

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของอากาศและชั้นบรรยากาศ หลักการของพลังงาน พลังงานจากดวงอาทิตย์ พลังงานจากโลก สมดุลพลังงานของโลก การเกิดลม ปัจจัยของการเกิดลม แบบจำลองการหมุนเวียนของอากาศบนโลก การแบ่งชั้นน้ำในมหาสมุทร ประโยชน์ของมหาสมุทรและการหมุนเวียนน้ำ เมฆและการเกิดเมฆ เสถียรภาพของอากาศ แนวปะทะอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา ปรากฏการณ์เรือนกระจก คลื่นความร้อน การตรวจอากาศ การพยากรณ์อากาศ แผนที่อากาศ

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรมและจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

- อธิบายปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรับและคายพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันและผลที่มีต่ออุณหภูมิอากาศในแต่ละบริเวณของโลก
- อธิบายกระบวนการที่ทำให้เกิดสมดุลพลังงานของโลก
- อธิบายผลของแรงเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ แรงคอริโอลิส แรงสู่ศูนย์กลาง และแรงเสียดทานที่มีผลต่อการหมุนเวียนของอากาศ
- อธิบายการหมุนเวียนของอากาศตามเขตละติจูด และผลที่มีต่อภูมิอากาศ
- อธิบายปัจจัยที่ทำให้เกิดการแบ่งชั้นน้ำในมหาสมุทร
- อธิบายปัจจัยที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทรและรูปแบบการหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทร
- อธิบายผลของการหมุนเวียนน้ำในมหาสมุทรที่มีต่อลักษณะลมฟ้าอากาศ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม
- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพและการเกิดเมฆ
- อธิบายการเกิดแนวปะทะอากาศแบบต่างๆ และลักษณะลมฟ้าอากาศที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก พร้อมยกตัวอย่างข้อมูลสนับสนุน
- วิเคราะห์ และอภิปรายเหตุการณ์ที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก และนำเสนอแนวปฏิบัติของมนุษย์ที่มีส่วนช่วยในการชะลอการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก
- แปลความหมายสัญลักษณ์ลมฟ้าอากาศบนแผนที่อากาศ
- วิเคราะห์และคาดการณ์ลักษณะลมฟ้าอากาศเบื้องต้นจากแผนที่อากาศและข้อมูลสารสนเทศ เพื่อวางแผนในการประกอบอาชีพและการดำเนินชีวิตให้สอดคล้องกับสภาพลมฟ้าอากาศ

รวมทั้งหมด 13 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง
พงศกร จิราวัฒน์คุปต์
ดร.ภาณุ ดริยเวช

ผู้ตรวจ
รศ. ดร. ไกรสร คำมา
ผศ. วสุเมธี เนียมนาค
ผศ. ดร. กฤษณ์ วันอินทร์

บรรณาธิการ
ผศ. ดร. มนต์รี ชูวงศ์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

พงศกร จิวภรณ์คุปต์
ดร.ภาณุ ดริยเวช

ผู้ตรวจ

รศ. ดร.โกสธ คำมา
ผศ.วสุเมธี เนียมมาด
ผศ. ดร.กฤษณ์ วันอินทร์

บรรณาธิการ

ผศ. ดร.มนตรี ชูวงษ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

พงศกร จิวภรณ์คุปต์.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.--กรุงเทพฯ :

แม็คเอดูเคชั่น, 2562.

188 หน้า.

1. โลก. 2. ดาราศาสตร์. 3. อวกาศ. I. ภาณุ ดริยเวช,

ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

550

ISBN 978-616-345-155-2

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 10,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากนี้จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

MAC EDUCATION

ส่งชานฉัตรชัย ปรังณียลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทน์เกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท ไชเบอร์พริ้นท์กรุ๊ป จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบสามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านกาวัดและประเมินผลได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียน ให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็ความรู้ ความคิดที่เป็นแกนสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควาได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 นี้ คือ กิจกรรมบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ (STEM) ตามเป้าหมายสำคัญของการปรับหลักสูตรครั้งนี้ ซึ่งผู้เรียนและผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนแม็ค 4.0 จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์  ผู้เรียนสามารถใช้ส마트โฟนสแกน AR Code โดยใช้แอปพลิเคชัน SnapLearn ทำหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียน แบบฝึกหัด คู่มือครู และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงใหม่ชุดนี้ จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษารอบนี้ เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

วิธีการใช้ SnapLearn

1. ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน SnapLearn 
2. เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน SnapLearn

- 2.1 กดปุ่มตรงกลาง  เพื่อแสดงแถบโค้ด ISBN ที่ปกหลังมุมล่างด้านขวามือ
- 2.2 กรอกรหัสหนังสือเรียนลงในช่องค้นหา ("Earth Science, Astronomy and Space M.5")

3. กดดาวน์โหลดหนังสือเรียน
4. สแกนภาพหนังสือเรียนที่สัญลักษณ์ 

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้พัฒนาและปรับทั้งเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 6 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามนำเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ การทบทวนเนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีความพึงพอใจตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

พงศกร จิวภรณ์คุปต์
ดร.ภาณุ ตรีเวช

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 บรรยากาศและสมดุลพลังงานของโลก

1. องค์ประกอบของอากาศและชั้นบรรยากาศ	3
2. หลักการของพลังงาน	9
3. พลังงานจากดวงอาทิตย์และโลก	13
4. สมดุลพลังงานของโลก	20
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	25

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 การหมุนเวียนของอากาศ

1. การเกิดลม	28
2. ปัจจัยของการเกิดลม	34
3. แบบจำลองการหมุนเวียนของอากาศบนโลก	47
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	60

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 การหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทร

1. การแบ่งชั้นน้ำในมหาสมุทร	64
2. การหมุนเวียนของน้ำในมหาสมุทร	67
3. ประโยชน์ของมหาสมุทรและการหมุนเวียนของน้ำ	74
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	78

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 เมฆและการเกิดเมฆ

1. เมฆและการเกิดเมฆ	81
2. เสถียรภาพของอากาศ	94
3. แนวปะทะอากาศ	97
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	104

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 ความแปรปรวนของอากาศ

1. ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา	107
2. ปรากฏการณ์เรือนกระจก	113
3. คลื่นความร้อน	118
4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก	119
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	125

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 การพยากรณ์อากาศ

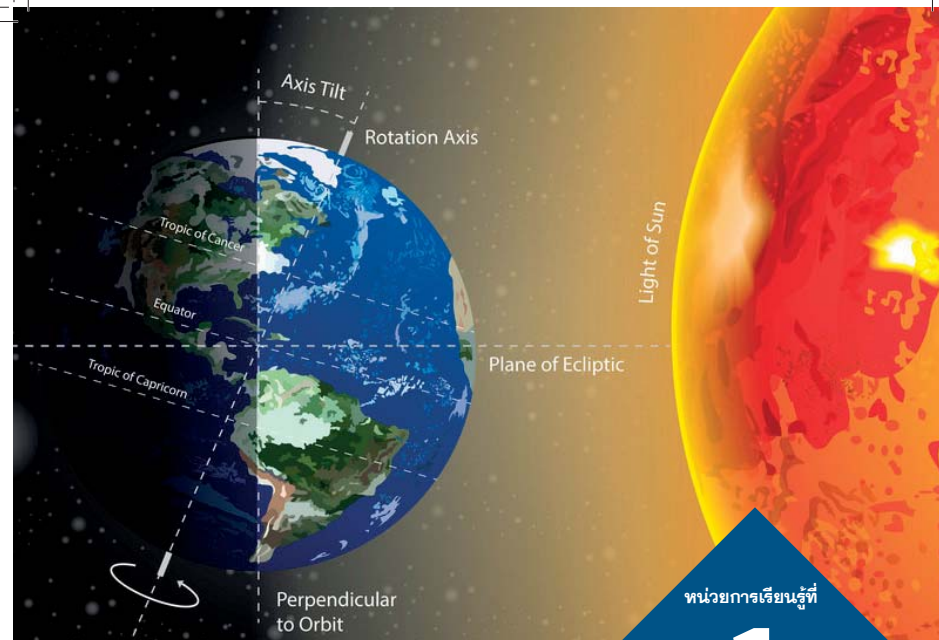
1. การตรวจอากาศ	128
2. การพยากรณ์อากาศ	141
3. แผนที่อากาศ	152
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	171

บรรณานุกรม

174

อภิธานศัพท์

177



หน่วยการเรียนรู้ที่

1



บรรยากาศและสมดุล พลังงานของโลก

สาระการเรียนรู้

- 1 องค์ประกอบของอากาศและชั้นบรรยากาศ
- 2 หลักการของพลังงาน
- 3 พลังงานจากดวงอาทิตย์และโลก
- 4 สมดุลพลังงานของโลก

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรับและคายพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันและผลที่มีต่ออุณหภูมิอากาศในแต่ละบริเวณของโลก
2. อธิบายกระบวนการที่ทำให้เกิดสมดุลพลังงานของโลก

