอว่า ความเกี่ยวพันนี้อาจจะมีในไดโนเสาร์ซึ่งเป็นสัตว์เลื้อยคลานด้วยเช่นกัน เพียงแต่เป็นสัตว์เลื้อยคลานที่ตัวใหญ่มากเท่านั้น ถ้าอุณหภูมิอยู่ในระดับที่ไข่ไดโนเสาร์ฟักออกมาแค่ตัวผู้ (หรือตัวเมีย) เท่านั้น พวกมันย่อมจะสูญพันธุ์อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องมีหายนะหรืออุกกาบาตพุ่งชนโลกเลย

การเปลี่ยนแปลงจากภูมิอากาศขึ้นสม่าเสมอเป็นภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนผันฤดูกาล (แม้การเปลี่ยนผันจะมีเพียงเล็กน้อย) สามารถทำให้เกิดคืนอันหนาวเย็นเป็นเวลายาวนาน ๆ ในขณะที่ร่างกายของสัตว์เลื้อยคลานขนาดใหญ่อย่างไดโนเสาร์อาจจะถูกเก็บความอบอุ่นไว้ได้ไม่มากพอ ไดโนเสาร์จำนวนมากจึงอ่อนแอลงและตายไปในที่สุด

แต่เหตุการณ์ทางภูมิอากาศที่สำคัญที่สุดเกิดขึ้นเมื่อ 50 ล้านปีก่อน เมื่อทวีปต่าง ๆ เคลื่อนตัวออกจากขั้วโลกเหนือ หิมะและน้ำแข็งที่ปกคลุมอยู่หดเล็กลง และอุณหภูมิก็สูงขึ้นจนถึงระดับสูงที่กว่าทุกวันนี้ประมาณ 12 องศาเซลเซียส จากนั้น ‘จู่ ๆ’ อินเดียนซึ่งก่อนหน้านี้เป็นแผ่นดินธรณีภาคเล็ก ๆ ก็เคลื่อนชนแผ่นยูเรเชีย และตรงจุดที่ชนก็เกิดเป็นเทือกเขาหิมาลัย แผ่นทวีปอื่น ๆ เคลื่อนไปรอบ ๆ จนกระทั่งทวีปแอนตาร์กติกาไปจบลงที่ขั้วโลกใต้และถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็ง (30-40 ล้านปีก่อน) อุณหภูมิบนโลกเริ่มลดฮวบลงเมื่อน้ำแข็งสีขาวของทวีปแอนตาร์กติกาเริ่มสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์กลับขึ้นไปสู่อวกาศ

เมื่อประมาณ 10 ล้านปีก่อน กรีนแลนด์เคลื่อนตัวมาถึงตำแหน่งปัจจุบันและถูกปกคลุมด้วยชั้นน้ำแข็งซึ่งทำให้อุณหภูมิที่ต่ำอยู่แล้วต่ำลงไปอีกจนใกล้กับอุณหภูมิที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

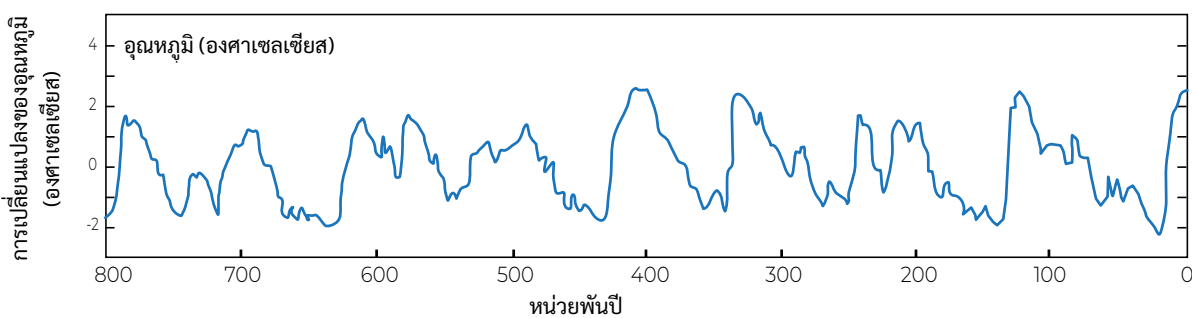
โลกเมื่อ 100 ล้านปีก่อนอบอุ่นกว่าทุกวันนี้มาก น้ำแข็งปกคลุมทวีปแอนตาร์กติกาเมื่อ 30-40 ล้านปีก่อน และปกคลุมกรีนแลนด์เมื่อ 10 ล้านปีก่อน ส่งผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงระดับปัจจุบัน

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



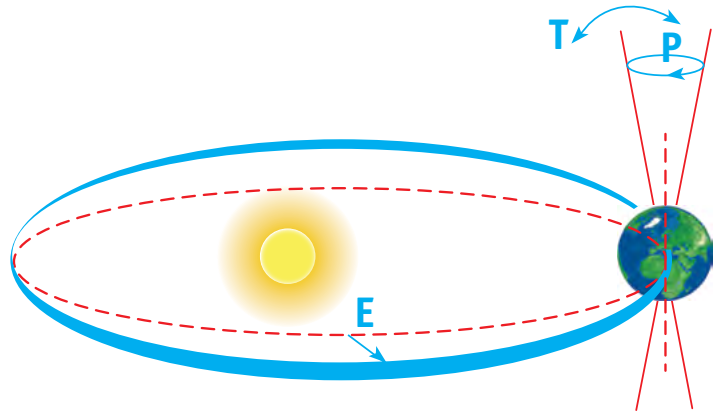
เหตุใดจึงเป็นเช่นนี้ นักวิทยาศาสตร์คิดว่าการสลับกันไปมาระหว่างยุคน้ำแข็งกับช่วงอบอุ่นมีสาเหตุมาจากเหตุผลทางดาราศาสตร์ (ภาพที่ 1.3.6)

