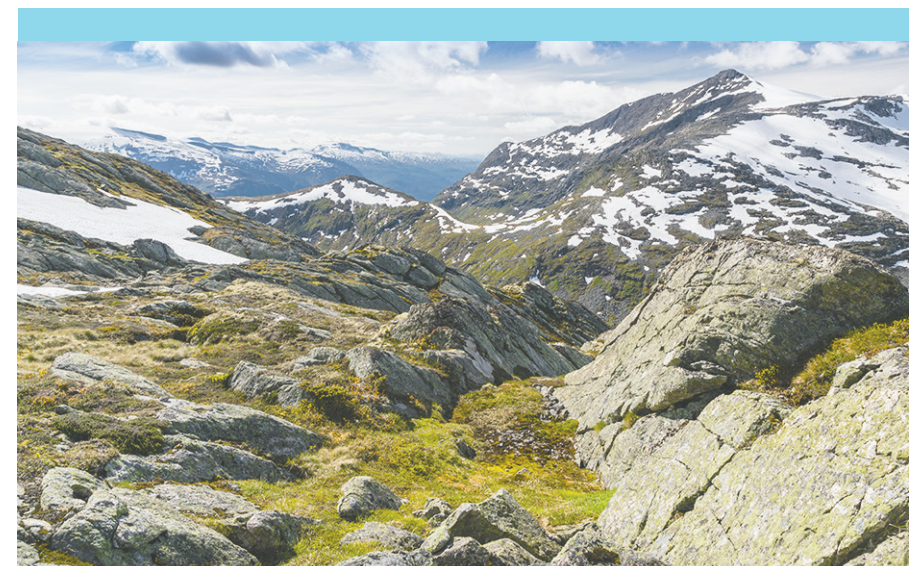


โลก

ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551



ผู้เรียบเรียง

รศ. ดร.สากรล สถิตวิทยานันท์
ผศ. ดร.ปรีชาดิ เวชยนต์

ผู้ตรวจ

รศ. ดร.พันธ์ทิพย์ จงโกธ
ผศ. ดร.อารียา เอี่ยมมู่
ผศ. ดร.พูนศักดิ์ ไม้โคดทรัพย์
ผศ. ดร.ชมชิต พรหมสิน
ดร.วิชุดา บุญยรัตกลิน

บรรณาธิการ

นายสมเกียรติ ภูระหงษ์
นางสาววรารักษ์ นีระพันธ์

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 10,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-079-9

รหัสสินค้า 3518020

อักษ
www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย
บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจก. จำกัด
142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)
พิมพ์ที่: บริษัท ไทยรับเกล้า จำกัด โทร. 0 2903 9101-6





คำแนะนำในการใช้สื่อ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 2 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตามผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

Big Question

คำถามกระตุ้นการเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้

คำถามกระตุ้นการเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้

Big Question
การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก
มีผลกระทบต่อเราอย่างไร?

Check for Understanding
คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน
ก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

Prior Knowledge
ความรู้เดิมของผู้เรียน
ก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

Earth Science Focus
ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรู้ของผู้เรียน

Prior Knowledge
คำถามทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน
เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ใหม่

H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา
การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์
คิดอย่างมีวิจารณญาณ

Topic Questions

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ
ของผู้เรียนในแต่ละหัวข้อ

Earth Science Focus

ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรู้ของผู้เรียน

Earth Science in Real Life

เชื่อมโยงความรู้ทาง
โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ
สู่ชีวิตประจำวัน



QR Code
ใช้สแกน
เพื่อดูสื่อดิจิทัลเพิ่มเติม

เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัด
เพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝน
จนเกิดความเชี่ยวชาญ

กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะ
ทางวิทยาศาสตร์

กิจกรรม
ให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

Summary
สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียน
ได้ทบทวนสาระสำคัญ
ประจำหน่วยการเรียนรู้

Safety first
ข้อควรระวัง
ในการทำทดลอง

Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้
เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียน

Unit questions
แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ
ในระดับอุดมศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)
เรื่อง การพยากรณ์อากาศระยะสั้นด้วยตนเอง

กิจกรรมที่เน้น
ให้ผู้เรียนได้
ลงมือปฏิบัติจริง
เพื่อให้เกิด
การเรียนรู้ และ
สร้างองค์ความรู้
ด้วยตนเอง



โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เวลา 40 ชั่วโมง

ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดเมฆ เสถียรภาพอากาศ แนวปะทะอากาศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ข้อมูลสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก เช่น ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา ปรากฏการณ์ซัวคุ่มหาสมุทรอินเดีย คลื่นความร้อน สามารถอธิบายเกี่ยวกับการพยากรณ์อากาศ การตรวจอากาศ ขั้นตอนการพยากรณ์อากาศ วิธีการพยากรณ์อากาศ และแผนที่อากาศได้ การทำความเข้าใจ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกจะทำให้เข้าใจเนื้อหาที่เรียนเพิ่มขึ้น

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต การวิเคราะห์ การอธิบาย การอธิบาย และการสรุปผล เพื่อให้เกิดความรู้ ความคิด และความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่ถูกต้องเหมาะสม



ผลการเรียนรู้

- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพอากาศและการเกิดเมฆ
- อธิบายการเกิดแนวปะทะอากาศแบบต่าง ๆ และลักษณะลมฟ้าอากาศที่เกี่ยวข้อง
- อธิบายปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก พร้อมยกตัวอย่างข้อมูลสนับสนุน
- วิเคราะห์และอธิบายเหตุการณ์ที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และนำเสนอแนวปฏิบัติของมนุษย์ที่มีส่วนช่วยในการชะลอการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก
- แปลความหมายสัญลักษณ์ลมฟ้าอากาศบนแผนที่อากาศ
- วิเคราะห์และคาดการณ์ลักษณะลมฟ้าอากาศเบื้องต้นจากแผนที่อากาศและข้อมูลสารสนเทศอื่น ๆ เพื่อวางแผนในการประกอบอาชีพและดำเนินชีวิตให้สอดคล้องกับสภาพลมฟ้าอากาศ

รวม 6 ผลการเรียนรู้

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4



เสถียรภาพอากาศ
และแนวปะทะอากาศ 2-29

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5



การเปลี่ยนแปลง
ภูมิอากาศของโลก 30-71

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6



การพยากรณ์
อากาศ 72-106

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)
บรรณานุกรม

เมฆ	3
• การเกิดเมฆ	3
• การจำแนกประเภทของเมฆ	8
เสถียรภาพของอากาศ	16
• อากาศมีเสถียรภาพ	16
• อากาศไม่เสถียรภาพ	17
แนวปะทะอากาศ	18
Unit questions 4	28
แนวข้อสอบ A-Level	29

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	31
• ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	32
• ข้อมูลสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	39
ปรากฏการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ	45
• ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา	45
• ปรากฏการณ์ซัวคุ่มหาสมุทรอินเดีย	50
• ระบบโลกและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	52
• คลื่นความร้อน	57
แนวปฏิบัติเพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	62
Unit questions 5	70
แนวข้อสอบ A-Level	71

การตรวจอากาศ	73
• การตรวจอากาศผิวพื้น	76
• การตรวจอากาศชั้นบน	78
• การตรวจอากาศด้วยดาวเทียม	80
• การตรวจอากาศด้วยเรดาร์	82
ขั้นตอนการพยากรณ์อากาศ	86
วิธีการพยากรณ์อากาศ	87
• การพยากรณ์อากาศโดยใช้เกณฑ์ช่วงเวลาในการพยากรณ์	87
• การพยากรณ์อากาศโดยใช้เกณฑ์ตามความเหมาะสมของสภาพอากาศ	89
แผนที่อากาศ	92
Unit questions 6	105
แนวข้อสอบ A-Level	106
กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)	107
บรรณานุกรม	108



? เสถียรภาพอากาศ
สัมพันธ์กับการเกิดเมฆ
อย่างไร

4 เสถียรภาพอากาศ และแนวปะทะอากาศ

เมฆเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งของท้องฟ้า โดยท้องฟ้าในแต่ละวันและแต่ละช่วงเวลา มักจะมีเมฆที่มีรูปร่าง ขนาด และสีสลับ ในปริมาณที่ต่างกัน ลักษณะของเมฆขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเมฆแต่ละชนิด โดยมีเสถียรภาพอากาศเป็นสิ่งที่คอยช่วยส่งเสริมหรือยับยั้ง การเคลื่อนที่ของเมฆ

Check for Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

ถูก/ผิด

1. เมฆเกิดจากการยกตัวของก้อนอากาศที่ควบแน่นรวมกัน
2. เมฆซีร์รัสเป็นเมฆที่มีลักษณะเป็นก้อนหนา สีขาวคล้ายปุยฝ้ายหรือสำลี
3. เมฆคิวโมโลนิมบัส เป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง ฐานเมฆอยู่ในระดับใกล้พื้นดิน และยอดเมฆอาจสูงถึง 10 กิโลเมตร
4. อากาศที่มีเสถียรภาพจะทำให้เกิดเมฆในแนวราบและทำให้เกิดท้องฟ้าแจ่มใส ส่วนมากพบในช่วงฤดูหนาว
5. แนวปะทะอากาศเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศ เช่น เมฆ ฝน พายุ

บันทึกลงในสมุด

Prior Knowledge

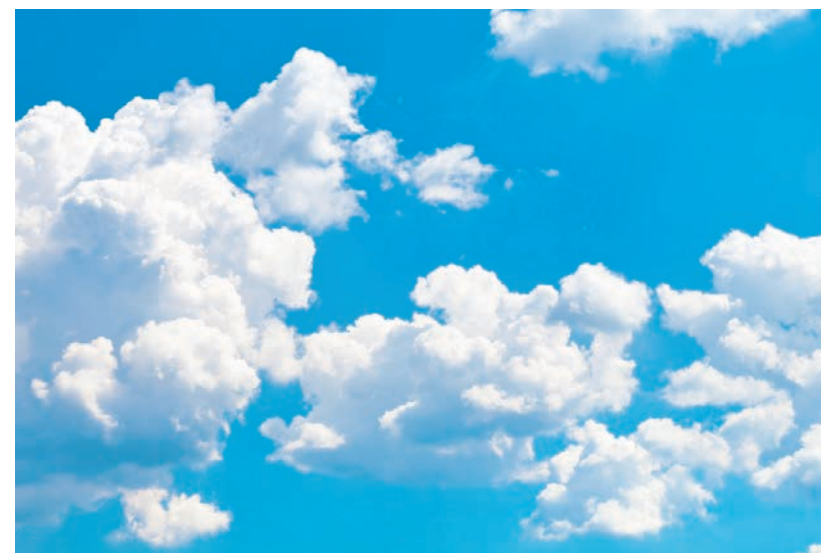
เมฆเกิดขึ้นได้อย่างไร
และเมฆแต่ละก้อน
มีชื่อเรียกหรือไม่