1. องค์ประกอบของอากาศและชั้นบรรยากาศ



แนวคิดสำคัญ

บรรยากาศ คือ อากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วยแก๊สชนิดต่างๆ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซิลิเนียม รวมถึงอนุภาคต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้อ่อน น้ำ บรรยากาศของโลกจะแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นมีลักษณะทางกายภาพของบรรยากาศที่แตกต่างกัน



บรรยากาศ (atmosphere) คือ อากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วยแก๊สชนิดต่างๆ รวมถึงอนุภาค เช่น ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้อ่อน อนุภาคเกลือ ไอ้ น้ำ เถ้าภูเขาไฟ กลุ่มควันไฟฟ้า หรืออื่นๆ ที่มีขนาดเล็กมากจนสามารถแขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ บรรยากาศโลกจะมีความหนาแน่นมากที่บริเวณใกล้พื้นดินและค่อยๆ ลดลงเมื่ออยู่ในระดับสูงขึ้นไปจากพื้นโลก



บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกจัดเป็นสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้ชิดกับมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง อากาศที่มนุษย์หายใจเป็นส่วนหนึ่งของบรรยากาศ มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ อุณหภูมิ และองค์ประกอบของอากาศ และยังมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตรายจากรังสีที่มาจากนอกโลก หากโลกปราศจากบรรยากาศแล้ว จะไม่มีสิ่งใดช่วยปกป้องรังสีจากดวงอาทิตย์ จะไม่มีลม เมฆ และฝนเกิดขึ้นบนโลก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวัน การทรงตัวขององค์ประกอบและโครงสร้างชั้นบรรยากาศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา รวมถึงเหตุการณ์ต่างๆ ที่กำลังเกิดขึ้นในโลก เช่น ภาวะโลกร้อน ปัญหาของโอโซน รวมถึงการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ในบรรยากาศ

1.1 องค์ประกอบของอากาศ

องค์ประกอบของแก๊สที่เป็นอากาศแห้งและบริสุทธิ์ที่พบในอากาศทั่วไปประกอบด้วยแก๊สหลักที่มีค่าคงที่โดยปริมาตร ได้แก่ ไนโตรเจนร้อยละ 78.084 ออกซิเจนร้อยละ 20.946 และอาร์กอนร้อยละ 0.934 ส่วนแก๊สอื่นๆ จะเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เล็กน้อยและมีปริมาณเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน นีออน ซิลิเนียม คริปทอน ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ ซีนอน ไอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์

องค์ประกอบของอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้นั้นแม้ว่าจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและภูมิอากาศเป็นอย่างมาก เช่น ไอ้ น้ำ อนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ ไอ้ น้ำที่อยู่ในอากาศทำให้เกิดความชื้น และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในบรรยากาศ เนื่องจากไอ้ น้ำในบรรยากาศจะควบแน่นเป็นเมฆ ทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรน้ำบนโลก ส่วนอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีขนาดเหมาะสมจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของการควบแน่น (condensation nuclei) ส่งผลให้ไอ้ น้ำรวมตัวกันเป็นหยดน้ำและเกิดเมฆได้ง่ายขึ้น

การที่แกนหมุนของโลกเอียง ส่งผลต่อพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์อย่างไร

1.2 ชั้นบรรยากาศ

การจำแนกบรรยากาศเป็นชั้นๆ ตามความสูง สามารถพิจารณาได้จากสมบัติขององค์ประกอบหรือลักษณะทางกายภาพของบรรยากาศ เช่น สมบัติทางเคมี อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความหนาแน่นของแก๊ส สภาพทางไฟฟ้า จากสมบัติที่กล่าวมาทำให้สามารถจำแนกบรรยากาศได้หลากหลายแบบ แต่เกณฑ์ที่นิยมในการจำแนกชั้นบรรยากาศในทางอุตุนิยมวิทยา คือ การจำแนกชั้นบรรยากาศตามปริมาณสารประกอบทางเคมีของแก๊สในบรรยากาศ ซึ่งแตกต่างกันตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น และการจำแนกชั้นบรรยากาศตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามความสูง

การจำแนกชั้นบรรยากาศตามปริมาณสารประกอบทางเคมีของแก๊สในบรรยากาศ

การพิจารณาโครงสร้างบรรยากาศด้วยปริมาณสารประกอบทางเคมีของแก๊สในบรรยากาศ ทำให้สามารถจำแนกบรรยากาศเป็น 2 ชั้นหลัก ดังนี้

1. โฮโมสเฟียร์ (homosphere)

เป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ อาศัยอยู่ มีการกระจายของแก๊สองค์ประกอบค่อนข้างสม่ำเสมอ ตั้งแต่ระดับพื้นดินถึงระดับความสูงประมาณ 90 กิโลเมตร ในชั้นนี้มีการผสมคลุกเคล้าของแก๊สต่างๆ เป็นเนื้อเดียวกัน แม้ว่าจะมีปริมาณและความหนาแน่นของแก๊สแตกต่างกันบ้างในแต่ละระดับความสูง แต่สัดส่วนปริมาณแก๊สองค์ประกอบของอากาศในบรรยากาศชั้นนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง (สัดส่วนใกล้เคียงกัน)

2. เฮเทอโรสเฟียร์ (heterosphere)

บรรยากาศชั้นนี้เริ่มจากระดับความสูงตั้งแต่ 90 กิโลเมตรขึ้นไป จนถึงระดับความสูงเป็น 10,000 กิโลเมตร แก๊สองค์ประกอบในบรรยากาศชั้นนี้ไม่มีการแพร่กระจายรวมอยู่ด้วยกันเหมือนชั้นโฮโมสเฟียร์ แต่จะมีการแยกกันเป็นชั้นๆ โดยขึ้นกับมวลโมเลกุลของแก๊สและอุณหภูมิที่ความสูงนั้นๆ กล่าวคือ แก๊สที่มีมวลโมเลกุลมากจะแยกชั้นอยู่ที่ระดับความสูงไม่มาก แต่แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อยๆ จะแยกชั้นอยู่ที่ความสูงค่อนข้างมาก

ระดับความสูง (km)	อุณหภูมิ (km)		องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบรอง
3,500	เอกโซสเฟียร์	↑	ไฮโดรเจน	ไฮโดรเจน
	700-2,000		H ₂	H ₂
1,100	เทอร์โมสเฟียร์	↑	He ₂	He ₂
200			O ₂	O ₂ ⁺ , NO ⁺ , O ₂ ⁺ N ₂ ⁺ , e ⁻
90	800	↓	N ₂ , O ₂	
ไอโนสเฟียร์				
ระดับน้ำทะเล				

รูปที่ 1.1 การจำแนกชั้นบรรยากาศเฮเทอโรสเฟียร์ตามองค์ประกอบทางเคมี ความสูงประมาณ 90 กิโลเมตรขึ้นไป จะแยกชั้นของแก๊สแต่ละชนิดตามระดับความสูง

จากรูปที่ 1.1 ชั้นบรรยากาศแบบเฮเทอโรสเฟียร์จะมีแก๊สองค์ประกอบหลักในบรรยากาศแตกต่างกันในแต่ละระดับความสูง ดังนี้

- ที่ระดับความสูงประมาณ 90–200 กิโลเมตร เป็นชั้นบรรยากาศที่มีโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และอาจมีโมเลกุลออกซิเจนอยู่บ้างเล็กน้อย
- ที่ระดับความสูงประมาณ 200–1,100 กิโลเมตร เป็นชั้นบรรยากาศที่มีโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และอาจมีประจุของไนโตรเจน ออกซิเจนประจุบวก เช่น O⁺, NO⁺, O₂⁺, N₂⁺ และอิเล็กตรอนอิสระเป็นองค์ประกอบรอง
- ที่ระดับความสูงประมาณ 1,100–3,500 กิโลเมตร เป็นชั้นบรรยากาศที่มีโมเลกุลของแก๊สฮีเลียม
- ที่ระดับความสูงประมาณ 3,500 กิโลเมตรขึ้นไป จะไม่มีแก๊สของแก๊สไนโตรเจนเป็นหลัก

อย่างไรก็ตาม ขอบเขตของบรรยากาศแต่ละชั้นยังไม่สามารถระบุให้ชัดเจนได้ เนื่องจากอนุภาคที่อยู่ห่างจากพื้นดินมากจะมีน้ำหนักเบา ประกอบกับถ้ามีความเร็วของอนุภาคมากเพียงพอ อาจทำให้อนุภาคนั้นเคลื่อนตัวหลุดพ้นจากแรงโน้มถ่วงของโลกออกสู่อวกาศได้

การจำแนกชั้นบรรยากาศตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูง

การจำแนกบรรยากาศตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูง สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจนและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยแบ่งชั้นบรรยากาศเป็น 4 ชั้น ได้แก่ โทรโพสเฟียร์ สตราโทสเฟียร์ มีโซสเฟียร์ และเทอร์โมสเฟียร์ ส่วนรอยต่อระหว่างชั้นบรรยากาศจะเป็นช่วงที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูง เรียกว่า **ช่วงหยุดการเปลี่ยนแปลง (pause)** ได้แก่ ชั้นโทรโพพอส ชั้นสตราโทพอส และชั้นมีโซพอส มีรายละเอียดดังนี้