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

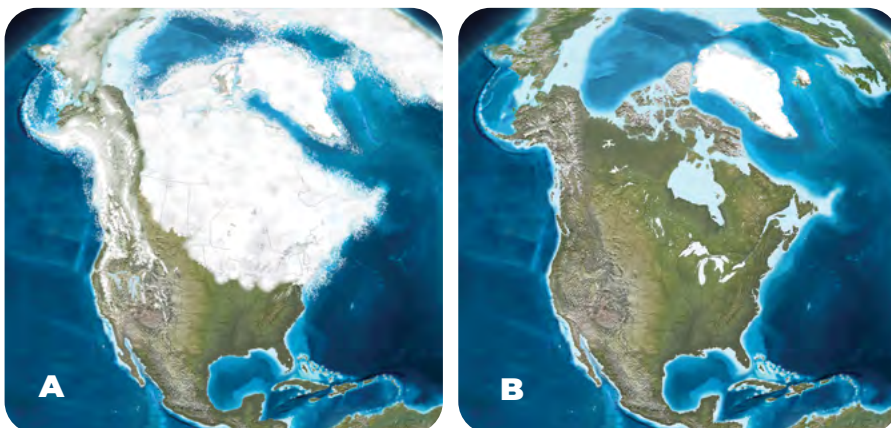


เส้นทางการหมุนเป็นวงของแกนโลกครบรอบทุก 19,000-23,000 ปี เวลาที่อุณหภูมิสูง ยอดของน้ำแข็งตรงขึ้นข้างบนในตอนแรก จากนั้นก็จะเริ่มหมุนคว้างเป็นวง แล้วลูกข่างลูกนั้นก็หยุดหมุนและล้มลง โลกก็เหมือนกับลูกข่างลูกหนึ่ง ซึ่งโอกาสที่จะหยุดหมุนในสองสามร้อยปีนับจากนั้นนั้นยังไม่มี แต่ก็หมุนช้าลงมาเรื่อย ๆ และแกนโลกก็ไม่ได้นิ่งโดยชี้ไปที่จุดเดิมในท้องฟ้า การหมุนรอบที่เกิดจากการหมุนของแกนโลกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่ส่งจากดวงอาทิตย์มายังโลก (ไม่มากไปกว่าการเอียงของแกน) แต่การหมุนรอบนี้ก็ส่งผลต่อความรุนแรงและระยะเวลาของช่วงฤดูหนาวในละติจูดขั้วโลก

วงโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลกเปลี่ยนแปลงไปทุก 400,000 และ 100,000 ปี เมื่อวงโคจรใกล้เคียงวงกลม การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในการไหลเวียนความร้อนจากดวงอาทิตย์จะน้อยกว่าเวลาที่วงโคจรเป็นวงรี

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

ผ่านไปสองถึงสามแสนปี สภาวะแวดล้อมก็เปลี่ยนไป ทำให้ฤดูหนาวในขั้วโลกและแถบขั้วโลกลดลงและอุ่นขึ้น ธารน้ำแข็งเริ่มหดตัว และสภาพภูมิอากาศก็กลับไปสู่สภาพเดิมก่อนหน้านั้น นี่คือนี่ที่เกิดขึ้นเมื่อ 13,000 ปีก่อน ตอนที่ช่วงธารน้ำแข็งครั้งล่าสุดสิ้นสุดลง



ภาพที่ 1.3.7

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

ราว 5,000-7,000 ปีก่อน สภาพภูมิอากาศอบอุ่นกว่าและเปียกชื้นกว่าปัจจุบัน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการพัฒนาการของอารยธรรมมนุษย์ แต่เป็นความเข้าใจผิดหากจะคิดว่าการที่โลกอุ่นขึ้นสักสององศาจะดีต่ออารยธรรมสมัยใหม่ มนุษย์ในปัจจุบันมีความต้องการและเงื่อนไขของชีวิตที่แตกต่างไป กล่าวคือ การมีหย้าอันอุดมสมบูรณ์ไว้สำหรับสัตว์เลี้ยง และมีสัตว์ป่าเหลือเฟือให้ล่ามันไม่เพียงพอที่จะทำให้สังคมดำเนินไปได้อย่างปกติสุขอีกต่อไป

ระดับน้ำในมหาสมุทรของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปตามการมาถึงและการหมดไปของช่วงธารน้ำแข็ง ระหว่างช่วงหนาวเย็นระดับน้ำทะเลอยู่ต่ำกว่าระดับในปัจจุบัน 50-100 เมตร และนั่นก็เป็นเวลาที่คนโบราณอพยพจากยูเรเชียไปยังอเมริกา โดยผ่านทางแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่และมีการข้ามผ่านช่องแคบที่มีน้ำแข็งปกคลุมเป็นบางช่วง ในช่วงที่อบอุ่นขึ้นระหว่างสองถึงสามแสนปีที่ผ่านมา น้ำในมหาสมุทรอยู่ที่ระดับปัจจุบันหรือก็คือสูงขึ้น 5-10 เมตร

เหลืออีกกี่แสนปีโลกถึงจะเข้าสู่ช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไป เนื่องจากช่วงเวลาที่ยาวนานของโลกและการหมุนรอบแกนของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นซับซ้อน จึงเป็นไปได้ที่นักวิทยาศาสตร์จะคาดการณ์ว่าช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไปจะเกิดขึ้นในอีก 15,000 - 20,000 หรือ 30,000 ปี

แต่ก็มีเรื่องที่ชัดเจนอยู่สองเรื่อง เรื่องแรกก็คือมันจะเกิดขึ้น คนรุ่นหลังในอนาคตข้างหน้าอาจจะสามารถปรับตัวได้เนื่องจากภูมิอากาศที่เสถียรและละติจูดเขตร้อนจะไม่หนาวเย็นกว่าที่เป็นอยู่ตอนนี้ มากนัก เรื่องที่สองก็คือช่วงธารน้ำแข็งครั้งต่อไปจะไม่มาถึงเร็ว ๆ นี้ ไม่แม้แต่ภายใน 100 ปีนี้ แต่การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งจะใช้เวลาถึงหลายแสนปี ดังนั้นการมองเห็นความเป็นไปได้ของช่วงธารน้ำแข็งจึงไม่ใช่ปัจจัยสำคัญของสภาพภูมิอากาศในสหัสวรรษล่าสุดหรือในอีกสองสามศตวรรษที่จะมาถึง

ประวัติศาสตร์ภูมิอากาศของโลกตลอดหนึ่งล้านปีที่ผ่านมาถูกกำหนดคุณลักษณะโดยการมาถึงและการหมดไปของช่วงธารน้ำแข็ง โดยที่ภูมิอากาศจะอบอุ่นขึ้นในทุกๆ 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) แต่จากบันทึกที่หลงเหลืออยู่ของช่วงที่สมบรูณ์ (อบอุ่น) และไม่สมบรูณ์ (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

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

การปะทุของภูเขาไฟ

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อำนาจและพลังงานของมันทำให้รู้สึกถึงมากที่สุด แน่ใจว่าคำตอบก็คือการปะทุของภูเขาไฟ คุณคิดว่าภูเขาไฟทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกร้อนขึ้นหรือเย็นลง มองเผิน ๆ ก็ดูเหมือนว่ามันต้องทำให้ชั้นบรรยากาศร้อนขึ้นแน่ ๆ เป็นความจริงที่ว่าลาวาร้อนและก๊าซที่เผาไหม้จากร้อนทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น แต่ก็แค่เป็นแค่ในบริเวณใกล้เคียงของภูเขาไฟลูกนั้นเท่านั้น สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศมากที่สุดไม่ใช่ลาวาหรือก๊าซร้อน แต่เป็นไถ่ถ่านจากภูเขาไฟต่างหาก การปะทุส่งไถ่ถ่านสูงขึ้นไปถึงบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ระดับสูง 10-15 กิโลเมตร และอยู่ตรงนั้นเป็นเวลานาน ไถ่ถ่านเหล่านั้นปิดกั้นไม่ให้รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนผ่าน และด้วยเหตุนี้เองที่โลกทั้งใบเย็นตัวลง