1 เมฆ

เมฆเป็นกลุ่มหยดน้ำขนาดเล็กจำนวนมากที่เกาะกลุ่มรวมกันและลอยอยู่ในอากาศ เมฆเกิดจากการยกตัวของก้อนอากาศ (air parcel) ที่ระดับความสูงเหนือระดับการควบแน่น (condensation level) ทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและรวมตัวกันเป็นหยดน้ำขนาดเล็ก โดยเมฆแต่ละชนิดจะเกิดขึ้นในระดับความสูงที่แตกต่างกันและมีลักษณะไม่เหมือนกัน

1.1 การเกิดเมฆ

เมฆเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ไอน้ำที่ได้รับความร้อนจะลอยสูงขึ้น เมื่อไอน้ำกระทบกับความเย็นของอากาศที่อยู่ด้านบนจะควบแน่นเป็นหยดน้ำขนาดเล็กเกาะอยู่บนอนุภาคของละอองลอย (aerosol) ที่อยู่ในอากาศ ซึ่งอนุภาคของละอองลอยจะช่วยให้ละอองน้ำรวมตัวกันมากขึ้น เกิดเป็นเมฆที่ขนาดแตกต่างกัน



▲ ภาพที่ 4.1 ลักษณะของเมฆที่พบบนท้องฟ้า
ที่มา : คลังภาพ อจท.



Earth Science Focus

หมอก

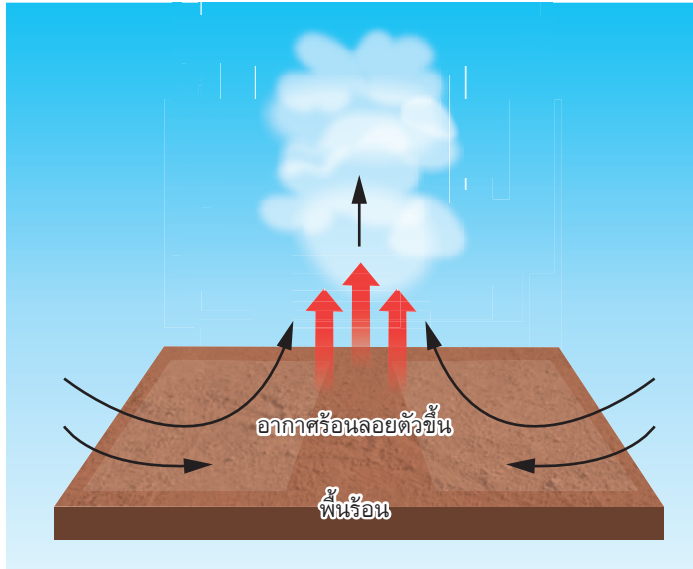
- หมอก (fog) เกิดจากไอน้ำที่เปลี่ยนสถานะโดยการควบแน่นเป็นหยดน้ำขนาดเล็กและลอยอยู่ใกล้ผิวดิน หมอกมีลักษณะคล้ายกับเมฆ ทั้งโครงสร้างและรูปร่างแตกต่างกันที่ระดับของความสูงในการก่อตัว หมอกมีผลทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง แต่เป็นปัจจัยในการดึงดูดให้เกิดการท่องเที่ยว เช่น ทะเลหมอก



▲ ภาพที่ 4.2 ทะเลหมอก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เมฆเกิดจากกลไกการยกตัวของก้อนอากาศซึ่งมี 4 ลักษณะ ดังนี้

1. การพาความร้อน

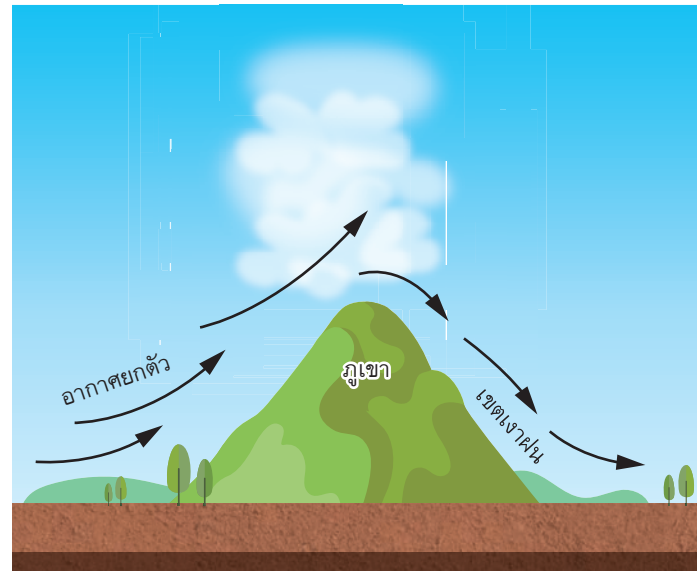


▲ ภาพที่ 4.3 การยกตัวของอากาศเนื่องจากการพาความร้อน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เกิดจากความร้อนของแสงอาทิตย์ในตอนกลางวันทำให้พื้นโลกร้อนมวลอากาศที่ปกคลุมพื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะลอยขึ้นในแนวตั้ง เมื่ออากาศลอยตัวสูงขึ้นถึงระดับควบแน่น ไอน้ำในอากาศจะก่อตัวเป็นเมฆ โดยส่วนใหญ่เป็นเมฆคิวมูลัส ซึ่งถ้ามีไอน้ำปริมาณมากจะพัฒนาเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส แล้วตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้า (precipitation) เช่น ฝน ลูกเห็บ หิมะ

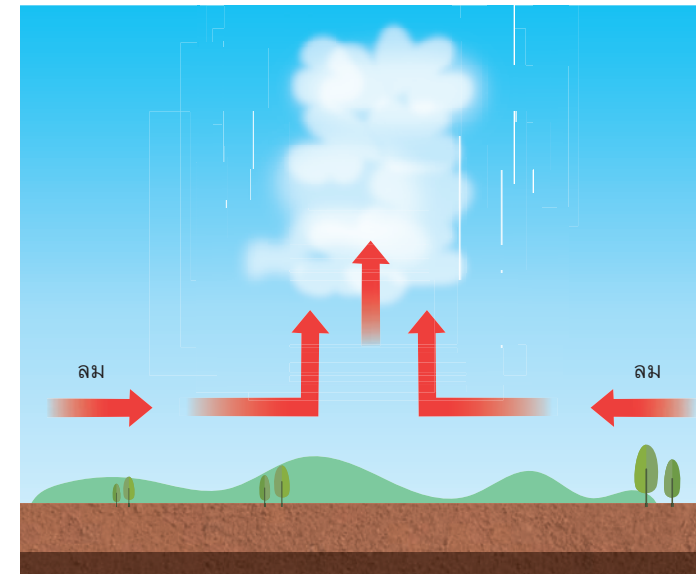
2. การยกตัวของอากาศตามความชัน

เกิดจากลมพัดพาเอาอากาศที่มีความชื้นเคลื่อนที่ไปตามความชันของภูเขาหรือพื้นที่ที่สูงขึ้น อากาศจะถูกดันให้ลอยสูงขึ้นและขยายตัว เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงจุดควบแน่น ไอน้ำในอากาศจะเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นเมฆนิมโบสเตรตัส และอาจเกิดฝนตกบริเวณด้านหน้าภูเขา ส่วนบริเวณที่อยู่ด้านหลังภูเขาจะมีปริมาณของน้ำฝนเฉลี่ยน้อยกว่า เรียกว่า เขตเงาฝน (rain shadow)



▲ ภาพที่ 4.4 การยกตัวของอากาศตามความชันหรือตามภูเขา
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3. การบีบตัวของอากาศ

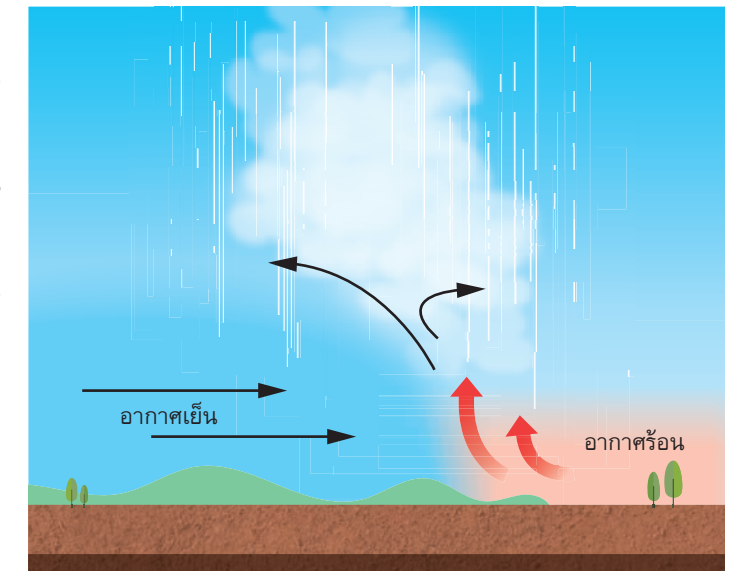


▲ ภาพที่ 4.5 การยกตัวของอากาศเนื่องจากการบีบตัวของอากาศ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

เกิดจากการที่ลมสองทิศทางพัดมาปะทะกัน แล้วกลายเป็นแนวบีบตัวของอากาศ (convergence) อากาศบริเวณที่ลมปะทะกันจึงยกตัวขึ้น ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงระดับควบแน่น ทำให้ไอน้ำในอากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำขนาดเล็กแล้วรวมตัวกันเป็นเมฆ เมฆที่พบจากกระบวนการนี้ได้แก่ เมฆแอลโตคิวมูลัส แอลโดสเตรตัส ซีร์โรคิวมูลัส สเตรโตคิวมูลัส และสเตรตัส

4. การเกิดแนวปะทะอากาศ

เกิดจากมวลอากาศสองกลุ่มที่มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันเคลื่อนที่มาพบกัน อากาศร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศเย็น เมื่อมวลอากาศร้อนปะทะกับมวลอากาศเย็น ก้อนอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นตามแนวปะทะอากาศ (weather front) และมีอุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงระดับควบแน่น ทำให้เกิดเมฆและฝน