1. โทรโพสเฟียร์ (troposphere) เป็นชั้นที่อยู่ล่างสุดติดกับพื้นดิน มีความหนาแน่นมากที่สุด แต่มีความหนาของชั้นบรรยากาศน้อยกว่าบรรยากาศชั้นอื่นๆ ในสภาวะอากาศปกติ อุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิวโลกมีค่าประมาณ 15 องศาเซลเซียส และจะมีอุณหภูมิลดลงตามความสูง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.5 องศาเซลเซียสต่อความสูง 1 กิโลเมตร องค์ประกอบของบรรยากาศในชั้นนี้ประกอบด้วยอนุภาคของฝุ่นละออง ผงเกลือ ละอองเกสรดอกไม้ รวมถึงใบางสถานที่อาจมีสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ เช่น เขม่าควันจากการเผาไหม้ ไอน้ำมัน ถ้าอนุภาคเหล่านี้มีขนาดที่เหมาะสมจะทำหน้าที่เป็นแกนการควบแน่นให้ไอน้ำในบรรยากาศได้จับตัวได้ง่ายขึ้น เกิดเป็นเมฆ หมอก หรือหยาดน้ำฟ้าต่อไป ปรากฏการณ์ที่สามารถพบเห็นได้ในชั้นนี้ ได้แก่ หมอก เมฆ หิมะ ลูกเห็บ ฝน รวมถึงพายุหมุนเขตร้อน เนื่องจากมีไอน้ำในอากาศมาก นอกจากนี้ยังมีปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ท้องฟ้าสีส้ม-สีแดง รุ้ง ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง และฟ้าผ่า รวมถึงการหมุนเวียนของอากาศ และเมื่อถึงเขตสูงสุดของโทรโพสเฟียร์แล้ว จะมีชั้นบรรยากาศบางๆ ที่เป็นรอยต่อระหว่างชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และสตราโทสเฟียร์ เรียกว่า **โทรโพพอส (tropopause)**

2. สตราโทสเฟียร์ (stratosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่ 2 อยู่ระหว่างโทรโพสเฟียร์และมีโซสเฟียร์ มีความสูงประมาณ 20 ถึง 50 กิโลเมตร มีสัดส่วนของแก๊สองค์ประกอบเช่นเดียวกับโทรโพสเฟียร์ แต่แก๊สบางชนิดมีปริมาณมากขึ้น เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน โอโซน โดยช่วงล่างของชั้นบรรยากาศอาจมีไอน้ำและฝุ่นละอองปะปนอยู่ เนื่องจากการปะทุของภูเขาไฟ อากาศของชั้นบรรยากาศนี้เป็นอากาศแห้ง (ความชื้นต่ำ) มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามความสูง เรียกว่า **อุณหภูมิผกผัน (temperature inversion)** บริเวณตอนล่างของชั้นบรรยากาศมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ –60 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิในชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนบนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ –3 องศาเซลเซียส เขตสูงสุดของสตราโทสเฟียร์ จะมีรอยต่อของชั้นสตราโทสเฟียร์และมีโซสเฟียร์ เรียกว่า **สตราโทพอส (stratopause)** มีอุณหภูมิคงที่ อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 50 กิโลเมตร

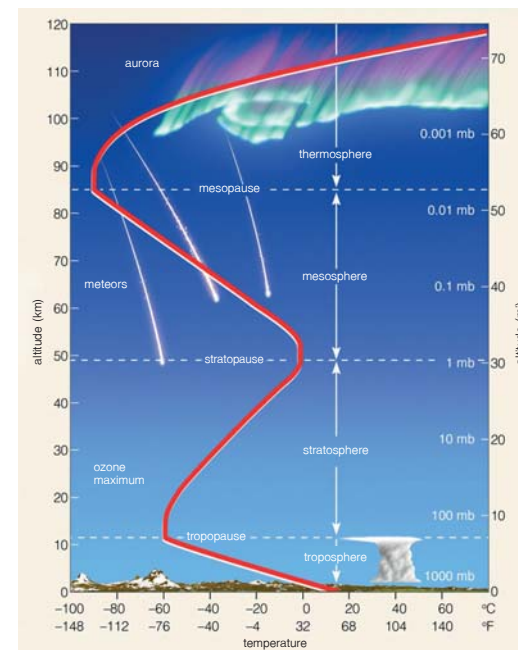
3. **มิโซสเฟียร์ (mesosphere)** อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 50 ถึง 80 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิลดลงตามความสูง โดยมีอุณหภูมิสูงสุดบริเวณตอนล่างของชั้นบรรยากาศที่ -5 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำสุดบริเวณตอนบนของชั้นที่ -90 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นกับตำแหน่งละติจูดและฤดูกาล สามารถพบปรากฏการณ์ดาวตกได้ในบรรยากาศชั้นนี้ รวมถึงการเกิดเมฆสุกใส (noctilucent cloud) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เมฆที่ระดับความสูงประมาณ 75-90 กิโลเมตร ไม่สามารถระบุส่วนประกอบที่ชัดเจนได้ นักวิทยาศาสตร์คาดว่า เป็นผลึกน้ำแข็งซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกเซอร์รัส มีสีฟ้าหรือสีเงิน บางครั้งมีสีส้มถึงสีแดง มองเห็นได้ในคืนปลายช่วงฤดูใบไม้ผลิ ใกล้ค่ำ บริเวณขั้วโลก ปรากฏให้เห็นได้ยาก ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ปรากฏการณ์เมฆสุกใส

รอยต่อระหว่างชั้นมิโซสเฟียร์และเทอร์โมสเฟียร์ เรียกว่า **มิโซพอส (mesopause)** เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากลดลงตามความสูงเป็นเริ่มคงที่ และมีแนวโน้มของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูง

4. **เทอร์โมสเฟียร์ (thermosphere)** เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่บนสุด เริ่มที่ระดับความสูงประมาณ 90-500 กิโลเมตรจากพื้นดิน อาจจัดรวมได้ว่าเป็นช่วงชั้นเดียวกับเฮเทอร์โมสเฟียร์ บรรยากาศชั้นนี้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูง โดยอุณหภูมิสูงสุดในบรรยากาศชั้นนี้มากกว่า 1,000 องศาเซลเซียส เนื่องจากชั้นเทอร์โมสเฟียร์มีอะตอมของแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนดูดกลืนพลังงานจากรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ เช่น รังสีเอกซ์ ทำให้อะตอมของแก๊สได้รับพลังงานและเกิดการแตกตัวเป็นประจุ ส่งผลให้อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศสูงขึ้นไปอีก ความสูงที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระดับความสูงมากกว่านี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเป็นอิสระจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ส่วนบรรยากาศชั้นนอกที่อยู่เหนือจากชั้นเทอร์โมสเฟียร์ขึ้นไป จะได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของโลกดึงดูดไว้ น้อยมาก ทำให้มีความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศเบาบาง จนอาจหลุดพ้นจากแรงโน้มถ่วงของโลกออกไปยังอวกาศ ซึ่งชั้นบรรยากาศนี้เรียกว่า **เอกโซสเฟียร์ (exosphere)**



รูปที่ 1.3 การจำแนกชั้นบรรยากาศตามเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ความรู้เพิ่มเติม