ไม่ว่าภูเขาไฟลูกไหนจะปะทุอย่างรุนแรงจนส่งไถ่ถ่านขึ้นไปถึงชั้นสตราโตสเฟียร์ก็ตาม การปะทุนั้นก็ทำให้เกิดการเย็นตัวลงเป็นเวลาสั้น ๆ ในหนึ่งปีต่อมาเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น หลังจากสงครามโปเลียนในยุโรป ผู้คนต่างก็สงสัยว่าเหตุใดภูมิอากาศถึงหนาวเย็นลงอยู่นานหลายปี สาเหตุนั้นมาจากการปะทุของภูเขาไฟตัมโบราในบริเวณของอินโดนีเซียในปัจจุบัน (ภาพที่ 1.3.9) เหตุการณ์แบบเดียวกันเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2526 หลังจากการปะทุของภูเขาไฟเอล ซิซอนในเม็กซิโก และในปี พ.ศ. 2535 หลังจากการปะทุของภูเขาไฟปินาตูโปในฟิลิปปินส์

หลังจากผ่านไปสองสามปีไถ่ถ่านเหล่านั้นก็สงบลง และภูเขาไฟต่าง ๆ ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลกจนกว่าการปะทุใหญ่ครั้งต่อไปส่งไถ่ถ่านขึ้นไปบนชั้นสตราโตสเฟียร์อีก

การปะทุครั้งใหญ่ ๆ แบบนี้เกิดไม่บ่อย และการปะทุส่วนใหญ่ที่ได้ยินกันมาก็ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลก ตัวอย่างเช่น การปะทุของภูเขาไฟที่มีชื่อเรียกยากอย่าง ‘เอยาฟยาด เลเอคีดล’ (Eyyafyad layekyudl) ในไอซ์แลนด์ในปี พ.ศ. 2553 ได้พ่นไถ่ถ่านออกมาเยอะมาก แต่พวกมันเข้าสู่ชั้นบรรยากาศที่ต่ำลงมาเท่านั้น อากาศยานทั่วทั้งยุโรปต้องหยุดบิน แต่ไถ่ถ่านก็สงบลงอย่างรวดเร็วและไม่แพร่กระจายไปทั่วโลก



ภาพที่ 1.3.9

ภูเขาไฟตัมโบราบนเกาะซัมบาวาในอินโดนีเซีย การปะทุครั้งมหึมาในปี พ.ศ. 2358 ทำให้ยอดเขายุบตัวลง เกิดเป็นหลุมกว้างหกสิบกิโลเมตรและลึกหนึ่งกิโลเมตร

กระแสน้ำในมหาสมุทร

เป็นที่ทราบกันว่าตอนที่ไวกิงชาวอร์เวย์ค้นพบกรีนแลนด์เมื่อหนึ่งพันปีก่อนนั้นบังเอิญตรงกับช่วงอบอุ่นพอดี จึงมีการตั้งชื่อตามบรรดาผู้ค้นพบนับตั้งแต่นั้น แน่แน่นอนว่าแม้แต่ในตอนนั้นกรีนแลนด์ก็ไม่ได้เขียวขจีไปหมด กล่าวคือ มีธารน้ำแข็งปกคลุมบริเวณส่วนใหญ่ของเกาะดังที่เป็นอยู่ทุกวันนี้ แต่แหลมทางตอนใต้ไม่มีน้ำแข็งและค่อนข้างอบอุ่น 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

คนโบราณข้ามจากยูเรเชียไปอเมริกาอย่างไร 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 นำก้อนดินน้ำมันมาติดเป็นมุมฉากกับด้านหลังของแผ่นกระดาษ ก้อนหนึ่งที่ฝั่งสีขาว อีกก้อนหนึ่งที่ฝั่งสีดำ ตั้งขอบกระดาษขึ้น และถือเอาไว้ใกล้กับโคมไฟ (แนะนำให้ใช้โคมไฟที่สว่างมาก) โคมไฟจะทำให้กระดาษส่องสว่าง

ดินน้ำมันก้อนใดร่วงลงมาก่อนเมื่อโคมไฟทำให้แผ่นกระดาษร้อนขึ้น เพราะเหตุใด จงยกตัวอย่างกระบวนการเดียวกันที่เกิดขึ้นบนโลก

3

คุณรู้แล้วว่าสภาพภูมิอากาศบนโลกในยุคของไดโนเสาร์นั้นอบอุ่นกว่าปัจจุบันนี้ เพื่อให้โลกอบอุ่นเหมือนตอนที่ไดโนเสาร์มีชีวิตอยู่อีกครั้ง ทวีปแอนตาร์กติกาต้องเคลื่อนย้ายไปไกลจากขั้วโลกใต้มากพอจนน้ำแข็งบนทวีปละลายหมด

นำลูกแผนที่โลกมาคำนวณจากอัตราส่วนว่าทวีปแอนตาร์กติกาต้องเคลื่อนย้ายไปไกลกี่กิโลเมตร ก่อนที่ศูนย์กลางของมันจะอยู่ที่เส้นรุ้ง 40 องศาใต้

สมมติว่าทวีปแอนตาร์กติกาเคลื่อนย้ายด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อปี จะต้องใช้เวลากี่ปีเพื่อให้การเคลื่อนย้ายของทวีปแอนตาร์กติกาเพียงอย่างเดียวทำให้โลกอบอุ่นขึ้นจนเพียงพอให้ไดโนเสาร์อยู่อาศัยบนโลกได้อีกครั้ง