▲ ภาพที่ 4.6 การยกตัวของอากาศเนื่องจากแนวปะทะอากาศ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การทดลอง
- การตีความข้อสรุป และการลงข้อสรุป

จิตวิทยาศาสตร์

- ความอยากรู้อยากเห็น
- ความรอบคอบ

แบบเกิดขึ้นได้อย่างไร

จุดประสงค์

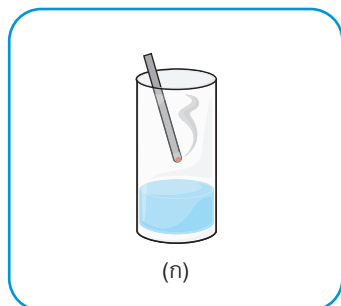
เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดเมฆ

วัสดุอุปกรณ์

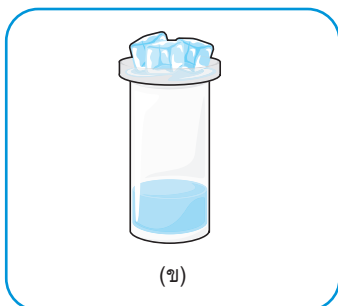
1. รูป
2. แก้วน้ำทรงกระบอก
3. น้ำแข็งก้อน
4. จานขนาดเล็กที่มีลักษณะแบนราบ

วิธีปฏิบัติ

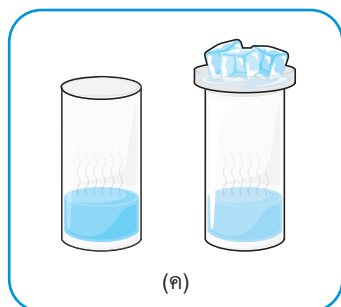
1. เติมน้ำร้อนลงในแก้วพอประมาณ สังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น จดรูปและนำรูปลงไปในแก้ว ให้ควันรูปลอยอยู่ในแก้ว ดังภาพที่ 4.7 (ก) สังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ใส่ น้ำแข็งในจานแบน แล้วนำไปวางปิดปากแก้ว ดังภาพที่ 4.7 (ข) สังเกตการเปลี่ยนแปลง
3. ทดลองซ้ำข้อ 1. และ 2. แต่ไม่นำควันรูปลงไปในแก้ว ดังภาพที่ 4.7 (ค) สังเกตการเปลี่ยนแปลง
4. ทดลองซ้ำข้อ 1. และ 2. แต่เปลี่ยนจากน้ำร้อนเป็นน้ำเย็น ดังภาพที่ 4.7 (ง) สังเกตการเปลี่ยนแปลง



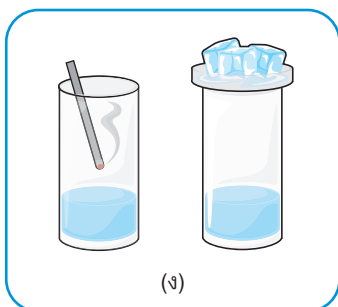
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

Safety first

ควรระมัดระวังขณะที่จุดรูป และหลีกเลี่ยงการสูดดมควันรูปปริมาณมาก

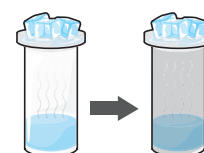
▲ ภาพที่ 4.7 กิจกรรมเมฆเกิดขึ้นได้อย่างไร
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

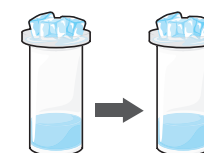
1. การใช้ควันรูปลอยในแก้วกับไม่ใช้ควันรูป ผลการทดลองเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. ละอองน้ำที่ปรากฏภายในแก้วเกิดขึ้นได้อย่างไร
3. เมื่อนำจานแบนที่ใส่น้ำแข็งไปวางปิดปากแก้ว สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงภายในแก้วหรือไม่ อย่างไร

อภิปรายผลกิจกรรม

จากการทดลอง แก้วที่ใส่น้ำร้อนจะสังเกตเห็นไอน้ำลอยขึ้นภายในแก้ว เพราะน้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดไอน้ำระเหยขึ้นไปในอากาศ และเมื่อนำจานแบนที่ใส่น้ำแข็งไว้ปิดปากแก้วจะสังเกตเห็นละอองน้ำที่เกาะอยู่ที่แก้ว เนื่องจากอากาศร้อนยกตัวสูงขึ้นแล้วมากระทบกับอากาศเย็นได้จนน้ำแข็งที่ปิดปากแก้วไว้ จากนั้นไอน้ำจึงเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำจำนวนมาก



▲ ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงภายในภาชนะที่ใส่น้ำร้อน
เมื่อนำภาชนะแบนที่ใส่น้ำแข็งบนปากภาชนะ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงภายในภาชนะที่ใส่น้ำเย็น
เมื่อนำภาชนะแบนที่ใส่น้ำแข็งบนปากภาชนะ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



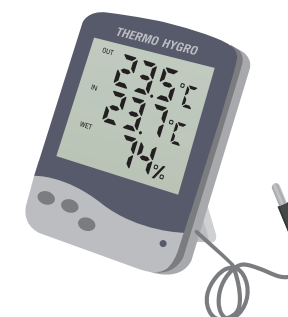
Earth Science Focus

ความชื้นสัมพัทธ์

- ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นอัตราส่วนปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสามารถวัดได้จากเครื่องมือ 2 ชนิด ได้แก่ ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง (wet and dry hygrometer) และไฮโกรมิเตอร์แบบดิจิทัล (digital hygrometer)

ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละได้ ดังนี้

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \left(\frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ}}{\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว}} \right) \times 100\%$$



▲ ภาพที่ 4.10 ไฮโกรมิเตอร์แบบดิจิทัล
ที่มา : คลังภาพ อจท.

1.2 การจำแนกประเภทของเมฆ

เนื่องจากเมฆบนโลกมีกระบวนการเกิดและลักษณะที่หลากหลาย นักธรรมชาติวิทยาในศตวรรษที่ 19 ชื่อว่า ลุก โฮเวิร์ด (Luke Howard) จึงเริ่มสังเกต จัดบันทึก และจำแนกเมฆประเภทต่าง ๆ ออกเป็นสกุล (genus) ชนิด (species) และพันธุ์ (variety) ตามลำดับจากใหญ่ไปหาเล็ก โดยอ้างอิงมาจากการจำแนกประเภทสิ่งมีชีวิตตามหลักอนุกรมวิธานของนักพฤกษศาสตร์ ชื่อว่า คาโรลัส ลินเนียส (Carolus Linnaeus)



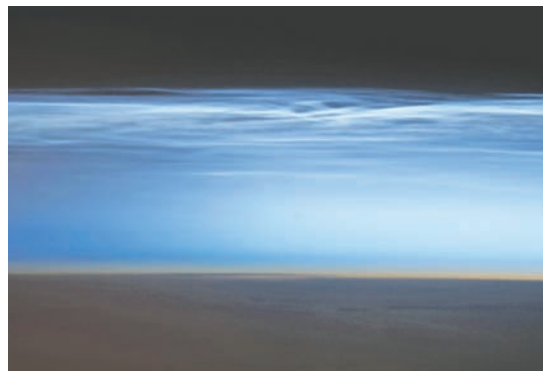
▲ ภาพที่ 4.11 ลุก โฮเวิร์ด
ที่มา : www.cloudman.com

ปัจจุบัน การศึกษาเมฆตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ถูกเรียกว่า เมฆวิทยา (nephology) โดยเมฆส่วนใหญ่ที่ปรากฏบนท้องฟ้าจะพบที่บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposphere) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ย 17 กิโลเมตรและอยู่ติดกับพื้นผิวโลก ทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศ ไอน้ำ ละอองลอย และการถ่ายโอนความร้อน มีปริมาณมาก ก่อนอากาศจึงยกตัวลอยขึ้นตามแนวตั้ง เกิดการขยายปริมาตรเชิงความร้อนภายในก่อนอากาศคล้ายกับกระบวนการอะเดียแบติก (adiabatic process) และควบแน่นกลายเป็นเมฆ เมื่อยอดน้ำขนาดเล็กภายในเมฆเพิ่มจำนวนและมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงตกลงมาในรูปของหยาดน้ำฟ้าแบบต่าง ๆ

นอกจากเมฆในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ เมฆบางรูปแบบยังสามารถก่อตัวในบรรยากาศชั้นที่อยู่สูงขึ้นไป ได้แก่ เมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์แถบขั้วโลก (polar stratospheric clouds) และเมฆในบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์แถบขั้วโลก (polar mesospheric clouds)



▲ ภาพที่ 4.12 เมฆในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์
แถบขั้วโลก
ที่มา : <https://earthobservatory.nasa.gov/>



▲ ภาพที่ 4.13 เมฆในบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์
แถบขั้วโลก
ที่มา : <https://earthobservatory.nasa.gov/>

การจำแนกประเภทของเมฆอย่างง่ายสามารถพิจารณาจากเกณฑ์รูปร่างของเมฆและระดับความสูงของฐานเมฆ ดังนี้

1. เกณฑ์รูปร่างของเมฆ สามารถแบ่งเมฆออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) เมฆฝอย (cirriform) มีลักษณะเป็นเส้นใยคล้ายขนนกหรือเส้นขนที่ปลายหางมีสีเทาหรือสีน้ำเงิน บดบังแสงอาทิตย์ได้น้อย ภายในเมฆฝอยประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) หรือหยดน้ำเย็นยิ่งยวด (supercooled water droplet) และมักจะปรากฏในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสหากเมฆฝอยบดบังแสงอาทิตย์หรือแสงจันทร์จะทำให้เกิดวงแสงรอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ เรียกว่า การทรงกลด (halo)



▲ ภาพที่ 4.14 เมฆฝอย
ที่มา : <https://public.wmo.int/en>

2) เมฆแผ่น (stratiform) มีลักษณะเป็นแผ่นปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง มีสีเทาหรือสีเทา บดบังแสงอาทิตย์ได้มาก และสามารถทำให้เกิดฝนตกเป็นเวลานาน ภายในเมฆแผ่นประกอบด้วยหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส หยดน้ำเย็นยิ่งยวดบางส่วน และผลึกน้ำแข็งเป็นส่วนน้อย มักปรากฏในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใสและอากาศชื้น