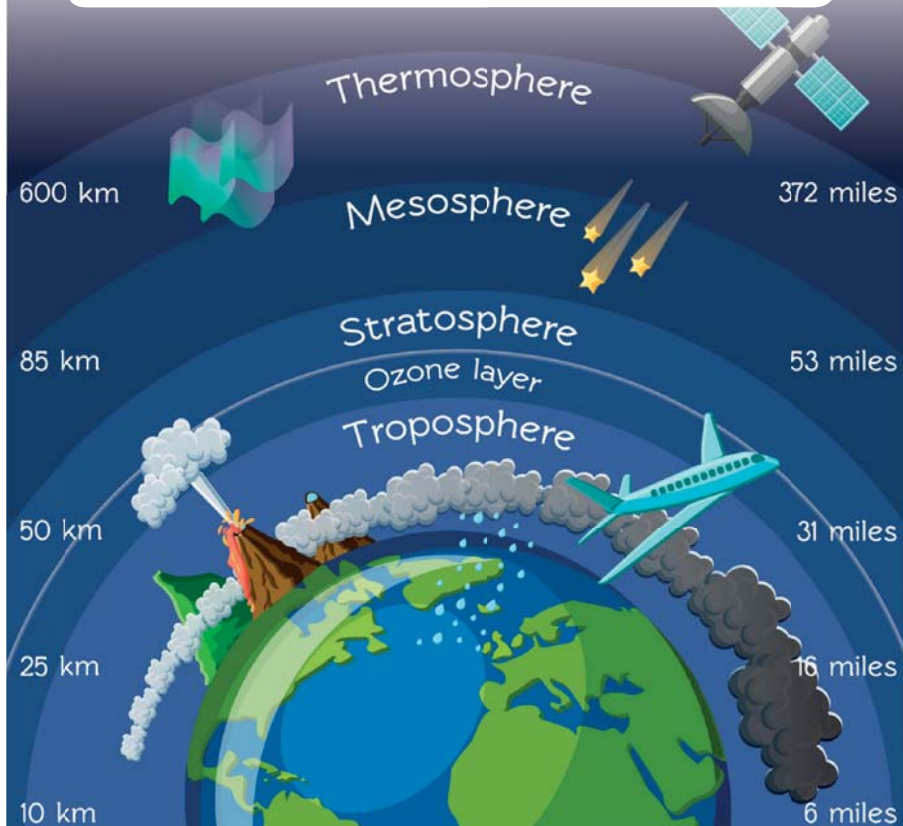
นอกจากการแบ่งชั้นบรรยากาศที่กล่าวมาแล้ว ยังมีชั้นบรรยากาศ **ไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere)** เป็นชั้นบรรยากาศที่แก๊สองค์ประกอบมีการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า ทำให้เกิดลักษณะสื่อทางไฟฟ้า อยู่ในช่วงบรรยากาศมิโซสเฟียร์ตอนบนถึงเทอร์โมสเฟียร์ หรือตั้งแต่ความสูงประมาณ 60-600 กิโลเมตรจากพื้นดิน ในทางกลศาสตร์ได้สรุปว่า “ไอโอโนสเฟียร์ไม่จัดเป็นชั้นบรรยากาศที่ต่อเนื่องกับเกณฑ์ที่กล่าวมา” แต่เนื่องจากไอโอโนสเฟียร์เป็นบรรยากาศที่มีประโยชน์มากสำหรับการสื่อสารจึงแยกเฉพาะส่วนบรรยากาศที่มีประโยชน์ดังกล่าวออกมา ลักษณะเด่นของไอโอโนสเฟียร์ คือ มีโมเลกุลและอะตอมแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากการได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) รังสีเอกซ์ (X-ray) รังสีคอสมิก (cosmic ray) และอนุภาคต่างๆ จากการแผ่รังสี ทำให้อะตอมโมเลกุลแก๊สถูกกระตุ้นและเกิดการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. บรรยากาศชั้นใดที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุด
2. เหตุใดบรรยากาศในชั้นสตราโทสเฟียร์ จึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงที่มากขึ้น
3. ปรากฏการณ์ดาวตกเกิดขึ้นที่บรรยากาศชั้นใด
4. ถ้าโลกไม่มีชั้นบรรยากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
5. ชั้นบรรยากาศใดทำหน้าที่กรองรังสีอัลตราไวโอเล็ต



2. หลักการของพลังงาน



แนวคิดสำคัญ

การถ่ายเทพลังงานสามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี โดยสสารทุกชนิด ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ จะแผ่กระจายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะการแผ่รังสีของวัตถุใด ๆ จะขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุนั้น เช่นเดียวกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และโลก ซึ่งอธิบายได้โดยใช้กฎการแผ่รังสีของวัตถุดำ

”

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลกและบรรยากาศ ทำให้ระบบบรรยากาศยังคงอยู่ได้อย่างต่อเนื่อง การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ส่งผลให้มีสภาวะของบรรยากาศที่หลากหลาย จึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการเริ่มตင်ศึกษาภูมิอากาศด้วยการตรวจสอบเกี่ยวกับการถ่ายเทพลังงานและการเปลี่ยนแปลงพลังงานของบรรยากาศโลก

“

พลังงาน (energy) หมายถึง ความสามารถหรือประสิทธิภาพในการทำงาน (ability to do work) โดยทำให้วัตถุหรือสารเกิดการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนรูปแบบได้ การถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในทางอุณหภูมิตฤษฎี ซึ่งการถ่ายเทพลังงานหรือความร้อนเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1. การนำความร้อน (conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยมีวัตถุที่เป็นของแข็งเป็นตัวกลาง หรือถ่ายเทจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลโดยการสั่นของอนุภาคที่อยู่ติดกันและส่งต่อพลังงานอย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือสสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง (มีการถ่ายเทเฉพาะพลังงาน) ซึ่งเกิดจากค่าแห่งอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ เช่น การจับแท่งเหล็กที่ปลายด้านหนึ่งกำลังเผาไฟ จะมีการถ่ายเทความร้อนจากปลายเหล็กที่เผาไฟมายังมือเราโดยวัสดุหรือตัวกลางแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อนต่างกัน เช่น โลหะเงิน ทองแดง เป็นตัวนำความร้อนที่ดี แต่โลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี เรียกว่า **ฉนวนความร้อน**

2. การพาความร้อน (convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือสสารพาความร้อนไป กระบวนการนี้จะเกิดกับตัวกลางที่มีสถานะเป็นของเหลวและแก๊ส เนื่องจากของเหลวและแก๊สเป็นของไหล จึงสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ เช่น การต้มน้ำในภาชนะ เมื่อน้ำเดือดจะเห็นน้ำ ไนในภาชนะมีการเคลื่อนที่หรือมีการถ่ายเทความร้อนโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง การพาความร้อนเกิดขึ้นในบรรยากาศและมหาสมุทร (ลมบก ลมทะเล) แมกมาและโลหะเหลวภายในโลก และรวมถึงแก๊สร้อนในดวงอาทิตย์

3. การแผ่รังสี (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานดังเช่นการนำความร้อนและการพาความร้อน การแผ่รังสีจึงสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ ทำให้โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ และทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในบรรยากาศ รวมถึงวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า **ศูนย์องศาสัมบูรณ์ (absolute temperature)** คือ มีอุณหภูมิ 0 เคลวิน หรือเท่ากับ -273.15 องศาเซลเซียสย่อมมีการแผ่รังสีออกมา



รูปที่ 1.4 การถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ

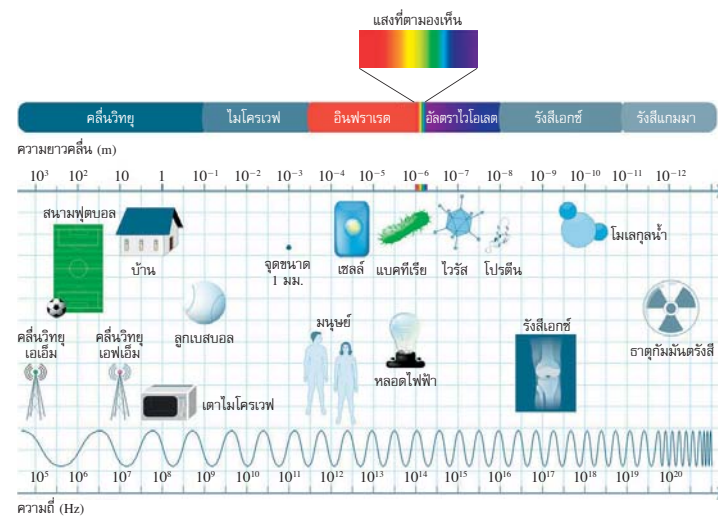
หลักการสำคัญด้านพลังงาน มีใจความว่า สารทุกชนิด (เช่น อากาศ ดวงอาทิตย์ โลก ร่างกายมนุษย์ หิมะ) ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ จะแผ่พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ที่มีความเร็วเท่าแสง พลังงานที่ถ่ายเทออกมาแสดงในรูปของคลื่นที่มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับความยาวคลื่น แอมพลิจูด และความถี่ ดังรูปที่ 1.5



พัลส์แม่รังสี

รูปที่ 1.5 การแผ่รังสีของอนุภาคใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) จากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาทีในสุญญากาศ หรือเป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแยกตามขนาดของช่วงคลื่นหรือความถี่ได้ ดังรูปที่ 1.6 โดยแสงที่ตามองเห็นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในระดับที่ดวงตาของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ อยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.39–0.74 ไมโครเมตร หรือประมาณ 340–740 นาโนเมตร โดยสีม่วงจะมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด (ความถี่สูงสุด) และสีแดงมีความยาวคลื่นยาวที่สุด (ความถี่ต่ำสุด)



รูปที่ 1.6 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงความยาวคลื่น

ดวงอาทิตย์แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาตามนุษย์มองเห็นได้ที่มีความเข้มสูงประมาณร้อยละ 45 ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนที่เหลือแยกเป็น 2 ส่วน คือ ร้อยละ 8 และร้อยละ 47 เป็นช่วงอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรด ตามลำดับ ด้วยเหตุผลนี้ ประสาทตามนุษย์จึงไวต่อแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ ไม่ใช่คลื่นสั้น (อัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา) และคลื่นยาว (รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ)