1.4 | การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน

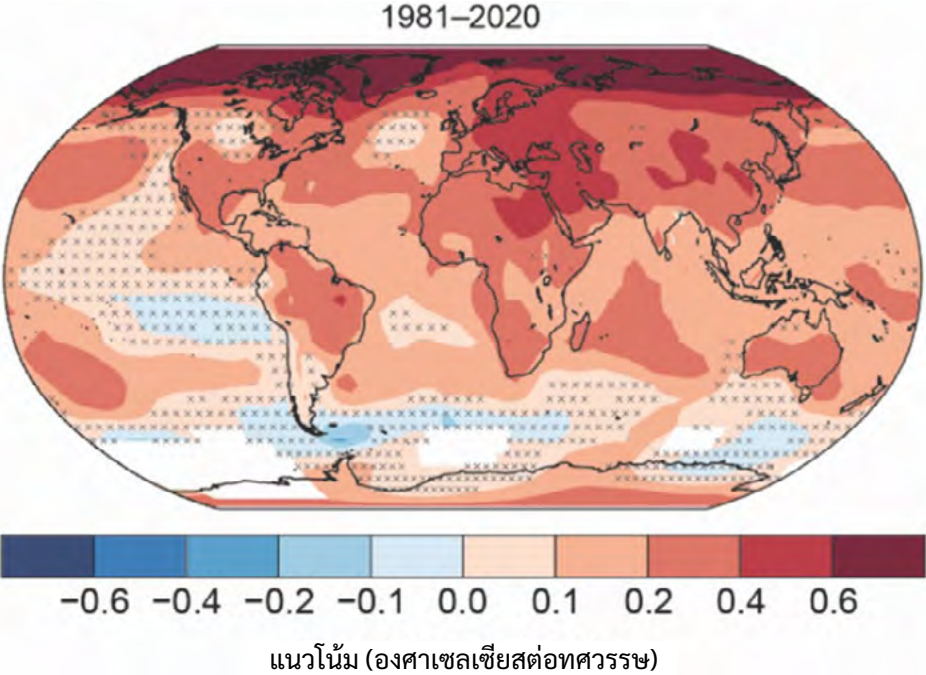
ในช่วงคริสต์ศตวรรษล่าสุด อุณหภูมิบนโลกเริ่มสูงขึ้นในแบบที่อธิบายด้วยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติไม่ได้ ใน 130 ปี ดาวเคราะห์ดวงนี้อบอุ่นขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส! ตามรายงาน AR6 ของคณะกรรมการ IPCC ตลอด 50 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิโลกได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนอย่างน้อยก็ใน 2,000 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิพื้นผิวโลกไม่เคยอบอุ่นกว่านี้ในรอบ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

บริเวณต่าง ๆ มากมายทั่วโลกอบอุ่นขึ้นมาตลอดตั้งแต่ในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1980 รวมถึงบริเวณเอเชียกลางและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 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)



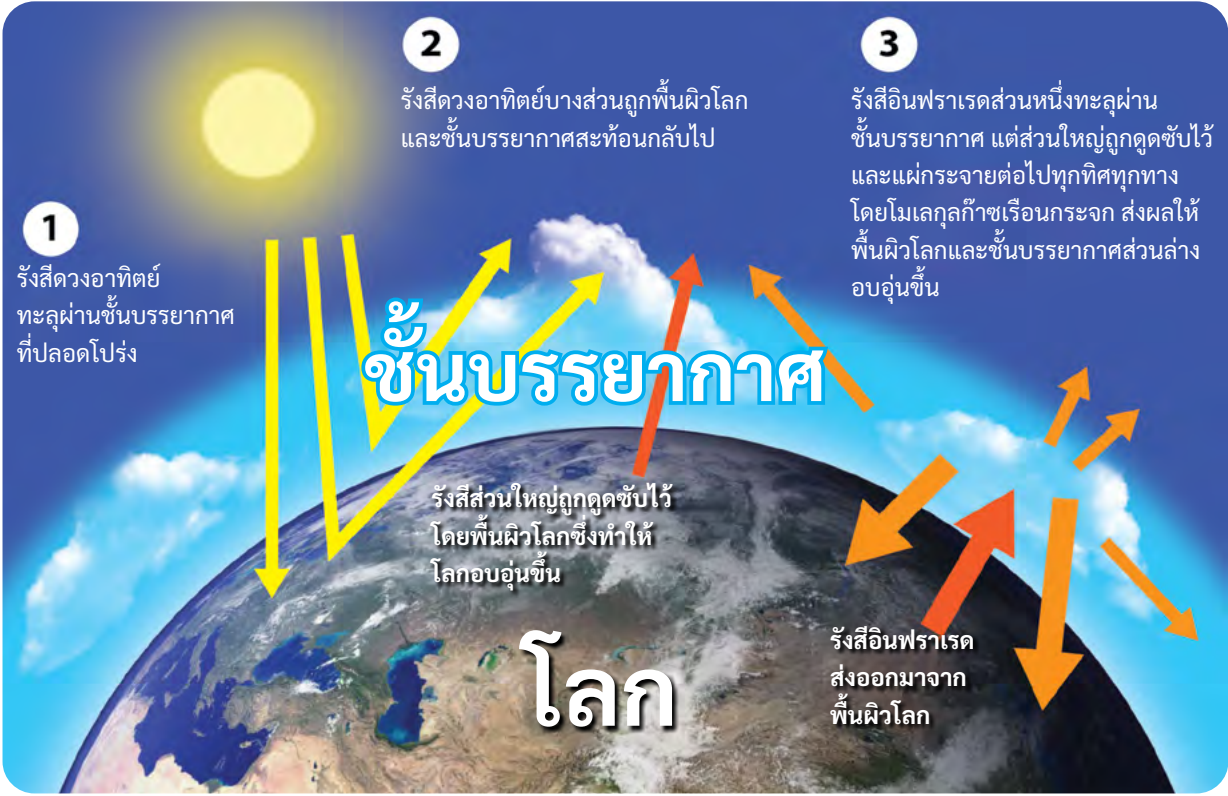
นักวิทยาศาสตร์อธิบายว่าอุณหภูมิโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันนั้นมาจากสิ่งที่เรียกว่า ‘ปรากฏการณ์เรือนกระจก’ ที่เพิ่มสูงขึ้น

ปรากฏการณ์เรือนกระจก

ปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นกระบวนการที่ก๊าซ ฝุ่น และไอน้ำในชั้นบรรยากาศดูดซับความร้อนของโลกและขัดขวางความร้อนที่สะท้อนมาจากพื้นผิวโลก ตอนแรกที่นักวิทยาศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์นี้เมื่อ 200 ปีก่อน พวกเขาให้ข้อสังเกตถึงการที่ชั้นบรรยากาศของโลกทำตัวเหมือนเรือนกระจกที่ใช้ปลูกผัก ดังนั้นก๊าซที่ดูดซับรังสีความร้อนของโลกจึงถูกเรียกว่า ‘ก๊าซเรือนกระจก’ ก๊าซเรือนกระจกหลักในชั้นบรรยากาศคือคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ (เพื่อให้เข้าใจง่ายจะเรียกพวกมันตามสูตรเคมี CO₂ CH₄ และ N₂O) และก๊าซอื่น ๆ รวมถึงไอน้ำด้วย พวกมันขัดขวางรังสีอินฟราเรดจากพื้นผิวโลก ผลก็คือชั้นบรรยากาศด้านล่างอบอุ่นขึ้น หากไม่มีปรากฏการณ์เรือนกระจก อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกก็จะไม่สูง +14 องศาเซลเซียสอย่างตอนนี้ แต่เป็น -19 องศาเซลเซียส ความร้อนของโลกย่อมจะกระจายไปสู่อวกาศโดยไม่ทำให้ชั้นบรรยากาศอบอุ่นขึ้น สิ่งนี้จะทำให้การมีสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นเรื่องยาก