▲ ภาพที่ 4.15 เมฆแผ่น
ที่มา : <https://public.wmo.int/en>

3) เมฆก้อน (cumuliform) มีลักษณะเป็นก้อนหนา ๆ คล้ายปุยนุ่มหรือดอกกะหล่ำ มีสีเทาหรือสีเทาบดบังแสงอาทิตย์ได้มาก ภายในเมฆก้อนประกอบด้วยหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส มักปรากฏในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส อากาศร้อนและชื้น เมฆก้อนที่เติบโตจนมีขนาดใหญ่จะกลายเป็นเมฆฝนที่มีสีคล้ำเนื่องจากหยดน้ำภายในเมฆดูดกลืนแสงอาทิตย์ไว้เป็นปริมาณมาก



▲ ภาพที่ 4.16 เมฆก้อน
ที่มา : <https://public.wmo.int/en>



2. เกณฑ์ระดับความสูงของฐานเมฆ สามารถแบ่งเมฆออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่



ประเภทของเมฆ

 **เมฆชั้นสูง** ฐานเมฆอยู่ในระดับความสูงเฉลี่ยตั้งแต่ 6,000 เมตรขึ้นไป ซึ่งความสูงในระดับนี้สภาพอากาศจะหนาวและแห้ง องค์ประกอบภายในเมฆส่วนใหญ่เป็นผลึกน้ำแข็ง

 **เมฆชั้นกลาง** ฐานเมฆอยู่ในระดับความสูง 2,000-6,000 เมตร ภายในเมฆจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งและหยดน้ำขนาดเล็ก

 **เมฆชั้นต่ำ** ฐานเมฆอยู่ใกล้พื้นดินและอยู่ในระดับความสูงไม่เกิน 2,000 เมตร องค์ประกอบภายในเมฆส่วนใหญ่เป็นหยดน้ำขนาดเล็ก

 **นิมโบสเตรตัส (nimbostratus)**
แผ่นสีเทา เกาะกลุ่มกันเป็นคลื่นและเป็นแผ่นหนา

 **ซีร์รัส (cirrus)**
มีสีขาว เป็นเส้นใยบาง ๆ คล้ายขนนก

 **ซีร์โรสเตรตัส (cirrostratus)**
แผ่นสีขาวบาง อาจหักเหหรือสะท้อนแสงทำให้เกิดดวงอาทิตย์ทรงกลด

 **แอลโตสเตรตัส (altostratus)**
มีสีเทา เป็นแผ่นหนาหิบบ

 **สเตรโตคิวมูลัส (stratocumulus)**
เป็นกลุ่มก้อนสีเทาหรือสีขาวเรียงต่อกัน

 **ซีร์โรคิวมูลัส (cirrocumulus)**
สีขาว ลักษณะเป็นก้อน ลอนคลื่น หรือริ้ว ๆ คล้ายกับระลอกทราย

 **แอลโตคิวมูลัส (altocumulus)**
สีขาวหรือสีเทา ลักษณะเป็นก้อนเรียงกันเป็นแผ่น

 **คิวมูลัส (cumulus)**
เกาะกันเป็นกลุ่ม ๆ ก้อนหนาคล้ายกะหล่ำดอก

 **คิวมูโลนิมบัส (cumulonimbus)**
เมฆคิวมูโลนิมบัส เมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง ฐานเมฆจะอยู่ในระดับใกล้พื้นดิน และยอดเมฆอาจสูงถึง 10 กิโลเมตร เป็นเมฆก้อนหนาใหญ่ สีเทา และทำให้เกิดฝนตก

1) **เมฆชั้นสูง** มีฐานเมฆอยู่ในระดับความสูงมากกว่า 6,000 เมตรจากผิวโลก ซึ่งในระดับความสูงนี้สภาพอากาศจะเย็นและแห้ง ภายในเมฆประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง และหยดน้ำเย็นยิ่งยวด จึงทำให้มองเห็นเป็นสีขาว ชื่อเมฆจะขึ้นต้นด้วยซีร์รัส (cirrus) ได้แก่ ซีร์รัส ซีร์โรสเตรตัส และ ซีร์โรคิวมูลัส

• ซีร์รัส (cirrus)

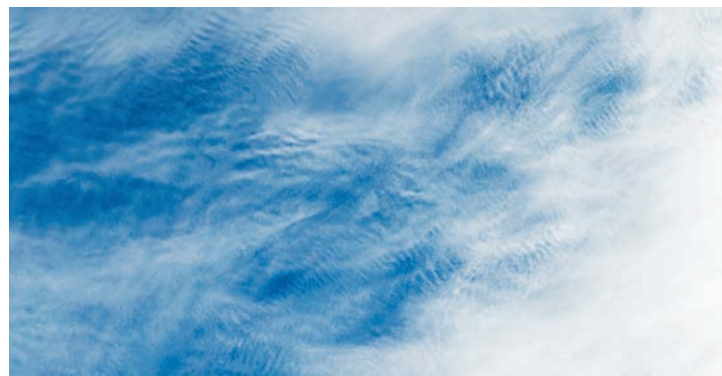
มีลักษณะเป็นเส้นใยบาง ๆ เป็นริ้วคล้ายขนนก และมีความโปร่งแสง หากลอยผ่านดวงอาทิตย์ แสงของดวงอาทิตย์จะสามารถลอดผ่านไปได้ โดยความสว่างของแสงไม่ลดลง มักเกิดขึ้นในวันที่มีอากาศแจ่มใส



▲ ภาพที่ 4.18 เมฆซีร์รัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

• ซีร์โรสเตรตัส (cirrostratus)

มีลักษณะเป็นริ้วคล้ายเส้นใย ต่อกันเป็นแผ่นสีขาวแผ่ปกคลุมทั่วท้องฟ้า มีลักษณะโปร่งแสง หากเกิดการหักเหหรือสะท้อนของแสงจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ทรงกลด (sun halo)



▲ ภาพที่ 4.19 เมฆซีร์โรสเตรตัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

• ซีร์โรคิวมูลัส (cirrocumulus)

มีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็ก คล้ายสำลีสีขาว ปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง



▲ ภาพที่ 4.20 เมฆซีร์โรคิวมูลัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2) **เมฆชั้นกลาง** มีฐานเมฆอยู่ในระดับความสูงระหว่าง 2,000-6,000 เมตรจากผิวโลก องค์ประกอบภายในเมฆเป็นผลึกน้ำแข็งและหยดน้ำขนาดเล็ก ชื่อเมฆจะขึ้นต้นด้วยแอลโต (alto) ได้แก่ แอลโตสเตรตัสและแอลโตคิวมูลัส

• แอลโตสเตรตัส (altostratus)

มีลักษณะเป็นแผ่นหนาที่บดบังดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ ทำให้เห็นท้องฟ้าเป็นฝ้าและอาจทำให้เกิดฝนละออง (drizzle)



▲ ภาพที่ 4.21 เมฆแอลโตสเตรตัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

• แอลโตคิวมูลัส (altocumulus)

มีลักษณะเป็นก้อนสีขาว มีการเรียงตัวเป็นคลื่นหรือเกล็ด อาจเรียงตัวกันสองชั้นหรือมากกว่า บางส่วนของเมฆอาจมีแสงลอดผ่านได้บ้าง



▲ ภาพที่ 4.22 เมฆแอลโตคิวมูลัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Earth Science Focus

ผลึกน้ำแข็ง

การเกิดผลึกน้ำแข็ง (nucleation) คือ โมเลกุลของน้ำที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยมีอนุภาคมิลดลงและเกิดการดึงพลังงานความร้อนแฝง (latent heat) ที่เปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นผลึกแข็ง ซึ่งผลึกน้ำแข็งรูปแท่ง (columnar ice crystal) และผลึกน้ำแข็งแบบแผ่น (plate ice crystal) ที่ลอยอยู่ในบรรยากาศคือสาเหตุของปรากฏการณ์ทรงกลดของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และปรากฏการณ์ทางแสงอื่นๆ เช่น ชันด็อก (sun dog) เสาดแสง (light pillar)

▲ ภาพที่ 4.23 ผลึกน้ำแข็ง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

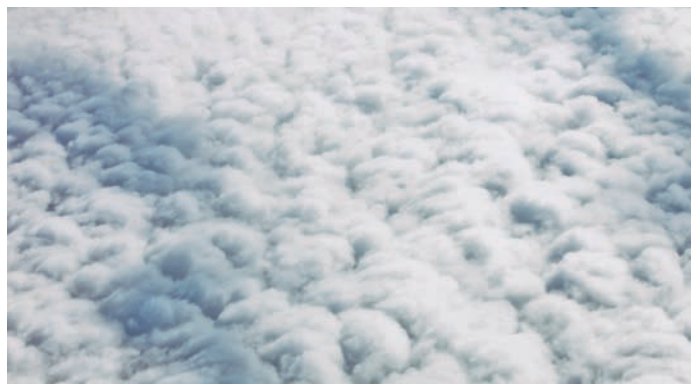
3) เมฆชั้นต่ำ มีฐานเมฆอยู่ในระดับความสูงต่ำกว่า 2,000 เมตร องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายในเมฆเป็นหยดน้ำขนาดเล็ก เมฆชั้นต่ำ ได้แก่ สเตรโตคิวมูลัส นิมโบสเตรตัส คิวมูลัส และคิวมูโลนิมบัส

- สเตรโตคิวมูลัส (stratocumulus) มีสีเทา เรียงตัวต่อกันหนาแน่น ลอยต่ำติดกันเป็นแพ ทำให้สามารถบดบังดวงอาทิตย์ได้ มักพบเห็นเมื่อสภาพอากาศไม่ค่อยดีนัก



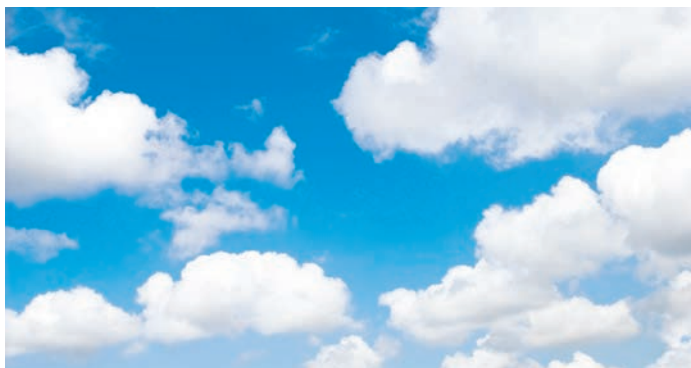
▲ ภาพที่ 4.24 เมฆสเตรโตคิวมูลัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- นิมโบสเตรตัส (nimbostratus) มีลักษณะเป็นเมฆสีเทาเข้มที่แผ่กว้างปกคลุมท้องฟ้า และเป็นแผ่นหนา เป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนตก จึงเรียกว่า เมฆฝน