ลักษณะการแผ่รังสีของวัตถุใดๆ ขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุนั้น เช่นเดียวกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และโลกอธิบายได้ด้วยหลักการของการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) คือ วัตถุดำเป็นวัตถุที่สีโมเลกุลมากเพียงพอที่จะรับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ทั้งหมด ในทางกลับกันจะสามารถแผ่กระจายพลังงานดังกล่าวออกมาได้ทั้งหมด

ความสัมพันธ์ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ (E) ที่มีอุณหภูมิ T เคลวิน สามารถแผ่พลังงานออกมา เรียกว่า **กฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann's Law)** โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$E = \sigma T^4 \quad (1.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานที่แผ่รังสีความร้อน ณ อุณหภูมิ T จากวัตถุดำ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T คือ อุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุดำ (เคลวิน)

ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิวของดวงอาทิตย์ คือ 6,000 เคลวิน อุณหภูมิเฉลี่ยของโลก คือ 288 เคลวิน ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่าโลกกว่า 20 เท่า เมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์พบว่าดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมามากกว่าโลกอย่างน้อย 160,000 เท่า ($20^4 = 160,000$) เมื่อเทียบกับหน่วยพื้นที่ของโลก

ดังนั้น ดวงอาทิตย์จึงมีการแผ่รังสีออกมาตั้งแต่ความยาวคลื่นมากๆ เช่น คลื่นวิทยุ (10^5 เมตร) จนถึงความยาวคลื่นที่สั้นมาก เช่น รังสีแกมมา (10^{-14} เมตร)

ส่วนกฎอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี คือ **กฎของวิน (Wien's law)** ซึ่งสามารถหาคำนวณหาความยาวคลื่นที่แผ่พลังงานสูงสุด ($\lambda_{\max}$) ณ อุณหภูมิ T เคลวิน ดังสมการ

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \quad (1.2)$$

เมื่อ $\lambda_{\max}$ คือ ความยาวคลื่นที่แผ่พลังงานสูงสุด ณ อุณหภูมิ T มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร (μm)

T คือ อุณหภูมิของวัตถุตัว มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

ดังนั้น อุณหภูมิที่ผิวของดวงอาทิตย์ประมาณ 6,000 เคลวิน จึงมีความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น

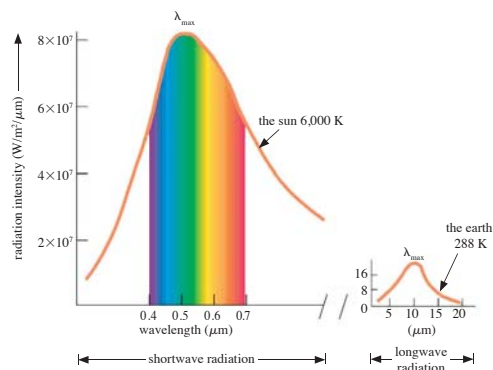
$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{6000} = 0.48 \mu\text{m}$$

ที่อุณหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์มีค่าพลังงานสูงสุดที่แผ่ออกมาในช่วงความยาวคลื่น 0.4–0.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตา

และอุณหภูมิที่ผิวโลกประมาณ 288 เคลวิน จึงมีความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่น

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{288} = 10 \mu\text{m}$$

ดังแสดงลักษณะการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามช่วงความยาวคลื่นของดวงอาทิตย์และโลกในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานสูงสุดของดวงอาทิตย์และโลก



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

งตอบคำถามต่อไปนี้

1. การถ่ายเทพลังงานมีกี่วิธี อะไรบ้าง
2. พลังงานความร้อนที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบใด
3. ให้นักเรียนยกตัวอย่างการพาความร้อนที่พบได้ในปรากฏการณ์ธรรมชาติมา 1 ตัวอย่าง พร้อมอธิบายการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในปรากฏการณ์นั้น
4. การแผ่รังสีของวัตถุตัวมีหลักการอย่างไร
5. ถ้าร่างกายของนักเรียนมีอุณหภูมิประมาณ 310 เคลวิน จะแผ่รังสีออกมาในช่วงความยาวคลื่นเท่าไร และความยาวคลื่นนั้นจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใด

3. พลังงานจากดวงอาทิตย์และโลก



แนวคิดสำคัญ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นสั้น พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ทำให้พื้นผิวโลกอบอุ่นขึ้น โลกจะปล่อยพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ผ่านกระบวนการถ่ายเทพลังงานทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

3.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมจากดวงอาทิตย์ประมาณร้อยละ 99 มีความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 0.1 – 3.0 ไมโครเมตร จึงเรียกพลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ว่า **พลังงานช่วงคลื่นสั้น (shortwave energy)** ดังตารางที่ 1.1

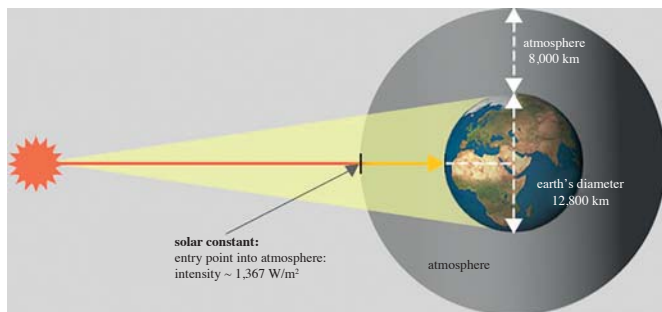
ตารางที่ 1.1 พลังงานช่วงคลื่นสั้นที่แผ่กระจายออกมจากดวงอาทิตย์

ความยาวช่วงคลื่น (μm)	ชื่อเรียก	ร้อยละ
0.1 – 0.4	อัลตราไวโอเล็ต (UV)	2 – 3
0.4 – 0.7	แสงที่ตามองเห็น (visible light)	46 – 47
0.7 – 1.5	อินฟราเรดใกล้แสง (near IR)	38
1.5 – 1,000	อินฟราเรดไกลแสง (far IR)	11
$\lambda < 0.15$ และ $\lambda > 1,000$	–	1

พลังงานช่วงคลื่นสั้นที่แผ่กระจายออกจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วย

- พลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (0.1–0.4 μm) มีประมาณร้อยละ 2–3
- พลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นในช่วงแสงที่ตามองเห็น (0.4–0.7 μm) มีประมาณร้อยละ 46 – 47
- พลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้แสง (0.7–1.5 μm) มีประมาณร้อยละ 38
- พลังงานที่มีความยาวช่วงคลื่นในช่วงอินฟราเรดไกลแสง (1.5–1,000 μm) ประมาณร้อยละ 11
- พลังงานนอกช่วงดังกล่าว ประมาณร้อยละ 1

พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ คิดเป็น 1 ส่วนจาก 2,000,000 ส่วน ซึ่งน้อยมาก ๆ แต่ปริมาณพลังงานดังกล่าว ทำให้พื้นผิวโลกอบอุ่นขึ้นและสามารถใช้เป็นที่ยอยู่อาศัยได้ ปริมาณพลังงานเฉลี่ยที่โลกได้รับ (เป็นค่าพลังงานดวงอาทิตย์) เรียกว่า **ค่าคงที่สุริยะ** หรือ **ค่าคงที่รังสีดวงอาทิตย์ (solar constant)** โดยมีนิยามเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ขอบบนของชั้นบรรยากาศโลก โดยระนาบที่แสงตกกระทบบังคับกับพื้นที่ ณ ระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ มีค่าประมาณของค่าคงที่ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) หรือประมาณ 2 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตร (cal/cm^2)



รูปที่ 1.8 ค่าคงที่สุริยะ

เมื่อแกนหมุนของโลกเอียง
จะส่งผลต่อโลกอย่างไร

เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุมประมาณ 23.5 องศากับแนวตั้งที่ตั้งฉากกับระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นที่แต่ละส่วนของโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ส่งผลต่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบ้างแต่ละบริเวณของโลก โดยส่วนที่ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศจนถึงพื้นผิวโลกจะเกิดการสะท้อน ดูดกลืน และถ่ายโอนพลังงานได้แตกต่างกัน เนื่องจากพื้นผิวโลกแต่ละบริเวณมีลักษณะแตกต่างกัน รวมถึงในชั้นบรรยากาศของโลกประกอบด้วยเมฆ ไอน้ำ ฝุ่นละออง และแก๊สชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อการสะท้อน การดูดกลืน การกระเจิง และการส่งผ่านพลังงาน ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของโลก

การสะท้อนรังสี

โลกและบรรยากาศจะมีการสะท้อนกลับของพลังงานบางส่วนของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์กลับสู่อวกาศ ซึ่งพื้นผิวของวัตถุที่พบมีความสามารถในการสะท้อนรังสีได้แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนรังสี มี 2 ลักษณะ คือ การสะท้อนแสง (reflection) เป็นการสะท้อนรังสีได้เฉพาะความยาวคลื่นช่วงใดช่วงหนึ่ง และการสะท้อนอีกรูปแบบหนึ่งเป็นการสะท้อนรังสีได้ทุกช่วงของความยาวคลื่น เรียกว่า **อัลบีโด (albedo)**