ภาพที่ 1.4.2

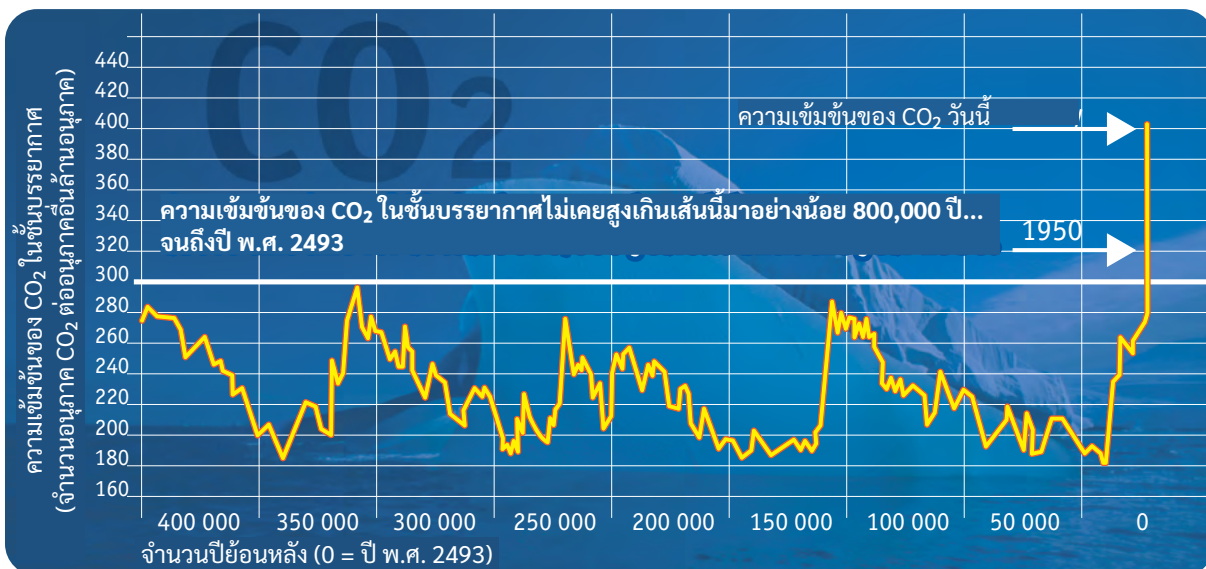
สมดุลพลังงานของโลกและปรากฏการณ์เรือนกระจก



นักวิทยาศาสตร์คาดการณ์เอาไว้แล้วว่าด้วยการผลิตและเผาถ่านหิน น้ำมัน และแก๊ส มนุษย์จะปล่อย CO₂ และ CH₄ ปริมาณมากออกมา ทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกรุนแรงขึ้น ในกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 การคาดการณ์ได้รับการยืนยันว่าความเข้มข้นของก๊าซเหล่านี้ทั่วโลกได้เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 1.4.3)

ภาพที่ 1.4.3

ความเข้มข้นของ CO₂ ในชั้นบรรยากาศตลอด 400,000 ปีที่ผ่านมา



ก๊าซเรือนกระจก เป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ผลจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก และพัฒนาการของการขนส่งและการทำลายป่า ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) และไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ได้ทำลายสถิติสูงสุดในรอบ 800,000 ปี ความเข้มข้นตามธรรมชาติของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศแตกต่างกันออกไปตลอดประวัติศาสตร์ระหว่าง 180 ถึง 300 ppm (ส่วนต่อล้าน) อนุภาคอื่น การวิเคราะห์ครั้งล่าสุดในการสังเกตการณ์จากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกสำหรับ CO₂ CH₄ และ N₂O ได้ทำลายสถิติสูงสุดในปี พ.ศ. 2565 โดยที่ CO₂ อยู่ที่ 418 ppm CH₄ อยู่ที่ 1923 ppb (ส่วนต่อพันล้าน) และ N₂O อยู่ที่ 336 ppb ค่าเหล่านี้แสดงถึงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 150, 264 และ 124 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม แนวคิดที่ว่ากิจกรรมของมนุษย์เสริมความรุนแรงของปรากฏการณ์เรือนกระจกถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชวานเต อาร์เรเนียส (Svante Arrhenius) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2439

ความเข้มข้นของ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เพียงเท่านั้นหรือเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ

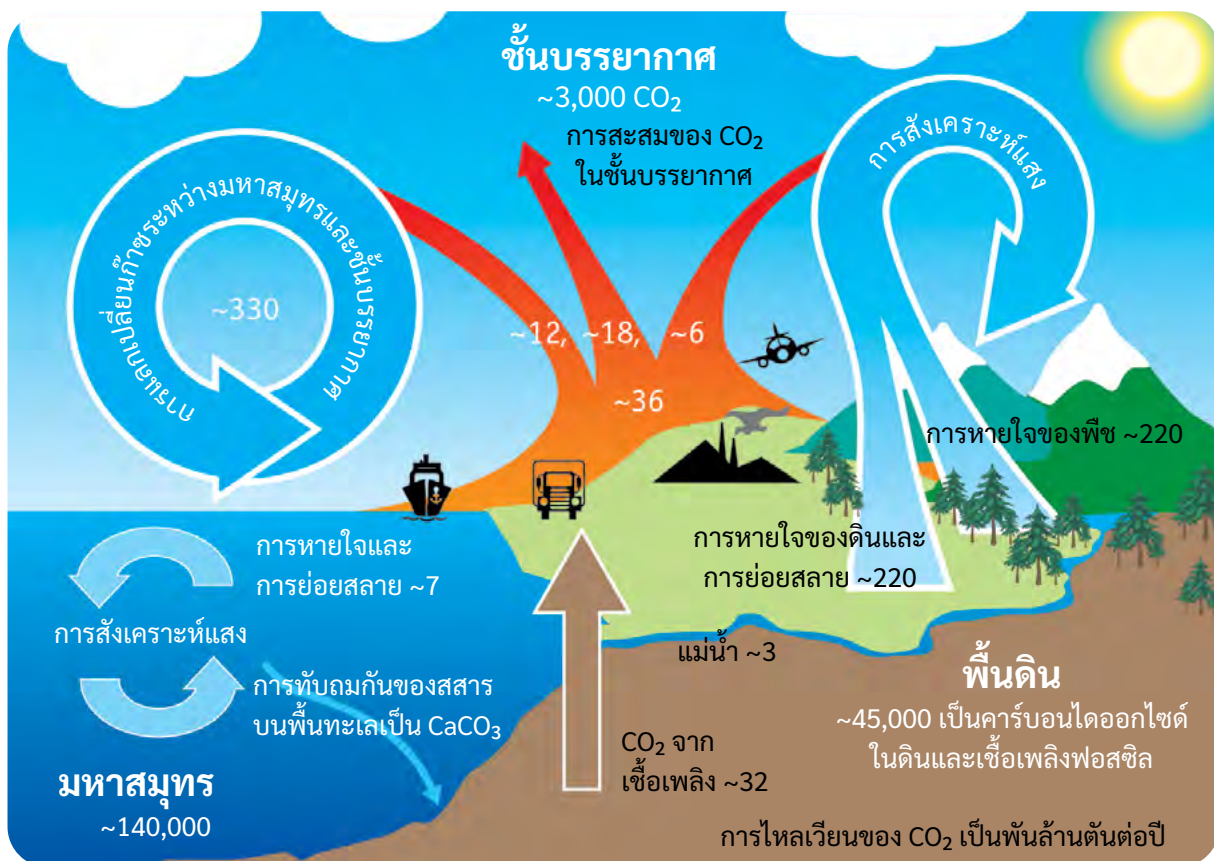
กระบวนการทางธรรมชาติอย่างการหายใจในสิ่งมีชีวิต การย่อยสลาย การแลกเปลี่ยนระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศ กิจกรรมภูเขาไฟ และไฟป่าที่ปล่อย CO₂ เข้าไปในชั้นบรรยากาศ และมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคาร์บอนของโลก (ภาพที่ 1.4.4) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ไอโซโทปเผยว่าการเพิ่มขึ้นของ CO₂ ในชั้นบรรยากาศเมื่อไม่นานมานี้ เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก อย่างเช่นการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีองค์ประกอบทางโมเลกุลที่แตกต่างอย่างชัดเจนจาก CO₂ ที่ปล่อยออกมาโดยกระบวนการทางธรรมชาติเหล่านี้.