▲ ภาพที่ 4.25 เมฆนิมโบสเตรตัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- คิวมูลัส (cumulus) มีลักษณะเป็นก้อนคล้ายปุยฝ้ายหรือดอกกะหล่ำ ถ้าก้อนเมฆมีขนาดใหญ่อาจมีฝนตกภายใต้ก้อนเมฆเฉพาะพื้นที่



▲ ภาพที่ 4.26 เมฆคิวมูลัส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

- คิวมูโลนิมบัส (cumulonimbus) เป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง ฐานเมฆอยู่ในระดับใกล้ผิวโลก และยอดเมฆอาจสูงถึง 10 กิโลเมตร เป็นเมฆก้อนหนาใหญ่ ฐานเมฆจะมีสีดำ มักเกิดลมกระโชกแรง ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า และบางครั้งอาจมีลูกเห็บ เมฆคิวมูโลนิมบัสสามารถทำให้เกิดฝนตกหนักและฝนฟ้าคะนอง หากมีพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาก เช่น วันที่มีอากาศร้อนจัดในฤดูร้อน ความชื้นจากมวลอากาศจะถูกทำให้ระเหยอย่างรวดเร็ว ผลที่ตามมาคือการก่อตัวของกลุ่มมวลอากาศใหม่ในระยะทางที่ห่างออกไปไม่กี่ไมล์ และก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

เมฆคิวมูโลนิมบัสมักจะพบในภูมิอากาศเขตร้อน โดยเกิดจากเมฆคิวมูลัสขนาดใหญ่ที่เติบโตในแนวตั้งอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ก้อนอากาศด้านบนควบแน่นเป็นแผ่น เรียกว่า หมวกเมฆ (pileus) หรือเมฆผ้าคลุม (scarf cloud)



▲ ภาพที่ 4.27 เมฆคิวมูโลนิมบัส
ที่มา : <https://www.nasa.gov>

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. เมฆเกิดขึ้นได้อย่างไร
2. เมฆชั้นต่ำประกอบด้วยเมฆชนิดใดบ้าง
3. เมฆชนิดใดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ทรงกลด
4. เมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งคือเมฆชนิดใดและมีความสูงเท่าใด
5. เมฆชนิดใดมีรูปร่างลักษณะคล้ายขนนกสีขาว เป็นริ้ว ๆ มีลักษณะโปร่งแสง

เสถียรภาพของอากาศ คืออะไร แบ่งเป็นกี่รูปแบบ อะไรบ้าง

2 เสถียรภาพของอากาศ

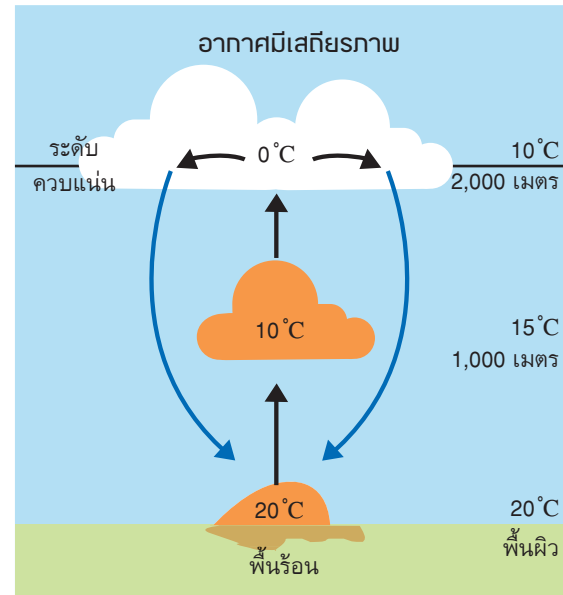
เสถียรภาพของอากาศ (atmospheric stability) คือ สภาวะของอากาศที่ช่วยส่งเสริมหรือยับยั้งให้อากาศเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวตั้ง เมื่ออากาศอยู่ในสภาวะสมดุลหรือมีเสถียรภาพ

อากาศจะไม่เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่กลับสู่ที่เดิมในเวลาอันสั้น แต่หากอากาศไม่มีเสถียรภาพ อากาศจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา

2.1 อากาศมีเสถียรภาพ

เมื่อก่อนอากาศมีอุณหภูมิต่ำและมีความดันสูงกว่าอากาศโดยรอบ ก้อนอากาศจะไม่สามารถยกตัวได้สูงมากนักและจะเคลื่อนที่กลับสู่ที่เดิม เรียกว่า อากาศมีเสถียรภาพ (stable air) แต่หากก้อนอากาศยกตัวสูงขึ้นจนถึงระดับควบแน่น แต่ไม่สามารถยกตัวขึ้นสูงต่อไปได้อีก จะทำให้เกิดเมฆในแนวราบ สภาวะอากาศที่มีเสถียรภาพจะทำให้ท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆน้อยหรือไม่มีเมฆ มักพบในช่วงเช้าหรือในฤดูหนาว

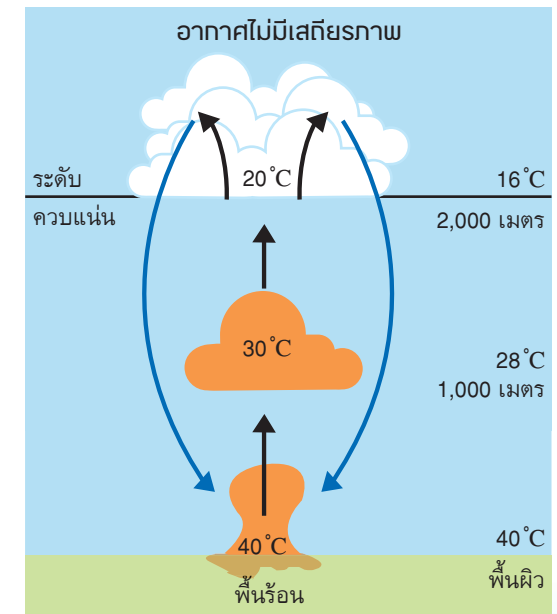
▼ ภาพที่ 4.29 บริเวณที่อากาศมีเสถียรภาพจะมีท้องฟ้าแจ่มใสและมีเมฆน้อย
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 4.28 สภาวะอากาศมีเสถียรภาพ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2.2 อากาศไม่มีเสถียรภาพ

เมื่อก่อนอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ ก้อนอากาศจะยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับควบแน่น เรียกว่า อากาศไม่มีเสถียรภาพ (unstable air) ส่งผลให้เกิดเมฆในแนวตั้ง เช่น เมฆคิวมูลัส เมฆคิวโมโลนิมบัส สภาวะอากาศไม่มีเสถียรภาพจะทำให้ท้องฟ้ามีเมฆฝนปกคลุมและเกิดหยาดน้ำฟ้า ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ช่วงบ่ายหรือในฤดูร้อน



▲ ภาพที่ 4.30 สภาวะอากาศไม่มีเสถียรภาพ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

▲ ภาพที่ 4.31 บริเวณที่อากาศไม่มีเสถียรภาพ อากาศจะลอยตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าปริมาณมาก
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. สภาวะอากาศมีเสถียรภาพมีลักษณะอย่างไร และเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด
2. สภาวะอากาศไม่มีเสถียรภาพมีลักษณะอย่างไร และเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด
3. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลให้เกิดสภาวะอากาศไม่มีเสถียรภาพ
4. อากาศที่มีเสถียรภาพกับอากาศที่ไม่มีเสถียรภาพมีความแตกต่างกันอย่างไร
5. สภาวะอากาศไม่มีเสถียรภาพมักจะพบในพื้นที่ใดของประเทศไทย

การยกตัวของอากาศ
ส่งผลต่อลักษณะ
ลมฟ้าอากาศอย่างไร

3 แนวปะทะอากาศ

เมื่อมวลอากาศ 2 ก้อนเคลื่อนที่มาปะทะกันจะเกิดแนวปะทะหรือขอบเขตระหว่างมวลอากาศทั้งสอง โดยมวลอากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวลง ส่วนมวลอากาศร้อนที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยตัวขึ้น แนวปะทะหรือขอบเขตที่มวลอากาศทั้งสองเคลื่อนที่มาพบกัน เรียกว่า **แนวปะทะอากาศ (weather front)**

มวลอากาศ (air mass) คือ กลุ่มของอากาศที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ โดยมีความชื้นปริมาณไอน้ำ และอุณหภูมิเกือบเท่ากันทั้งก้อน มวลอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อก้อนอากาศส่วนนั้นอยู่หนึ่งกับที่ และมีการสัมผัสกับพื้นผิวโลกเป็นระยะเวลานานจนกระทั่งมีสมบัติคล้ายกับพื้นผิวโลกในบริเวณนั้น ๆ จากนั้นมวลอากาศจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่น ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศแบบต่าง ๆ

ประเภทของมวลอากาศสามารถจำแนกโดยใช้แหล่งกำเนิดและอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ ดังนี้

1. การจำแนกมวลอากาศโดยพิจารณาแหล่งกำเนิดเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น