อัลบีโด คือ อัตราส่วนพลังงานโดยเฉลี่ยของรังสีเปรียบเทียบกับค่าการสะท้อนกลับโดยวัตถุกับปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบกับวัตถุ เช่น พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศและเมฆลงมาพื้นผิวโลก บางส่วนถูกสะท้อนกลับไปยังบรรยากาศโดยพื้นดิน ป่าไม้ พื้นผิวน้ำ อัตราส่วนของการสะท้อนรังสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 (วัตถุที่มีการดูดกลืนรังสีได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีค่าการสะท้อนกลับของรังสีเลยจะมีค่าอัลบีโดเท่ากับ 0 ส่วนวัตถุที่มีการสะท้อนแสง 100% และไม่มีการดูดกลืนรังสีเลยจะมีค่าอัลบีโดเท่ากับ 1) ถ้าเปรียบเทียบสีของวัตถุใดๆ ที่มีสีคล้ำ เช่น พื้นดิน กับวัตถุสีขาว เช่น หิมะ ค่าอัลบีโดจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนรังสีของหิมะตกใหม่มีค่าประมาณ 0.9 หรือพื้นผิวน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนรังสีเพียง 0.1 แสดงว่า พื้นผิวน้ำสามารถดูดกลืนรังสีได้ถึง 0.9 หรือร้อยละ 90 นั่นเอง โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของตัวอย่างพื้นผิวของวัตถุต่างๆ จะแสดงดังตารางที่ 1.2

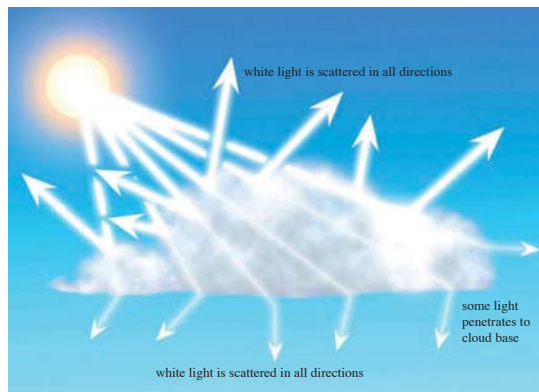
ตารางที่ 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี (albedo) ของผิววัตถุต่างๆ

ชนิดของพื้นผิว	สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี
หิมะ (ตกใหม่) (fresh snow)	0.75 – 0.95
หิมะทั่วไปและทะเลน้ำแข็ง	0.30 – 0.40
เมฆคิวโมลูนิมบัส	0.70 – 0.90
เมฆสเตรตัส	0.60 – 0.84
เมฆเซอร์รัสสเตรตัส	0.44 – 0.50
ดาวศุกร์ (Venus)	0.78
โลก (Earth)	0.3
ดวงจันทร์	0.07
ทรายแห้ง	0.35 – 0.45
ทะเลทราย	0.25 – 0.30
คอนกรีต	0.17 – 0.27
น้ำ (ค่าเฉลี่ย)	0.10
หมู่บ้าน (หนาแน่น)	0.15 – 0.25

ที่มา : Oliver and John (2002)

การกระเจิง

การกระเจิง (scattering) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบอนุภาคขนาดเล็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในบรรยากาศ เช่น โมเลกุลน้ำ โมเลกุลของอากาศ (แก๊สชนิดต่าง ๆ) อนุภาคและฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ แล้วเกิดการเปลี่ยนทิศทาง โดยเกิดการกระจายไปรอบ ๆ อนุภาค ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 การกระเจิงของแสงในบรรยากาศ

จากทฤษฎีการกระเจิงของเรย์ลีย์ กล่าวว่า “ถ้าวัตถุที่ทำให้เกิดการกระเจิงมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแสงแล้ว กำลังของการกระเจิง (scattered power) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (particle) ยกกำลังหก และจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่นแสงยกกำลังสี่” ดังสมการ

$$P = k \frac{D^6}{\lambda^4} \quad (1.3)$$

เมื่อ P คือ กำลังของการกระเจิง

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

k คือ ค่าคงที่

ความยาวคลื่นแสงที่พบในธรรมชาติ คือ แสงขาว ประกอบด้วยคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้ทั้ง 7 สี ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 380–760 ไมโครเมตร ในขณะที่โมเลกุลของแก๊สหลักที่เป็นองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศ ได้แก่ โมเลกุลของไนโตรเจน (ร้อยละ 78) มีขนาดประมาณ 0.15 นาโนเมตร (0.00015 ไมโครเมตร) และโมเลกุลของออกซิเจน (ร้อยละ 20.9) มีขนาดประมาณ 0.14 นาโนเมตร (0.00014 ไมโครเมตร) ส่วนขนาดของอนุภาคฝุ่น เช่น ฝุ่นรวม หรือฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา

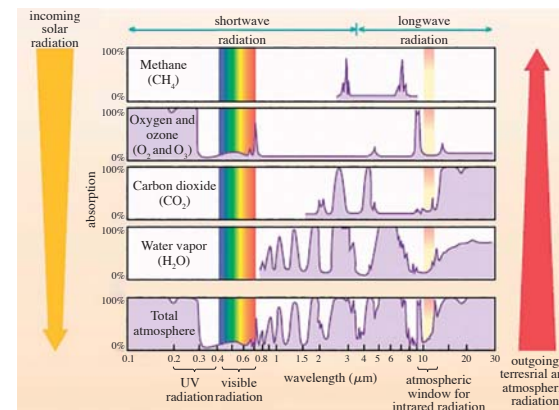
จากข้อมูลข้างต้น สรุปได้ว่า ขนาดของโมเลกุลอากาศและอนุภาคฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศมีขนาดเล็กกว่าช่วงความยาวคลื่นแสง ทำให้สามารถกระเจิงแสงในบรรยากาศได้ โดยแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะกระเจิงได้ดีกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมาก แสดงว่า แสงสีม่วงสามารถกระเจิงได้ดีกว่าแสงสีแดงนั่นเอง

การดูดกลืน

บรรยากาศมีส่วนประกอบเป็นแก๊สหลายชนิด ซึ่งแก๊สต่าง ๆ มีการเคลื่อนที่แบบทิศทางไม่แน่นอน (randomness motion) ทำให้โมเลกุลของแก๊สมีการหมุนและสั่น เพื่อรักษาเสถียรภาพพลังงาน จึงหวนการหมุนและสั่นของโมเลกุลแก๊สมีความสอดคล้องกับความถี่ของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในบรรยากาศ แต่มีโมเลกุลของแก๊สขวางไว้ไม่ให้ผ่าน พลังงานที่เพิ่มเข้ามาจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น ความร้อน หรือถูกนำมาใช้เพื่อการระเหยน้ำ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

โมเลกุลแก๊ส รวมถึงอนุภาคหยดน้ำในเมฆ น้ำแข็ง กลุ่มควัน หรือฝุ่น มีส่วนในการดูดกลืนพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงบรรยากาศ แก๊สแต่ละชนิดจะมีความสามารถดูดกลืนเฉพาะช่วงคลื่นแตกต่างกัน ทำให้สามารถช่วยกันดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นต่าง ๆ ได้หลายช่วงคลื่น เช่น อะตอมของออกซิเจน โมเลกุลของออกซิเจน ไนโตรเจน และโอโซนสามารถดูดกลืนได้ดีในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ ทำให้แก๊สอาทิตย์ที่ส่งผ่านบรรยากาศแทบจะไม่รังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานมากที่สุดที่มายังโลก คือ 0.5 ไมโครเมตร เป็นช่วงที่มีความสามารถดูดกลืนของแก๊สต่าง ๆ ในบรรยากาศมีน้อยมาก การดูดกลืนเกิดขึ้นมากที่สุดในชั้นโอโซนเฟียร์ โมเลกุลของน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศ สามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงอินฟราเรดได้ดี

ข้อสังเกตของการดูดกลืนโดยโมเลกุลแก๊สในบรรยากาศ คือ สามารถเกิดกับพลังงานที่เข้าสู่บรรยากาศของโลก แต่ในขณะเดียวกันที่โลกแผ่พลังงานกลับออกสู่บรรยากาศจะถูกแก๊สต่าง ๆ ในบรรยากาศดูดกลืนไว้เช่นกัน เพียงแต่มีช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกัน ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 ความสามารถในการดูดกลืนพลังงานช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ของแก๊สแต่ละชนิดในบรรยากาศ

ที่มา: CIMSS (2017)

การส่งผ่าน

จากข้อมูลที่ผ่านมา สมมติของส่วนประกอบในบรรยากาศทำให้พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงบรรยากาศ ถูกสะท้อน กระเจิง และดูดกลืนพลังงานไป ดังนั้น การส่งผ่านจึงเป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลก การส่งผ่านพลังงานดังกล่าวเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพของชั้นบรรยากาศขณะนั้นและระยะทางของแสงที่ต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ โดยปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลกต่อหน่วยพื้นที่ในแนวที่มีการส่งผ่านหรือทางฟลักซ์ เรียกว่า **อินโซเลชัน (insolation)**