การวิเคราะห์ไอโซโทป (Isotope)

อะตอมของสารชนิดเดียวกันอาจมีจำนวนอนุภาคบางชนิดที่เรียกว่านิวตรอนแตกต่างกัน จำนวนนิวตรอนในอะตอมบ่งชี้ว่า CO₂ ในชั้นบรรยากาศมาจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตหรือจากการเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ

ภาพที่ 1.4.4

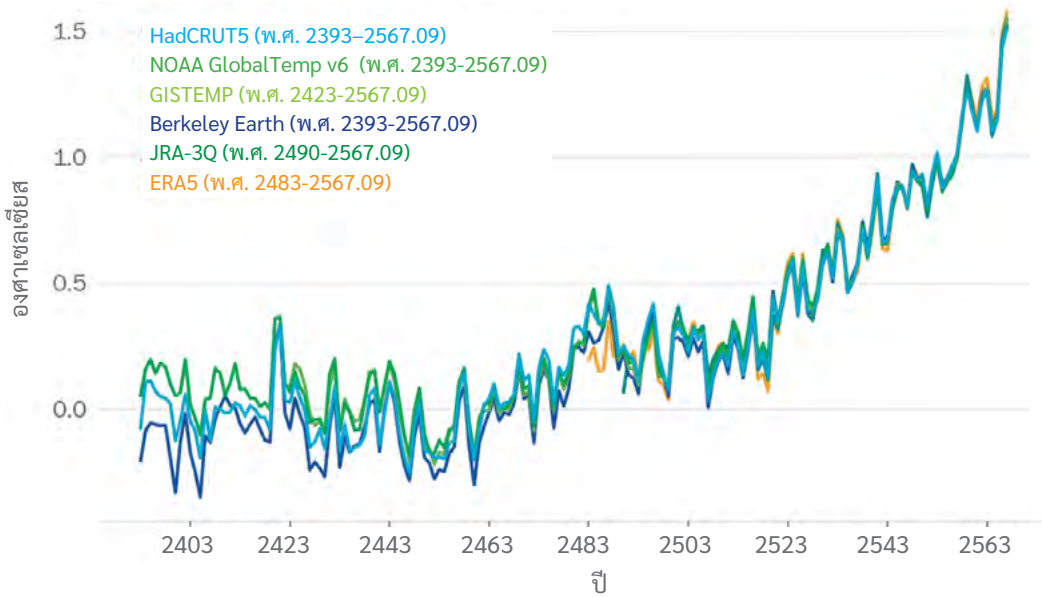
วัฏจักร CO₂ ในธรรมชาติ



มหาสมุทร ป่าไม้ และดินของโลก ‘ช่วยเหลือ’ มนุษย์ด้วยการดูดซับ CO₂ เอาไว้ครึ่งหนึ่งจากทั้งหมด แต่อีกครึ่งหนึ่งก็ยังคงสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ (ภาพที่ 1.4.4) และเพิ่มปรากฏการณ์เรือนกระจกให้มากขึ้น สิ่งนี้ทำให้ชั้นบรรยากาศ (ภาพที่ 1.4.5) และต่อมาก็คือมหาสมุทรอบอุ่นขึ้น (ภาพที่ 1.4.6) การเพิ่มขึ้นของ CO₂ 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 CO₂ จากชั้นบรรยากาศลดลงเมื่อเทียบกับในอดีต

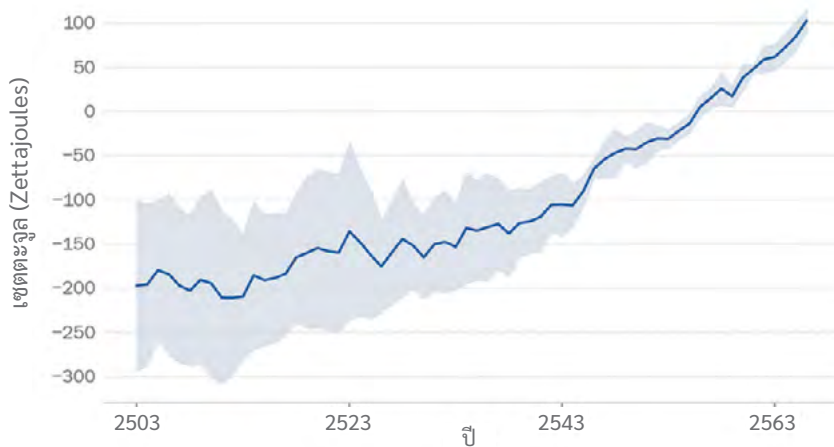
ภาพที่ 1.4.5

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกระหว่างปี พ.ศ. 2393 ถึงปี พ.ศ. 2567 ตามที่แสดงโดยศูนย์อุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ



ภาพที่ 1.4.6

การเพิ่มขึ้นของปริมาณความร้อนในมหาสมุทรระหว่างปี พ.ศ. 2498 ถึงปี พ.ศ. 2563



หมายเหตุ: ปริมาณความร้อนในมหาสมุทรคือความร้อนที่มหาสมุทรดูดซับและกักเก็บไว้

มหาสมุทรมึบทบาทสำคัญที่สุดในการกำหนดรูปแบบสภาพภูมิอากาศของโลก มหาสมุทรมีพลังงานของระบบภูมิอากาศของโลกมากกว่าร้อยละ 90 ถ้ามีเพียงอุณหภูมิชั้นบรรยากาศเท่านั้นที่เพิ่มสูงขึ้นโดยไม่รวมถึงอุณหภูมิของมหาสมุทร ก็จะมีเหตุให้วิตกกังวลน้อยลงมาก นี่ย่อมหมายความว่าองค์ประกอบหลักในระบบภูมิอากาศยังคงไม่ได้รับผลกระทบ นำเสียดายที่อุณหภูมิของมหาสมุทรก็เพิ่มสูงขึ้นทุกปีเช่นกัน 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 โดยส่วนใหญ่ การเพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นในมหาสมุทร

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

ภาพที่ 1.4.7

ละอองลอยที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์



บทบาทของละอองลอยในวิทยาศาสตร์ภูมิอากาศนั้นซับซ้อน โดยทั่วไปอนุภาคที่มีสีอ่อนในชั้นบรรยากาศจะสะท้อนแสงแดดที่มากกระทบและทำให้เกิดการเย็นลง ละอองลอยสีอ่อนก่อตัวจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งปล่อยออกมาจากการปะทุของภูเขาไฟ ซึ่งรวมตัวเข้ากับน้ำในชั้นบรรยากาศและก่อตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่สามารถลอยไปได้รอบโลก และยังคงอยู่ในอากาศอีกนานสองถึงสามปี การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลปล่อยอนุภาคซัลเฟตและ SO₂ ซึ่งสามารถสะท้อนแสงแดดและทำให้ชั้นบรรยากาศเย็นลงได้เหมือนกับละอองลอยจากภูเขาไฟ อนุภาคสีเข้มดูดซับแสงแดดและทำให้ชั้นบรรยากาศอบอุ่นขึ้น ตัวอย่างของอนุภาคสีเข้มก็คือเขม่าซึ่งเกิดจากอนุภาคของคาร์บอนจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม้หรือสสารจากพืช เนื่องจากอนุภาคต่างประเภทกันทำให้เกิดผลกระทบต่างกัน ละอองลอยจึงเป็นหัวข้อร้อนในการค้นคว้าวิจัยด้านสภาพภูมิอากาศ

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

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

นับตั้งแต่ช่วงเวลาที่ผู้คนเริ่มเผาถ่าน อนุภูมิภาคบนพื้นผิวโลกได้เพิ่มสูงขึ้นเกือบ 1.2 องศาเซลเซียส โดยที่ 0.85 องศาเซลเซียสของการเพิ่มสูงขึ้นนั้นเกิดขึ้นใน 50 ปีที่ผ่านมา (ภาพที่ 1.4.5) มองเผิน ๆ การเปลี่ยนแปลงนี้ดูเล็กน้อย และดูไม่มีพิษมีภัยอะไร แต่ต้องจำไว้ว่านี่เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของโลกทั้งใบ ในทุกฤดูกาลของปี การเปลี่ยนแปลงในบางสถานที่สูงกว่านั้นมาก นักวิทยาศาสตร์พบว่าขั้วโลกอนุภูมิภาคสูงขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของทั้งโลก เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ‘การอุ่นขึ้นของขั้วโลกอย่างรวดเร็ว’ (Polar amplification) ปรากฏการณ์นี้พบเห็นได้ชัดในเขตอาร์กติก ซึ่งอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของโลกเกือบสี่เท่าในช่วงสี่ทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาเมื่อเร็ว ๆ นี้แสดงให้เห็นว่าเขตแอนตาร์กติกกำลังอุ่นขึ้นเร็วกว่าค่าเฉลี่ยของโลกถึงสองเท่า

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

สภาพอากาศในอดีตไม่ได้มีพฤติกรรมแปลก ๆ ด้วยหรือหรือ แน่แน่นอนว่ามี อเล็กซานเดอร์ พุชกิน (Alexander Pushkin) กวีชาวรัสเซียผู้โด่งดังเขียนไว้ใน ‘ยูจีน โอนีกิน’ (Eugene Onegin) งานชิ้นเอกของเขาว่า

**“ในปีนั้น ฤดูใบไม้ร่วงยังเยื้องย่าง
ละลานหลา ท้องทุ่ง มียอมลา
ธรรมชาติเฝ้ารอ อย่างเหวว่า
เหมันต์ช้า ยังรั้งหิมะโรย
จนราตรี วันที่สาม มกราคม...”**

พุชกิน (Pushkin) ใช้ปฏิทินจูเลียน ‘สไตล์เก่าแก่’ ของรัสเซีย ดังนั้น 3 มกราคมของเขาจึงเป็น 20 ธันวาคมตามปัจจุบัน แต่นั่นก็ยิ่งซ้ำมากสำหรับหิมะแรกในส่วนกลางของรัสเซียฝั่งยุโรป ซึ่งหิมะเริ่มตกในปลายเดือนตุลาคม

ภาพที่ 1.4.8

ทาเทียนานั่งอยู่บนเตียง ฤดูหนาว
ภาพวาดจาก ‘ยูจีน โอนีกิน’ (Eugene Onegin) โดย ดี เบลยูกิน (D. Belyukin)
(รัสเซีย พ.ศ. 2542)



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

ประเด็นสำคัญคือปรากฏการณ์ธรรมชาติอันเป็นอันตรายเหล่านี้เกิดขึ้น และจะเกิดขึ้นอีกในอนาคต มนุษย์จะต้องเผชิญหน้ากับช่วงเวลาที่อากาศหนาวเยือก แม้ว่าในระยะยาว ช่วงที่หนาวเย็นจะเริ่มมีน้อยลง ภาวะโลกร้อนอาจมีผลทางบวกบ้างบางประการ แต่ในปัจจุบันจะเห็นผลกระทบในทางลบเสียมากกว่า