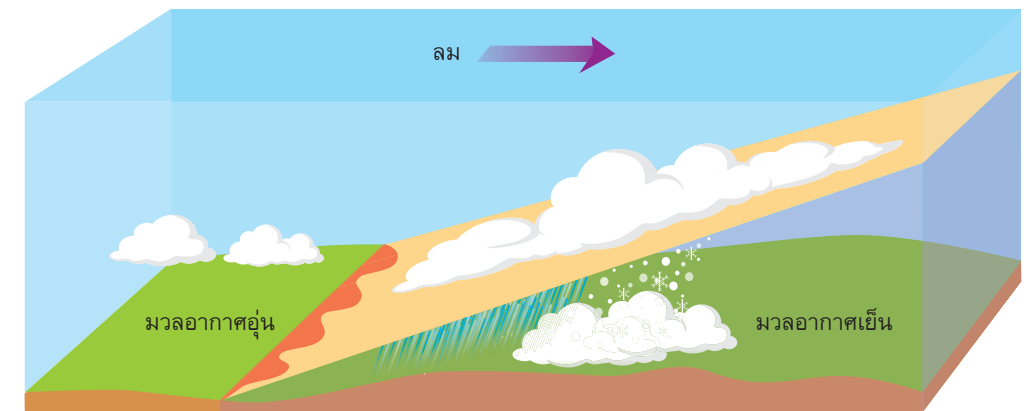
- มวลอากาศขั้วโลกภาคพื้นทวีป (continental polar air mass) มีแหล่งกำเนิดอยู่เหนือภาคพื้นทวีปในเขตละติจูดสูง ซึ่งมีลักษณะเป็นมวลอากาศเย็นและแห้ง ทำให้บริเวณที่มวลอากาศนี้เคลื่อนที่ผ่านมีอากาศเย็นและแห้งแล้ง
- มวลอากาศเขตร้อนภาคพื้นทวีป (continental tropical air mass) มีแหล่งกำเนิดเหนือภาคพื้นทวีปมีการเคลื่อนที่จากละติจูดต่ำไปยังละติจูดสูง ซึ่งมีลักษณะเป็นมวลอากาศร้อนและแห้ง ทำให้บริเวณที่มวลอากาศนี้เคลื่อนที่ผ่านมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง
- มวลอากาศขั้วโลกภาคพื้นสมุทร (maritime polar air mass) มีแหล่งกำเนิดเหนือภาคพื้นมหาสมุทรซึ่งเมื่อมวลอากาศชนิดนี้เคลื่อนตัวลงมายังละติจูดต่ำจะทำให้เกิดความเย็นและชุ่มชื้น
- มวลอากาศเขตร้อนภาคพื้นสมุทร (maritime tropical air mass) มีแหล่งกำเนิดเหนือภาคพื้นมหาสมุทรที่มีความชุ่มชื้น ซึ่งเมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณใดจะทำให้เกิดฝนตก

2. การจำแนกมวลอากาศโดยพิจารณาอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น

- มวลอากาศอุ่น (warm air mass) เป็นมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศบริเวณพื้นผิวที่มวลอากาศนั้นเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งมวลอากาศจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีละติจูดต่ำไปยังบริเวณที่มีละติจูดสูงกว่า
- มวลอากาศเย็น (cold air mass) เป็นมวลอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศบริเวณพื้นผิวที่มวลอากาศนั้นเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งมวลอากาศจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีละติจูดสูงไปยังบริเวณที่มีละติจูดต่ำกว่า

แนวปะทะอากาศเป็นแนวรอยต่อที่มวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่มาหากัน โดยมวลอากาศที่เบาจะอยู่ด้านบน มวลอากาศที่หนักจะอยู่ด้านล่าง บริเวณรอยต่อของมวลอากาศทั้งสองจะมีสภาพอากาศแปรปรวน มีเมฆฝน และมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศหลายประการ แนวปะทะอากาศแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) **แนวปะทะอากาศอุ่น (warm front)** เป็นแนวปะทะอากาศที่เกิดจากมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าหามวลอากาศเย็น บริเวณที่มีมวลอากาศเย็นปกคลุมอยู่ อากาศจะมีความหนาแน่นสูง อากาศจึงจมตัวลง ส่วนมวลอากาศอุ่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศจะมีความหนาแน่นต่ำและลอยตัวขึ้น ดังนั้น หากมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณที่มีมวลอากาศเย็นปกคลุมอยู่ มวลอากาศอุ่นจะยกตัวสูงขึ้นตามแนวขอบของมวลอากาศเย็น ซึ่งจะทำให้เกิดเมฆสเตรตัสและมีฝนตกกระจายเป็นบริเวณกว้าง แต่ฝนมักจะตกไม่หนัก



ภาพที่ 4.32 แนวปะทะอากาศอุ่น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Earth Science in Real Life

การตรวจสอบสภาพอากาศและทัศนวิสัยก่อนทำการบินเป็นหลักการสำคัญที่นักบินต้องวางแผนล่วงหน้า เพื่อหลีกเลี่ยงสภาพอากาศเลวร้ายที่เป็นอันตรายตลอดเส้นทางการบิน รวมถึงขณะเครื่องบินขึ้นหรือลงบริเวณรอบๆ สนามบิน

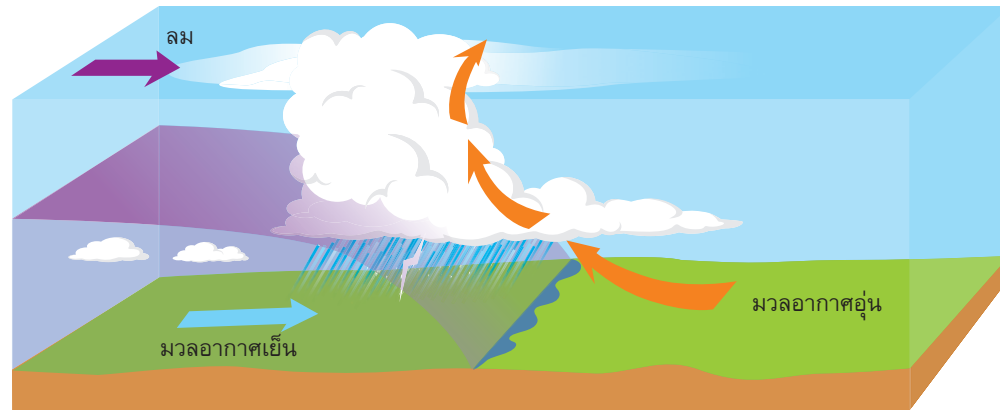


Earth Science Focus

ประเภทของฝน

- ฝนบนโลกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่
 1. ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (convective rainfall) เกิดจากมวลอากาศได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ไอน้ำที่ลอยสูงขึ้นจะควบแน่นกลายเป็นเมฆ แล้วตกลงมาเป็นฝน
 2. ฝนที่เกิดจากภูเขา (orographic rainfall) เกิดจากมวลอากาศถูกลมพัดหอบไปปะทะกับภูเขา ไอน้ำที่ลอยสูงขึ้นจะควบแน่นกลายเป็นเมฆ แล้วตกลงมาเป็นฝน
 3. ฝนที่เกิดจากแนวปะทะอากาศ (frontal rainfall) เกิดจากมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่มาปะทะกับมวลอากาศอุ่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของไอน้ำจะทำให้เกิดเมฆและฝน

2) **แนวปะทะอากาศเย็น (cold front)** เป็นแนวปะทะอากาศที่เกิดจากมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหามวลอากาศอุ่น โดยมวลอากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะดันให้มวลอากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามแนวลาดเอียงของมวลอากาศเย็นจนถึงระดับควบแน่น แล้วก่อตัวเป็นเมฆคิวมูโลสหรือเมฆคิวมูโลนิมบัส ซึ่งทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง



▲ ภาพที่ 4.33 แนวปะทะอากาศเย็น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3) **แนวปะทะอากาศรวม (occluded front)** เป็นแนวปะทะอากาศที่เกิดจากมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่ในแนวติดกับพื้นดินดันมวลอากาศที่อุ่นกว่าบริเวณพื้นผิวโลกให้ลอยสูงขึ้นอยู่เหนือมวลอากาศเย็น แล้วก่อตัวเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส ซึ่งส่งผลให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง



▲ ภาพที่ 4.34 แนวปะทะอากาศรวม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

4) **แนวปะทะอากาศคงที่ (stationary front)** เกิดจากมวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหากัน แต่ไม่เคลื่อนที่เข้าแทนที่กัน เนื่องจากมวลอากาศทั้งสองมีแรงผลักเท่ากันจึงเกิดสภาวะสมดุลของแนวปะทะอากาศขึ้น ทำให้เกิดแนวปะทะอากาศที่ไม่เคลื่อนที่อยู่ช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วเกิดฝนตกระหว่างแนวปะทะอากาศ กระทั่งมวลอากาศก้อนหนึ่งมีแรงผลักมากกว่ามวลอากาศอีกก้อนหนึ่ง แนวปะทะอากาศจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแนวปะทะอากาศแบบอื่น



▲ ภาพที่ 4.35 แนวปะทะอากาศคงที่
ที่มา : คลังภาพ อจท.

H.O.T.S.

**คำถามท้าทาย
การคิดขั้นสูง**

เมื่อเกิดการปะทะกันของมวลอากาศ 2 ก้อน นอกจากทำให้เกิดเมฆแล้ว ยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ใดบ้าง

Earth Science Focus

เมฆกับการพยากรณ์อากาศ

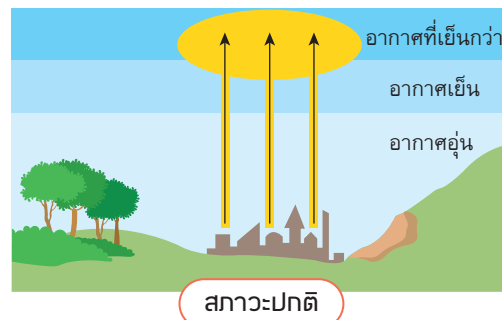
การศึกษาเกี่ยวกับเมฆจะช่วยพยากรณ์อากาศได้ โดยการสังเกตลักษณะและสีของเมฆ เช่น หากเมฆมีลักษณะเป็นริ้ว ๆ คล้ายขนนก บ่งบอกได้ว่าสภาพอากาศแจ่มใส หากเมฆมีลักษณะเป็นแผ่นสีเทา ปกคลุมบริเวณกว้าง บ่งบอกได้ว่าอาจเกิดฝนตกไม่หนัก แต่ตกเป็นเวลานาน หากเมฆมีลักษณะเป็นก้อนหนาทึบสีดำ บ่งบอกได้ว่าอาจเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ซึ่งการพยากรณ์อากาศนี้มีประโยชน์ต่อการวางแผนการเดินทางหรือการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ฝนที่ตกลงมาจากเมฆมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยหรือแหล่งอาหารของมนุษย์และสัตว์ ทั้งยังช่วยให้อากาศชุ่มชื้นและเย็นสบาย

▲ ภาพที่ 4.36 เมฆบ่งบอกสภาพอากาศ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



บริเวณรอยต่อของแนวปะทะอากาศที่มวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหากัน จะกลายเป็นเขตแนวปะทะอากาศ (frontal zone) อันตรกิริยาระหว่างมวลอากาศสองก้อนที่ ผสมผสานเข้าด้วยกัน เรียกว่า การเกิดแนวปะทะอากาศ (frontogenesis) ซึ่งจะทำให้ของอุณหภูมิ ความกดอากาศ ลม และหยาดน้ำฟ้า เกิดการเปลี่ยนแปลง บริเวณดังกล่าวจึงเต็มไปด้วย ปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศที่แปรปรวนอย่างต่อเนื่อง เช่น เมฆ ฝน พายุ ลมกระโชก แต่เมื่อ การผสมผสานของมวลอากาศเข้าสู่จุดสมดุล แนวปะทะอากาศจะสลายตัวไป เรียกว่า การสลายตัว ของแนวปะทะอากาศ (frontolysis)