3.2 พลังงานจากโลก

โลกจะปล่อยพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ผ่านกระบวนการถ่ายเทพลังงานทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำ ความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

โลกเป็นเสมือนวัตถุอื่นๆ ที่มีอุณหภูมิมากกว่าองศาสัมบูรณ์จึงต้องการแผ่พลังงาน โดยโลกมีอุณหภูมิเฉลี่ย 15 องศาเซลเซียส หรือ 288 เคลวิน ในทางทฤษฎีเปรียบโลกใกล้เคียงวัตถุดำ เนื่องจากมีความสามารถในการดูดกลืนและแผ่กระจายพลังงานได้ใกล้เคียงกับวัตถุดำ พลังงานที่แผ่กระจายออกมาจากผิวโลกประมาณร้อยละ 99 อยู่ในช่วงความยาวคลื่นยาวระหว่าง 3 ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งมีปริมาณพลังงานสูงสุดที่ความยาวช่วงคลื่น 10 ไมโครเมตร (ตั้งการคำนวณตามกฎของวินเซนต์) โดยความยาวคลื่นที่โลกแผ่ออกมามีค่ามากกว่าความยาวคลื่นของดวงอาทิตย์ถึง 20 เท่า

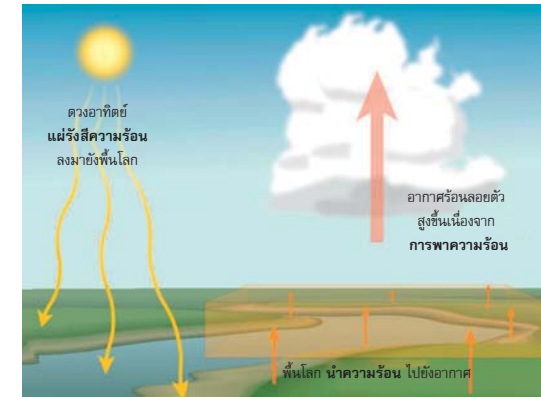
การแผ่รังสีของโลกสามารถเกิดได้จากการสะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ ของโลก เช่น เมฆ ผิวน้ำ พื้นที่ถูกคลุมด้วยหิมะ ป่าไม้ ซึ่งช่วงคลื่นที่สะท้อนออกมาจะเป็นช่วงคลื่นยาวหรือค่าอัลติโดเนชั่น

การแผ่พลังงานจากพื้นผิวโลก (surface emissivity) เป็นผลมาจากการรับพลังงานแล้วมีอุณหภูมิมากกว่าศูนย์สัมบูรณ์ จึงเกิดการแผ่รังสีความร้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ เช่น น้ำไม่ใช่วัตถุดำ แต่อาจเปรียบได้ว่าผิวน้ำเป็นวัตถุเกือบดำ ดังนั้น สภาพการแผ่กระจายพลังงานของน้ำมีค่าเพียงร้อยละ 97 ของการแผ่กระจายพลังงานช่วงคลื่นยาวของวัตถุดำ

ส่วนพลังงานที่โลกได้รับและไม่ได้อกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศโดยการแผ่รังสีจะถูกถ่ายโอนในรูปของความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความร้อนแฝง (latent heat) คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารหรือสิ่งของจากสารใด ๆ แล้วทำให้สารนั้นเปลี่ยนแปลงสถานะภายใต้อุณหภูมิคงที่ เช่น การเปลี่ยนสถานะของเหลวเป็นสถานะแก๊ส หรือเรียกว่า **การระเหย (evaporation)** ซึ่งต้องให้พลังงานเข้าไปสู่ระบบ เป็นการดูดกลืนพลังงานดังกล่าวไว้กับไอน้ำ จนกระทั่งไอน้ำเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง หรือเรียกว่า **การควบแน่น (condensation)** แล้วจะทำให้พลังงานกลับคืนมาสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง

2. ความร้อนสัมผัส (sensible heat) คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารใด ๆ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยไม่ทำให้สถานะของสารนั้นเปลี่ยนแปลง การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนจากโลกสู่บรรยากาศที่สูงขึ้นไป เพราะอากาศเป็นต้นน้ำความร้อนที่ไม่ดี จึงไม่สามารถลอยขึ้นสูงได้ แต่อากาศร้อนเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนด้วยกระบวนการพาความร้อน โดยมีกระบวนการนำความร้อนสนับสนุนอยู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 1.11 กระบวนการรวมของการนำความร้อนและการพาความร้อน (conduction-convection) เป็นกระบวนการหลักของความร้อนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศด้านล่างที่แสดงในรูปของอุณหภูมิความร้อน (sensible temperature)



รูปที่ 1.11 กระบวนการนำความร้อนและพาความร้อนที่ทำงานร่วมกันในชั้นบรรยากาศ

ที่มา : Means (2018)



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. พลังงานช่วงคลื่นสั้นคืออะไร
2. การสะท้อนพลังงานแบบอัลบีโดมีลักษณะอย่างไร
3. การเยื้องของแกนโลกส่งผลต่อการถ่ายโอนพลังงานจากดวงอาทิตย์มายังโลกอย่างไร
4. โลกปลดปล่อยพลังงานออกสู่อวกาศได้อย่างไร
5. การถ่ายเทพลังงานจากโลกกลับสู่ชั้นบรรยากาศมีกระบวนการอย่างไร

4. สมดุลพลังงานของโลก



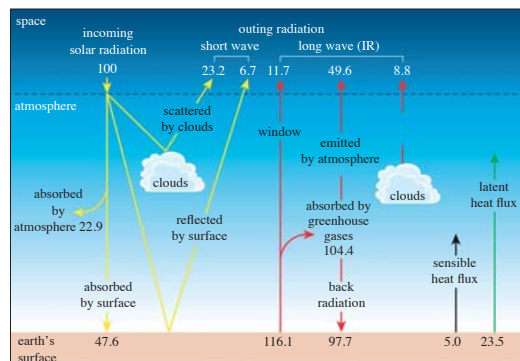
แนวคิดสำคัญ

โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ในขณะที่ส่วนอื่นของโลกและบรรยากาศของโลกมีการแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นยาวออกมาเช่นกัน พลังงานที่โลกได้รับและพลังงานที่โลกปลดปล่อยสู่อวกาศโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากัน จึงส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกค่อนข้างคงที่



ศูนย์องศาเซลเซียส จะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา ดังนั้นจึงมีการแผ่รังสีจากพื้นโลกออกไปสู่อวกาศ นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่โลกใช้ในระบบการต่าง ๆ ได้แก่ ความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส ตามที่กล่าวมาข้างต้น

การศึกษาเรื่องสมดุลของพลังงานโลกจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปีเพื่อหาค่าเฉลี่ยของพลังงาน เนื่องจากปริมาณไอน้ำในอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้การคำนวณพลังงานที่แผ่ออกมาจากแก๊สในบรรยากาศทำได้ยาก จึงต้องใช้ผลการศึกษาที่ต่อเนื่องมาช่วยให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิโลกมีค่าเกือบคงที่ แม้ว่าข้อมูลของสภาพอากาศในอดีตในระยะเวลาร้อยปีหรือมากกว่า แสดงให้เห็นว่ามีบางช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศลดลง และบางช่วงเวลา (ใกล้ๆ ปัจจุบัน) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายปีเทียบกับปีที่อยู่ติดกัน จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ จึงอาจกล่าวได้ว่า พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานที่โลกปลดปล่อยสู่อวกาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน โดยมีการประเมินสัดส่วนของพลังงานรายปีจากกระบวนการต่าง ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 สมดุลพลังงานของโลก
ที่มา : Watt (2013)

จากรูปที่ 1.12 สามารถอธิบายหน่วยของพลังงานในส่วนต่างๆ ได้ว่า เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสั้นเข้ามาถึงชั้นบรรยากาศ (คิดสัดส่วนของพลังงานทั้งหมดเป็น 100%) ส่วนหนึ่งสะท้อนกลับโดยเมฆคิดเป็น 23.2% อีกส่วนสะท้อนกลับโดยผิวโลกคิดเป็น 6.7% อีกส่วนดูดกลืนโดยบรรยากาศคิดเป็น 22.9% และส่วนที่เหลือถูกดูดกลืนโดยพื้นโลก 47.2%

หากพิจารณาการสะท้อนกลับทั้งหมดที่เกิดขึ้น คิดเป็น $23.2\% + 6.7\% = 29.9\%$ หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของโลก (earth's albedo) มีค่าประมาณ 0.299