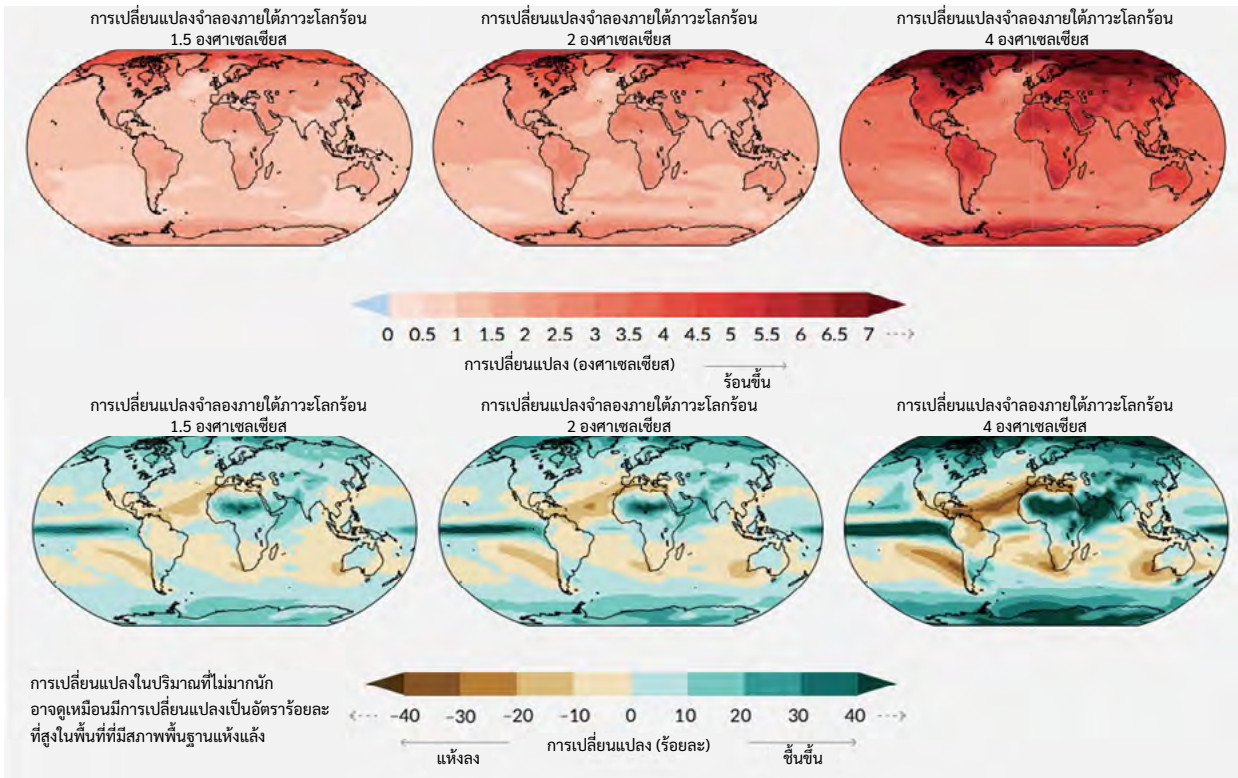
นักวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศวิทยา (climatologist) ใช้แบบจำลองสภาพอากาศในคอมพิวเตอร์ (computer model) ซึ่งพิจารณาผลกระทบทั้งหมด (ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากมนุษย์) เพื่ออธิบายสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน และพยากรณ์สิ่งที่อาจเกิดขึ้นตลอดคริสต์ศตวรรษที่ 21 อุณหภูมิโลกอาจเพิ่มขึ้นอย่างมากในคริสต์ศตวรรษนี้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

นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อนเพียงเสี้ยวองศา ก็สามารถนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วฉับพลัน ทั้งต่ออุณหภูมิเฉลี่ยในภูมิภาค ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในดิน นักวิทยาศาสตร์ใช้ฐานข้อมูลสถานการณ์สมมติฉบับพันสถานการณ์เพื่อประเมินว่าภาวะโลกร้อนจะมีผลอย่างไรต่อตัวบ่งชี้ภูมิอากาศต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในดิน ด้วยความที่แบบจำลองสภาพอากาศที่ใช้ทั่วโลกพัฒนาขึ้นมาก นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถประเมินผลกระทบในภูมิภาคได้อย่างแม่นยำขึ้น

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

ภาพที่ 1.4.9

ความเปลี่ยนแปลงที่คำนวณโดยแบบจำลองภูมิอากาศ 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) และยังเป็นเช่นนั้นต่อไปในอีกศตวรรษข้างหน้า นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำถึงความจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในคริสต์ทศวรรษปัจจุบัน เพื่อให้ยังมีโอกาสควบคุมให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 2 องศาและ 1.5 องศาเซลเซียส

ผลกระทบที่ใหญ่ที่สุดที่มนุษย์มีต่อระบบภูมิอากาศนั้นมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของพลังงานฟอสซิลต่าง ๆ ทั้งถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงไฟฟ้า การขนส่ง อุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน จะช่วยลดผลกระทบของมนุษย์ต่อสภาพภูมิอากาศ แต่การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่สร้างผลกระทบดังกล่าว การตัดไม้ทำลายป่ายังเป็นอีกปัจจัยที่สร้างผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศอย่างมาก ด้วยความที่ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ ก๊าซมีเทนรั่วไหลจากท่อส่งก๊าซ หลุมฝังกลบของเสียที่บริหารจัดการไม่เหมาะสม และการใช้ก๊าซสังเคราะห์ชนิดใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรมล้วนการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกในปริมาณมาก นี่คือเหตุผลที่ทำให้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องที่แก้ไขได้ยาก จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงสังคมและเศรษฐกิจโลกทั้งหมด ให้กลายเป็นระบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ระบบดังกล่าวสามารถดำเนินไปเพื่อประโยชน์ของทั้งมนุษย์และโลก นักวิทยาศาสตร์เน้นย้ำถึงความจำเป็นเร่งด่วนของการเปลี่ยนแปลงนี้ เพื่อให้ยังมีโอกาสอยู่บ้างในการทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่และปลอดภัย



คำถาม

1

ในอดีตมีภาวะโลกร้อนหรือไม่ เกิดขึ้นได้อย่างไร

—

2

ทำไมอุณหภูมิโลกจึงสูงขึ้นมากในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา

—

3

สาเหตุที่คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีความเข้มข้นสูงขึ้น เป็นเพราะสาเหตุตามธรรมชาติ หรือเพราะการกระทำของมนุษย์
สาเหตุมีการพิสูจน์แล้วหรือยัง

—

4

รู้ได้อย่างไรว่ามนุษย์ทั้งทำให้โลกทั้งร้อนขึ้นและเย็นลง
มนุษย์สร้างผลกระทบด้านใดมากกว่า

—

5

อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นกี่องศาในช่วง 130 ปีที่ผ่านมา
ทวีปเอเชียได้รับผลกระทบมากกว่าหรือน้อยกว่าโลกในภาพรวม





กิจกรรม

หาขอนไม้หนา ๆ ที่เลื่อยตามขวาง หรือต่อไม้ขนาดใหญ่

ให้ลองดูที่วงปีที่เนื้อไม้ จะเห็นว่ามีบางวงที่แคบกว่าวงอื่น

วงปีที่แคบที่สุดคือวงที่อยู่กลางขอนไม้หรือต่อไม้ และวงที่หนที่สุดคือวงที่อยู่ตามขอบ

หากวงปีกว้างแสดงว่าปีนั้นอากาศอุ่น และหากวงปีแคบแสดงว่าปีนั้นอากาศหนาวเย็น

ลองนับว่าช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีปีที่อากาศอุ่นกี่ปีและปีที่อากาศหนาวเย็นกี่ปี