การแทรกตัวของมวลอากาศเย็นและ มวลอากาศอุ่นยังสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ อุณหภูมิผกผัน (temperature inversion) กล่าวคือ ปกติแล้วบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์จะมี อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น อากาศจึงเกิดการไหลเวียนจากด้านล่างขึ้นสู่ ด้านบน แต่เมื่อมวลอากาศเย็นแทรกตัวเข้าไป ได้มวลอากาศอุ่นหรือมวลอากาศอุ่นปิดทับอยู่ เหนือมวลอากาศเย็นจะทำให้อากาศไหลเวียน ได้น้อย ฝุ่นละออง คาร์บอน และแก๊ส จึงลอยนิ่งอยู่ กับที่เป็นเวลานาน แล้วกลายเป็นมลภาวะทาง อากาศ (air pollution) ปรากฏการณ์ดังกล่าว มักจะเกิดขึ้นในฤดูหนาวที่มีอากาศเย็นและ มวลอากาศไหลเวียนน้อย



▲ ภาพที่ 4.37 ปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผัน
ที่มา : <https://www.sciencelearn.org.nz/>

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. มวลอากาศมีลักษณะอย่างไร
2. แนวปะทะอากาศเกิดขึ้นได้อย่างไร
3. แนวปะทะอากาศอุ่นกับแนวปะทะอากาศเย็น มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร
4. แนวปะทะอากาศชนิดใดทำให้เกิดฝนตกเป็นบริเวณกว้าง แต่ฝนมักจะตกไม่นาน
5. อธิบายการเกิดเมฆตามแนวปะทะอากาศคร่าวๆว่ามีลักษณะอย่างไร และเป็นเมฆชนิดใด



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การทดลอง
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

จิตวิทยาศาสตร์

- ความมีเหตุผล
- ร่วมแสดงความคิดเห็นและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

วิธีปฏิบัติ

1. นำแผ่นพลาสติกม้วนกันกลางตุ้ปลา เพื่อแบ่งตุ้ปลาออกเป็น 2 พับ
2. ใช้ดินน้ำมันอุดตามร่องตลอดแนวแผ่นพลาสติก เพื่อกันไม่ให้น้ำแต่ละฝั่งรั่วเข้าหากัน ดังภาพที่ 4.31 (ก)
3. เทน้ำร้อนและน้ำเย็นลงในตุ้ปลาอย่างละด้าน (อย่าให้น้ำร้อนและเย็นผสมกัน)
4. นำสีผสมอาหารผสมลงในด้านที่เทน้ำเย็นไว้ ดังภาพที่ 4.31 (ข)
5. ยกแผ่นกันออก สังเกตการเปลี่ยนแปลง

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เมื่อยกแผ่นกันออก น้ำที่อยู่ในตุ้ปลาเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. จงอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน



อภิปรายผลกิจกรรม

เมื่อยกแผ่นกันออก น้ำร้อนและน้ำเย็นจะผสมกัน สังเกตได้ว่าน้ำเย็น (ผสมสีผสมอาหารลงไป) เคลื่อนตัวจมลงสู่ด้านล่างของน้ำร้อน เนื่องจากน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง ในขณะที่น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน

เปรียบให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำแทนมวลอากาศเย็นและน้ำที่มีอุณหภูมิสูงแทนมวลอากาศร้อน เมื่อมวลอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกันเคลื่อนที่เข้าหากันจะเกิดรอยต่อของมวลอากาศ เรียกว่า แนวปะทะอากาศ

แนวปะทะอากาศ

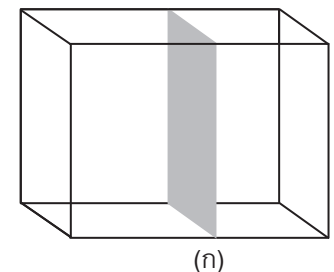
จุดประสงค์

เพื่ออธิบายการเกิดแนวปะทะอากาศ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเป็นตัวอย่าง

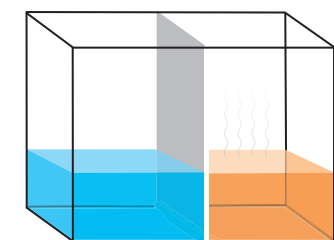
วัสดุอุปกรณ์

1. ตุ้ปลา
2. ดินน้ำมัน
3. สีผสมอาหาร

4. น้ำร้อนและน้ำเย็น
5. แผ่นพลาสติก



(ก)



(ข)

▲ ภาพที่ 4.38 กิจกรรมสร้างแบบจำลอง เพื่ออธิบายการเกิดแนวปะทะอากาศ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



เมฆที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

เมฆส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ แต่นักวิทยาศาสตร์พบว่ากิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ก็สามารถทำให้เกิดเมฆบางรูปแบบได้เช่นกัน เรียกว่า **เมฆที่เกิดจากมนุษย์** (anthropogenic cloud) และเรียกเมฆกลุ่มดังกล่าวว่า **โฮโมเจนิตัส** (homogenitus) ตัวอย่างเมฆที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สามารถพบเห็นได้ เช่น

1. **เมฆหางเครื่องบิน** (contrail) เกิดจากฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์บนเครื่องบินหรือการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศบริเวณปลายปีกเครื่องบิน ทำให้อิอน้ำในบรรยากาศเปลี่ยนเป็นอนุภาคน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก แล้วเรียงเป็นแนวยาวตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน หากไอน้ำในบรรยากาศมีมาก เมฆหางเครื่องบินจะคงอยู่เป็นเวลานาน แต่ถ้าไอน้ำในบรรยากาศมีน้อย เมฆหางเครื่องบินจะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว



▲ ภาพที่ 4.39 เมฆหางเครื่องบิน
ที่มา : www.metoffice.gov.uk/

2. **เมฆที่เกิดจากการทำอุตสาหกรรม** (cloud resulting from industry) หมายถึงเมฆที่เกิดจากกลุ่มควันหรือไอน้ำจำนวนมากที่ถูกลอยออกมาจากปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้า โดยลักษณะการลอยสูงขึ้นไปในแนวตั้ง การแผ่ขยายออกตามแนวนอน และความปั่นป่วนของกลุ่มแก๊ส สามารถบ่งบอกเสถียรภาพของอากาศได้ เมฆลักษณะนี้เรียกว่า **ฟิวมูลัส** (fumulus)



▲ ภาพที่ 4.40 เมฆที่เกิดจากการทำอุตสาหกรรม
ที่มา : <https://www.nrc.gov/about-nrc.html>

3. **เมฆที่เกิดจากการระเบิด** (cloud resulting from explosion) หมายถึงเมฆขนาดใหญ่ที่เกิดจากการระเบิดอย่างรุนแรงใกล้กับพื้นผิวโลก ความร้อนจากการระเบิดจะขยายตัวออกไปรอบทิศทาง อากาศร้อนจึงลอยสูงขึ้นแล้วหอบวัตถุขนาดเล็กขึ้นไปบนท้องฟ้า ก่อนจะลดพลังงานลงแล้วแผ่ขยายออกในแนวนอน ตัวอย่างของเมฆลักษณะนี้คือ เมฆที่เกิดจากการจุดระเบิดนิวเคลียร์หรืออาจเรียกว่า **เมฆรูปดอกเห็ด** (mushroom cloud)



▲ ภาพที่ 4.41 เมฆที่เกิดจากการระเบิด
ที่มา : <https://www.energy.gov/>

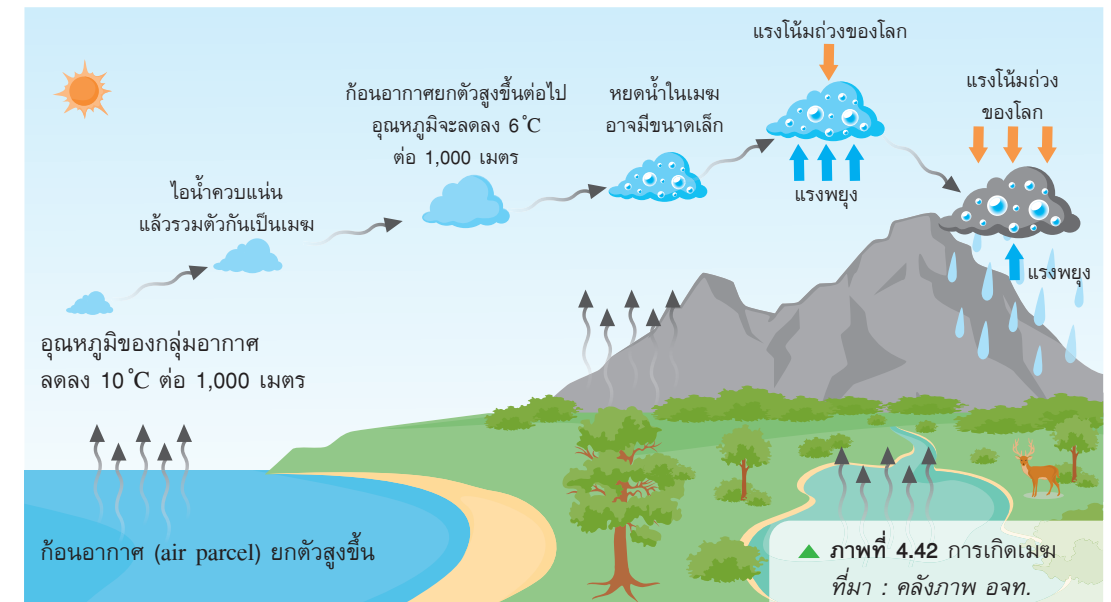
Summary

เสถียรภาพอากาศและแนวปะทะอากาศ

เมฆ

เมฆเกิดจากการยกตัวของก้อนอากาศจนถึงระดับการควบแน่นที่ให้อิอน้ำรวมตัวกันเป็นหยดน้ำขนาดเล็ก

