



หนังสือเรียน

# รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้น

## มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑

ISBN 978-616-362-820-6

จำนวน ๑๐๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๒

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐

[www.chulabook.com](http://www.chulabook.com)

ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖ โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

พิมพ์ที่

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๑ โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๐

[www.cuprint.chula.ac.th](http://www.cuprint.chula.ac.th)

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ





ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน  
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๒

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน



## คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตรวิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรของสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นายบุญรักษา ยอดเพชร)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน



## คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้ วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะ แห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้ โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐาน วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัด ของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหา จากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๔ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องเมฆและการเกิดเมฆ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และข้อมูลสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยากับการใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญ สำหรับการศึกษต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบ การทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้ หลังจากที่ยังเรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือ เป็นอย่างยิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๔ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่ปรากฏในหนังสือเรียน การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน
- ขวนคิด
- ตรวจสอบความเข้าใจ
- กิจกรรม
- ลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- ศัพท์น่ารู้
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายบท

1

### คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2

### จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3

### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท



4

#### ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5

#### ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6

#### กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

7

#### ลองทำดู



การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

8

#### ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

9

## สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

---



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

---

10

## แบบฝึกหัดท้ายบท

---



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

---

# 10

## การเกิดเมฆ

<b>บทที่ 10 การเกิดเมฆ</b>	1
10.1 การยกตัวของอากาศกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	3
10.2 เสถียรภาพอากาศกับการยกตัวของก้อนอากาศ	7
10.3 กระบวนการเกิดเมฆ	15
10.3.1 กระบวนการเกิดเมฆก้อน	15
10.3.2 กระบวนการเกิดเมฆแผ่น	17
10.4 กลไกการยกตัวของอากาศและการเกิดเมฆ	20
10.4.1 การพาความร้อน	20
10.4.2 ลักษณะภูมิประเทศ	22
10.4.3 การลู่เข้าหากันของอากาศ	25
10.4.4 แนวปะทะอากาศ	27
แบบฝึกหัดท้ายบท	36

# 11

## การเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศ

<b>บทที่ 11 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ</b>	42
11.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	45
11.1.1 แก๊สเรือนกระจก	47
11.1.2 ละอองลอย	49
11.1.3 ค่าอัตราส่วนรังสีสะท้อนของพื้นผิวโลก	50
11.1.4 พลังงานจากดวงอาทิตย์	52
11.2 หลักฐานแสดงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบรรพกาล	59
11.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และการชะลอการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	62
แบบฝึกหัดท้ายบท	67

# 12

ข้อมูลสารสนเทศ  
ทางอุตุนิยมวิทยา  
กับการใช้ประโยชน์

บทที่ 12 ข้อมูลสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยากับการใช้ประโยชน์	69
12.1 ข้อมูลและสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยา	72
12.1.1 แผนที่อากาศผิวพื้น	72
12.1.2 ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	78
12.1.3 ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ	85
12.2 การใช้ประโยชน์จากข้อมูลสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยา	89
แบบฝึกหัดท้ายบท	94

ภาคผนวก	102
คำศัพท์	103
บรรณานุกรม	105
ที่มาของรูป	108

บทที่

## 10

| การเกิดเมฆ (Cloud Formation)

[ipst.me/8897](https://ipst.me/8897)

เมฆบนท้องฟ้ามีรูปร่างแตกต่างกัน บางครั้งอาจพบเมฆที่มีรูปร่างเป็นก้อนกระจายอยู่เต็มท้องฟ้า ชวนให้จินตนาการเป็นสิ่งต่าง ๆ แต่บางครั้งก็อาจพบเมฆที่มีรูปร่างเป็นแผ่นปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ท้องฟ้าเป็นสีเทาและอาจเกิดฝนตกพริ้ว ๆ สงสัยหรือไม่ว่าเมฆที่มีรูปร่างแตกต่างกันทั้งที่เป็นก้อน และเป็นแผ่น เกิดขึ้นได้อย่างไร



## คำถามสำคัญ

- เมฆที่มีรูปร่างเป็นก้อนและเป็นแผ่น มีการเกิดเหมือนหรือต่างกันอย่างไร
- กลไกที่ช่วยให้เกิดเมฆมีอะไรบ้าง



### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความกดอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของก้อนอากาศเมื่ออากาศยกตัวหรือจมตัว
2. อธิบายความสัมพันธ์ของเสถียรภาพอากาศแบบต่าง ๆ กับการยกตัวของก้อนอากาศ
3. อธิบายกระบวนการเกิดเมฆที่มีรูปร่างแตกต่างกัน
4. อธิบายกลไกต่าง ๆ ที่ช่วยให้เกิดเมฆ



### ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบท้ายข้อความที่ถูก หรือเครื่องหมาย ✗ ลงในช่องคำตอบท้ายข้อความที่ผิด

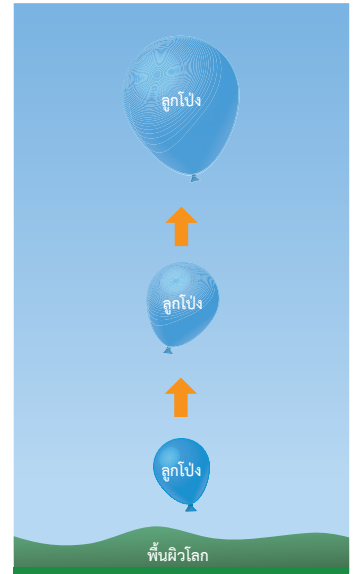
ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
1	เมฆคือไอน้ำที่ลอยอยู่บนท้องฟ้า	
2	อากาศที่มีอุณหภูมิสูงสามารถรับไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ	
3	ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศและปริมาณไอน้ำในอากาศ	
4	อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% จะไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้ แต่หากอากาศได้รับไอน้ำเพิ่มเข้าไปอีกจะทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นละอองน้ำ	
5	ถ้าอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% มีอุณหภูมิลดต่ำลง ไอน้ำในอากาศจะควบแน่นเป็นละอองน้ำ	
6	อากาศที่ระดับน้ำทะเลมีความกดอากาศน้อยกว่าอากาศที่อยู่บนภูเขา	
7	ถ้าใช้รูปร่างเป็นเกณฑ์จะจำแนกเมฆได้ 3 ประเภท ได้แก่ เมฆก้อน เมฆแผ่น และเมฆริ้ว	
8	เมื่ออากาศยกตัวสูงขึ้นไอน้ำในอากาศจะมีโอกาสควบแน่นเป็นละอองน้ำ	

## บทนำ

น้ำในบรรยากาศของโลกมีทั้งที่อยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งเปลี่ยนสถานะกลับไปมาได้ อากาศบนโลกมีไอน้ำเป็นองค์ประกอบเสมอไม่ว่าจะเป็นบริเวณทะเลทราย แลบขั้วโลกหรือบนยอดเขาแต่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ไอน้ำในอากาศมีสถานะเป็นแก๊ส เมื่ออากาศยกตัวสูงขึ้นไอน้ำจะควบแน่นเป็นละอองน้ำหรืออาจแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเกิดเป็นเมฆ เพราะเหตุใดการยกตัวของอากาศจึงทำให้เกิดเมฆ

### 10.1 การยกตัวของอากาศกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิและความกดอากาศลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ดังจะสังเกตได้จากเหตุการณ์หลายอย่าง เช่น รู้สึกหนาวและหือ้อ เมื่อเดินทางขึ้นภูเขาสูง ลูกโป่งที่ปิดสนิทขยายขนาดขึ้นเมื่อเครื่องบินขึ้นไปอยู่ในระดับสูง เช่นเดียวกับลูกโป่ง ดังรูป 10.1 จะเห็นว่าเมื่อลูกโป่งลอยไปอยู่ในระดับที่สูงขึ้น ลูกโป่งจะขยายขนาดทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น เพราะความกดอากาศโดยรอบต่ำกว่าความกดอากาศภายในลูกโป่ง ทำให้เกิดแรงดันภายในส่งผลให้ลูกโป่งขยายขนาดใหญ่ขึ้นได้ นักเรียนคิดว่าเมื่ออากาศภายในลูกโป่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร จะส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศภายในลูกโป่งอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 10.1



รูป 10.1 ลูกโป่งขยายใหญ่ขึ้นเมื่อลอยสูงขึ้น



### กิจกรรม 10.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศกับอุณหภูมิ

#### จุดประสงค์กิจกรรม

อธิบายผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศต่ออุณหภูมิของอากาศในภาชนะบรรจุที่เป็นระบบปิด