เมื่อพิจารณาในกรณีพลังงานที่รับมายังผิวโลกและพลังงานที่แผ่กลับออกไปยังบรรยากาศและอวกาศพบว่า โลกดูดกลืนพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ 47.2% และรับพลังงานจากบรรยากาศและเมฆ (back radiation) 97.7% รวมเป็น 144.9% โดยเรียกกระบวนการที่พลังงานจากบรรยากาศและเมฆกลับสู่ผิวโลกว่า **ปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect)** และมีพลังงานแผ่ออกจากผิวโลกกลับสู่บรรยากาศ 116.1% นอกจากนี้ยังมีการใช้ความร้อนในกระบวนการนำความร้อนและการพาความร้อนคิดเป็น 28.5% รวมมีพลังงานแผ่จากผิวโลก 144.6% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานที่โลกรับมา โดยพลังงานที่มีผลต่างเพียง 0.3% เป็นส่วนที่เก็บไว้ที่ผิวโลกเพื่อให้โลกมีพลังงานอยู่อย่างต่อเนื่อง หรืออาจกล่าวได้ว่า พลังงานสุทธิ ณ ผิวโลก เป็นผลต่างของพลังงานที่ผิวโลกได้รับ (พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ + พลังงานที่คืนกลับมาจากบรรยากาศ) กับพลังงานที่ผิวโลกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ (พลังงานจากผิวโลก + พลังงานที่ใช้ในกระบวนการนำความร้อนและการพาความร้อน) หรือเรียกว่า **สมดุลพลังงานของโลก (global energy balance)**



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

งตอบคำถามต่อไปนี้

1. รังสีช่วงความยาวคลื่นสั้นที่โลกปลดปล่อยออกสู่อวกาศเกิดจากกระบวนการใดบ้าง
2. สมดุลพลังงานของโลกคืออะไร ถ้าไม่เช่นนั้นบรรยากาศโลกยังคงมีสมดุลพลังงานหรือไม่ อย่างไร
3. นักเรียนคิดว่า ภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเกี่ยวข้องกับสมดุลพลังงานหรือไม่ อย่างไร



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “แบบจำลองสมดุลพลังงานของโลก”

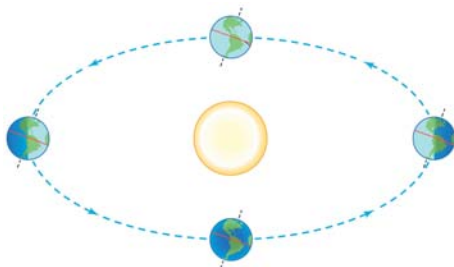
คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม กลุ่มละ 6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ที่กำหนดให้
3. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
4. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผล ในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับการทำการกิจกรรม
5. เตรียมความพร้อมที่จะนำเสนอผลงานเพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

สถานการณ์

นักเรียนได้รับมอบหมายให้สร้างแบบจำลองสมดุลพลังงานของโลก เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนใน งานวิชาการโรงเรียน เพื่อให้นักเรียนหรือผู้ที่สนใจได้เรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับสมดุลของ พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ ซึ่งแต่ละบริเวณของโลกจะได้รับปริมาณพลังงานที่แตกต่างกัน โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. แบบจำลองต้องแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ทำให้แต่ละบริเวณของโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ แตกต่างกัน รวมถึงปริมาณพลังงานที่ได้รับในแต่ละบริเวณของโลกได้
2. สามารถอธิบายการเกิดสมดุลพลังงานของโลกได้
3. มีความแข็งแรง สวยงาม
4. ใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก



สรุปเรื่องบรรยากาศและสมดุลพลังงานของโลก

Knowledge

องค์ประกอบของอากาศและชั้นบรรยากาศ

- บรรยากาศ คือ อากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วยแก๊สชนิดต่างๆ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม รวมถึงอนุภาคต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ ไอน้ำ
- บรรยากาศของโลกจะแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นมีลักษณะทางกายภาพของบรรยากาศที่ แตกต่างกัน
- การจำแนกชั้นบรรยากาศตามปริมาณสารประกอบทางเคมีของแก๊สในบรรยากาศจะแบ่งเป็น 2 ชั้นหลัก ดังนี้
 1. โฮโมสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ อาศัยอยู่ มีการกระจายของแก๊ส องค์ประกอบค่อนข้างสม่ำเสมอ
 2. เฮเทอโรสเฟียร์ บรรยากาศชั้นนี้เริ่มจากระดับความสูงตั้งแต่ 90 กิโลเมตรขึ้นไป จนถึงระดับ ความสูงเป็น 10,000 กิโลเมตร แก๊สองค์ประกอบในบรรยากาศมีการแยกกันเป็นชั้นๆ โดยขึ้นกับมวลโมเลกุลของแก๊สและอุณหภูมิ ณ ความสูงนั้นๆ
- การจำแนกชั้นบรรยากาศตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงจะแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ดังนี้
 1. โทรโพสเฟียร์ เป็นชั้นที่อยู่ล่างสุดติดกับพื้นดิน ปรากฏการณ์ที่สามารถพบเห็นได้ในชั้นนี้ได้แก่ หมอก เมฆ หิมะ ลูกเห็บ ฝน รวมถึงพายุหมุนเขตร้อน
 2. สตราโทสเฟียร์ เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากโทรโพสเฟียร์ มีความสูงประมาณ 20 ถึง 50 กิโลเมตร อากาศของชั้นบรรยากาศชั้นนี้เป็นอากาศแห้ง (ความชื้นต่ำ) มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิตามความสูง
 3. มีโซสเฟียร์ อยู่ในระดับความสูงประมาณ 50 ถึง 80 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิ ลดลงตามความสูง พบปรากฏการณ์ดาวตกและการเกิดเมฆสูงใสได้ในบรรยากาศชั้นนี้
 4. เทอร์โมสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่บนสุด เริ่มที่ระดับความสูงประมาณ 90-500 กิโลเมตร จากพื้นดิน อาจจัดรวมได้ว่าเป็นช่วงชั้นเดียวกับเฮเทอโรสเฟียร์ บรรยากาศชั้นนี้มีอุณหภูมิเพิ่ม ขึ้นตามความสูง ปรากฏการณ์ออโรราจะเกิดขึ้นที่บรรยากาศชั้นนี้

หลักการของพลังงาน

- การถ่ายเทพลังงานสามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี
- สารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ จะแผ่พลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งลักษณะการแผ่รังสีของวัตถุจะขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุนั้น เป็นไปตามหลักการแผ่รังสีของวัตถุดำ
- การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำเป็นไปตามกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ ซึ่งพลังงานในการแผ่รังสีของวัตถุจะขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุ ดังสมการ $E = \sigma T^4$
- ความยาวคลื่นในการแผ่รังสีของวัตถุจะเป็นไปตามกฎของวีน ดังสมการ $\lambda_{\max} = \frac{2897}{T}$

พลังงานจากดวงอาทิตย์และโลก

- ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกที่แผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นสั้น พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ทำให้พื้นผิวโลกอบอุ่นขึ้น
- เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุมประมาณ 23.5 องศากับแนวตั้งที่ตั้งฉากกับระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นที่แต่ละส่วนของโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงส่งผลต่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนมายังแต่ละบริเวณของโลก
- การสะท้อน การดูดกลืน การกระเจิง และการส่งผ่านพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณของโลก
- โลกจะปล่อยพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ผ่านกระบวนการถ่ายเทพลังงานทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี เนื่องจากโลกเป็นวัตถุที่มีอุณหภูมิมากกว่า ศูนย์องศาสัมบูรณ์จึงเกิดการแผ่รังสีได้เช่นเดียวกับวัตถุดำ

สมดุลพลังงานของโลก

- โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ในขณะที่ตัวกันโลกและบรรยากาศของโลกมีการแผ่รังสีในช่วงความยาวคลื่นยาวออกมาเช่นกัน
- พลังงานที่โลกได้รับและพลังงานที่โลกปลดปล่อยสู่อวกาศโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากัน จึงส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกค่อนข้างคงที่

P rocess

1. อธิบายปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรับและคายพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันและผลที่มีต่ออุณหภูมิอากาศในแต่ละบริเวณของโลก
2. อธิบายกระบวนการที่ทำให้เกิดสมดุลพลังงานของโลก
3. สื่อสารและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้
4. มีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

A ttribute

1. ไม่เรียนรู้
2. มุ่งมั่นในการทำงาน



คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

1. ชั้นบรรยากาศโลกมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกอย่างไร
2. บรรยากาศชั้นใดที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากที่สุด เพราะเหตุใด
3. อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความสูงในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์
4. เหตุใดบรรยากาศในชั้นสตราโทสเฟียร์จึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงที่มากขึ้น
5. อุณหภูมิผกผัน (temperature inversion) หมายความว่าอย่างไร เกิดขึ้นบริเวณส่วนใดของชั้นบรรยากาศ
6. ชั้นบรรยากาศหลักของโลกคือชั้นใด
7. ปัจจุบันใดที่ใช้ในการบ่งบอกว่า บรรยากาศแต่ละชั้นเริ่มต้นหรือสิ้นสุดที่ใด
8. ถ้าโลกไม่มีชั้นบรรยากาศจะทำให้โลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
9. สิ่งใดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศ
10. บรรยากาศชั้นใดที่ทำหน้าที่ปกป้องโลกจากการเกิดพายุสุริยะ (solar wind)