• การเกิดเมฆ



• ประเภทของเมฆ

เมื่อพิจารณาจากระดับความสูงของฐานเมฆ



▲ ภาพที่ 4.43 ชนิดของเมฆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

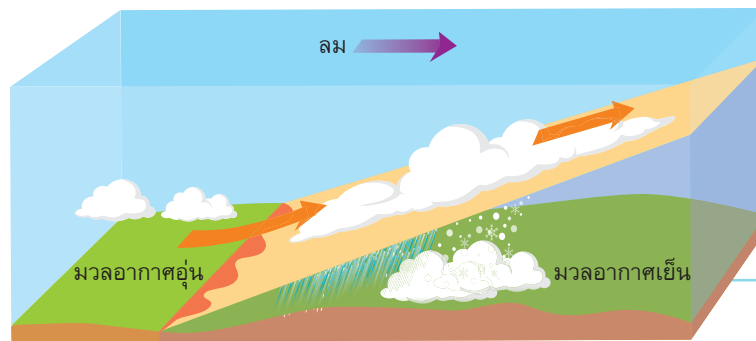
เสถียรภาพของอากาศ

- อากาศมีเสถียรภาพ (stable air) เป็นก้อนอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันสูงกว่าอากาศโดยรอบ มักพบในช่วงเช้า ฤดูหนาว หรือวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส
- อากาศไม่มีเสถียรภาพ (unstable air) เป็นก้อนอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก มักพบในช่วงบ่ายหรือในฤดูร้อน

แนวปะทะอากาศ

เมื่อมวลอากาศ 2 ก้อน เคลื่อนที่มาปะทะกันจะเกิดแนวปะทะหรือขอบเขตระหว่างมวลอากาศทั้งสอง

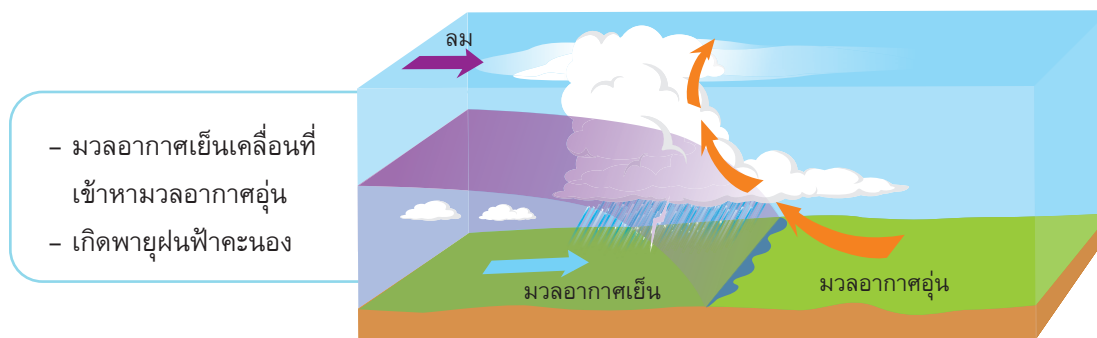
แนวปะทะอากาศอุ่น



- มวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าหามวลอากาศเย็น
- เกิดฝนตกกระจายเป็นบริเวณกว้าง

▲ ภาพที่ 4.44 แนวปะทะอากาศอุ่น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

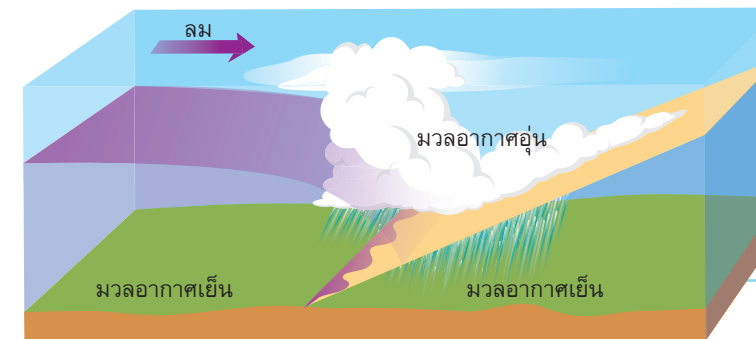
แนวปะทะอากาศเย็น



- มวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหามวลอากาศอุ่น
- เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

▲ ภาพที่ 4.45 แนวปะทะอากาศเย็น
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แนวปะทะอากาศรวม



- มวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหากันแล้วดันมวลอากาศอุ่นขึ้นด้านบน
- เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

▲ ภาพที่ 4.46 แนวปะทะอากาศรวม
ที่มา : คลังภาพ อจท.

แนวปะทะอากาศคงที่

เกิดจากมวลอากาศอุ่นและมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าหากัน แต่ไม่เคลื่อนที่เข้าแทนที่กัน เนื่องจากมวลอากาศทั้งสองมีแรงผลักเท่ากันจึงเกิดสภาวะสมดุลของแนวปะทะอากาศ

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	ทบทวนกี่หัวข้อ
1. ละอองลอยในบรรยากาศเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำกลายเป็นเมฆ	☐	1.
2. เมฆคิวมูโลสที่มีลักษณะหนาทึบ มีขนาดใหญ่ มีสีดำ ภายในเต็มไปด้วยหยดน้ำที่อัดตัวกันแน่น ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง	☐	1.
3. อากาศไม่มีเสถียรภาพเป็นก้อนอากาศที่ทำให้เกิดเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง เช่น เมฆคิวมูโลนิมบัส เมฆคิวมูโลส	☒	2.
4. แนวปะทะอากาศเย็นเกิดจากมวลอากาศเย็นที่มีสมบัติต่างกันเคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้เกิดเมฆคิวมูโลนิมบัส ส่งผลให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง	☐	3.
5. แนวปะทะอากาศอุ่นทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง	☐	3.



Unit questions 4

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

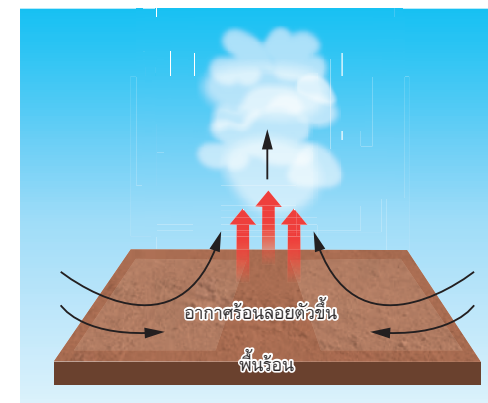
1. ปัจจัยใดที่ช่วยให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำเป็นก้อนเมฆ
2. เมฆชนิดใดที่มีลักษณะหนาทึบ มีขนาดใหญ่ มีสีดำ ภายในก้อนเมฆเต็มไปด้วยหยดน้ำที่อัดตัวกันแน่น
3. เมฆชั้นใดมีส่วนทำให้เกิดปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์ทรงกลด
4. เมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งมีความสูงเท่าไร
5. เมฆแอลโตคิวมูลัส เป็นเมฆชั้นใด มีลักษณะอย่างไร
6. เมฆชนิดใดเกิดขึ้นเมื่อเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง
7. เมฆชั้นสูง ชั้นกลาง ชั้นต่ำ แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
8. อากาศมีเสถียรภาพ มีลักษณะอย่างไร
9. อากาศไม่มีเสถียรภาพ อุณหภูมิของอากาศแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศโดยรอบอย่างไร
10. แนวปะทะอากาศเกิดขึ้นได้อย่างไร
11. แนวปะทะอากาศใดก่อให้เกิดฝนตกในบริเวณกว้างเป็นเวลานาน
12. เหตุใดหมอกจึงมักเกิดขึ้นตามภูเขาในตอนเช้าที่มีอากาศเย็น
13. สิ่งที่ช่วยให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นก้อนเมฆคืออะไร
14. ปัจจัยใดที่ส่งผลทำให้เกิดแนวปะทะอากาศทั้ง 4 ประเภท
15. แนวปะทะอากาศรวมมีลักษณะแตกต่างกับแนวปะทะอากาศคงที่อย่างไร



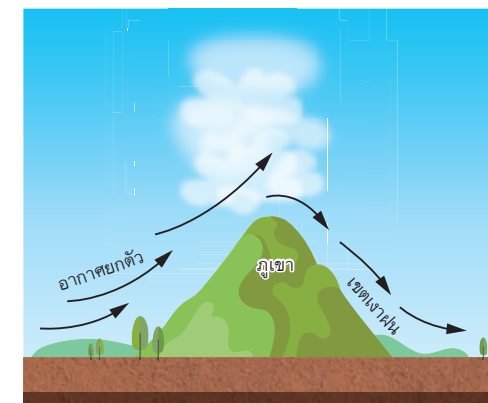
แนวข้อสอบ A-Level

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

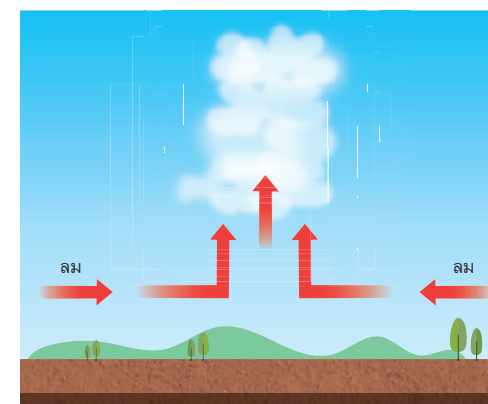
พิจารณาภาพกระบวนการเกิดเมฆ แล้วตอบคำถามข้อ 1.



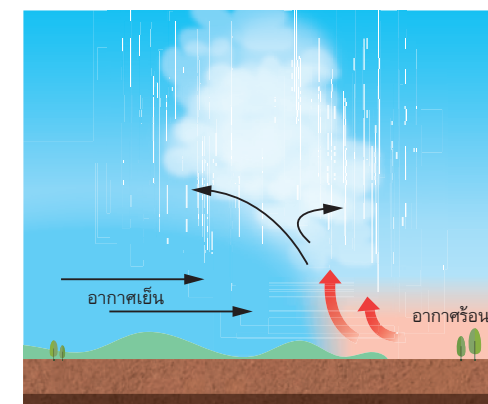
(1)



(2)



(3)



(4)

1. ข้อความใดอธิบายการเกิดเมฆได้ถูกต้อง

1. ภาพ (1) แสดงการเกิดเมฆตามกระบวนการนำความร้อนของอากาศบนพื้นผิวโลก
2. ภาพ (2) แสดงการเกิดเมฆตามกระบวนการยกตัวของอากาศตามความชันของภูเขา
3. ภาพ (3) แสดงการเกิดเมฆตามกระบวนการระเหยของไอน้ำจากแหล่งน้ำบนพื้นผิวโลก
4. ภาพ (4) แสดงการเกิดเมฆตามกระบวนการแนวปะทะอากาศร้อน
5. ภาพ (1) และภาพ (3) แสดงการเกิดเมฆตามกระบวนการบีบตัวของอากาศ