#### วัสดุ-อุปกรณ์

- |                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| 1. เทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิทัล     | 1 อัน   |
| 2. กระบอกฉีดยาขนาด 60 มิลลิลิตร | 1 อัน   |
| 3. ดินน้ำมัน                    | 1 ก้อน  |
| 4. นาฬิกาจับเวลา                | 1 เรือน |

### วิธีการทำกิจกรรม

1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาออกมาเล็กน้อย จากนั้นสอดเซนเซอร์ของเทอร์มอมิเตอร์เข้าไปในกระบอกและใช้ดินน้ำมันอุดปลายกระบอกเพื่อไม่ให้อากาศรั่วเข้าไปด้านในกระบอกและไม่ให้เซนเซอร์สัมผัสกับกระบอกฉีดยา ดังรูป



2. วางชุดทดลองทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศในกระบอกฉีดยาไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นบันทึกอุณหภูมิของอากาศภายในกระบอกฉีดยา
3. ดึงก้านกระบอกฉีดยาออกมาจนสุดโดยไม่ให้มือสัมผัสกับกระบอกฉีดยา ดังรูป และค้างไว้ 10 วินาที บันทึกอุณหภูมิของอากาศภายในกระบอกฉีดยา จากนั้นปล่อยให้ก้านกระบอกฉีดยากลับสู่ตำแหน่งเดิม และปล่อยทิ้งไว้ 10 วินาที บันทึกอุณหภูมิของอากาศอีกครั้ง



4. ทำตามข้อ 2 และข้อ 3 ซ้ำอีก 2 ครั้ง



- อธิบายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายในภาชนะที่บรรจุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศ
- นำเสนอผลการทำกิจกรรม จากนั้นอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

### คำถามท้าทายกิจกรรม

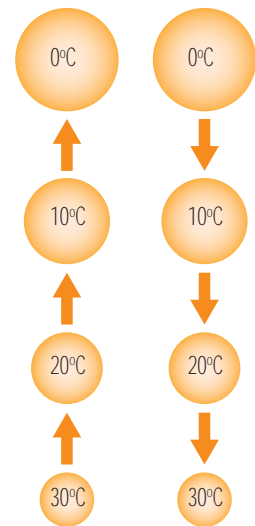
- หลังจากดื่อก้านกระบอกฉีดยาปริมาตรของอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างไร และส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศภายในกระบอกฉีดยา อย่างไร
- หลังจากปล่อยให้ก้านกระบอกฉีดยากลับสู่ตำแหน่งเดิม ปริมาตรของอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างไร และส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศภายในกระบอกฉีดยา อย่างไร
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรส่งผลต่ออุณหภูมิของอากาศหรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของอากาศในกระบอกฉีดยา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศในกระบอกฉีดยา

แนวคิดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกระบอกฉีดยาเทียบเคียงได้กับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในสิ่งสมมติที่เรียกว่า **ก้อนอากาศ** (air parcel) ซึ่งนักอุตุนิยมวิทยากำหนดให้กลุ่มก้อนอากาศมีขนาดประมาณลูกบาสเก็ตบอล ห่อหุ้มด้วยผนังที่ยืดหยุ่นได้และทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนจึงไม่เกิดการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศภายในและภายนอกก้อนอากาศ โดยความกดอากาศภายในก้อนอากาศเท่ากับความกดอากาศภายนอกก้อนอากาศที่ระดับความสูงเดียวกันเสมอ

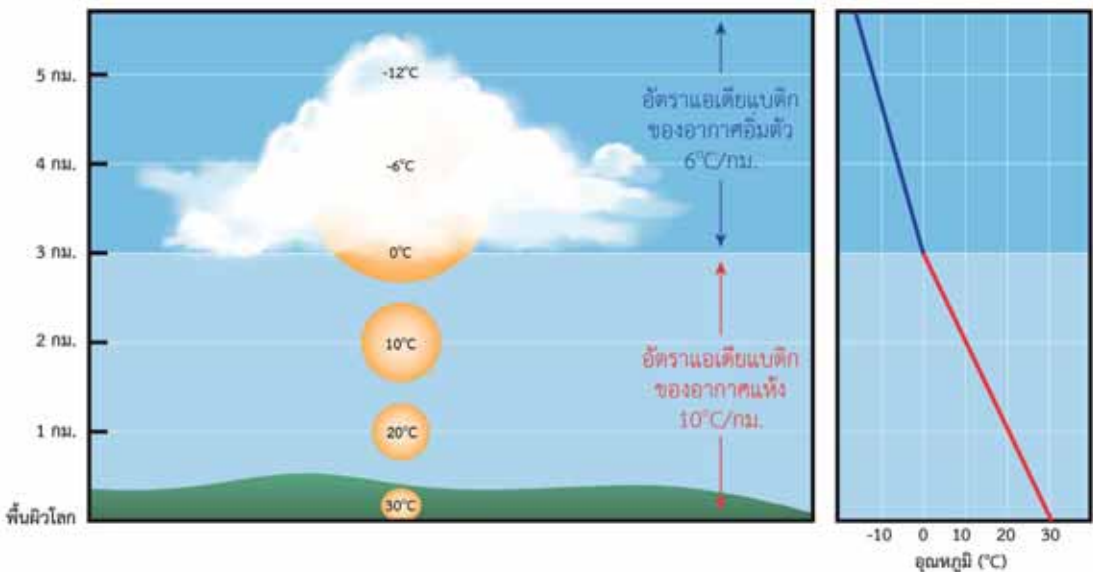
เมื่อก้อนอากาศยกตัวสูงขึ้น ความกดอากาศโดยรอบก้อนอากาศจะลดลงตามลำดับ ทำให้ก้อนอากาศขยายขนาดใหญ่ขึ้น และมีปริมาตรมากขึ้นจนกระทั่งมีความกดอากาศเท่ากับ ความกดอากาศโดยรอบที่ระดับความสูงเดียวกัน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในก้อนอากาศลดลง ในทางกลับกัน ถ้าก้อนอากาศจมตัวลง ความกดอากาศโดยรอบก้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ทำให้ก้อนอากาศมีขนาดและปริมาตรลดลงจนกระทั่งมีความกดอากาศเท่ากับความกดอากาศภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิภายในก้อนอากาศสูงขึ้น ดังรูป 10.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความกดอากาศภายในก้อนอากาศโดยไม่มีการถ่ายโอนความร้อนกับบริเวณโดยรอบนี้เรียกว่า **กระบวนการแอดิยาแบติก** (adiabatic process)

การอธิบายการยกตัวของอากาศในธรรมชาติจึงพิจารณาการรวมกันของอากาศเป็นกลุ่มก้อนคล้ายกับก้อนอากาศ การที่ก้อนอากาศเกิดการยกตัวหรือจมตัวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและ



รูป 10.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในก้อนอากาศที่ยกตัวและจมตัว

ความกดอากาศคล้ายกับกระบวนการแอเดียแบติก ดังนั้นนักอุตุนิยมวิทยาจึงอธิบายการเปลี่ยนแปลงของก้อนอากาศในธรรมชาติโดยใช้กระบวนการแอเดียแบติก โดยก้อนอากาศที่ยกตัวสูงขึ้นและยังไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำ อุณหภูมิก้อนอากาศจะลดลงในอัตราประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ เรียกว่า **อัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง** (dry adiabatic lapse-rate) เมื่ออุณหภูมิก้อนอากาศลดต่ำลงจะส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศจะอึดตัวไปด้วยไอน้ำทำให้เกิดการควบแน่นเป็นละอองน้ำพร้อมกับคายความร้อนแฝงออกมา ส่งผลให้ก้อนอากาศที่กำลังยกตัวขึ้นมีอุณหภูมิลดลงด้วยอัตราประมาณ 6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร เรียกว่า **อัตราแอเดียแบติกของอากาศอึดตัว** (wet adiabatic lapse-rate) ดังรูป 10.3 ซึ่งอัตราดังกล่าวมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความร้อนแฝงที่คายออกมาเมื่อเกิดการควบแน่นหรือความร้อนที่ใช้ในการระเหยของละอองน้ำ



รูป 10.3 อัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง และอัตราแอเดียแบติกของอากาศอึดตัว

จากรูป 10.3 ในทางกลับกัน เมื่อก้อนอากาศที่อึดตัวไปด้วยไอน้ำเกิดการจมตัวลง ความกดอากาศโดยรอบก้อนอากาศที่เพิ่มขึ้นจะบีบให้ก้อนอากาศมีขนาดเล็กลง อุณหภูมิก้อนอากาศจึงเพิ่มขึ้นทำให้อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้น ละอองน้ำในอากาศจึงระเหยกลับมาเป็นไอน้ำพร้อมกับดูดกลืนความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิก้อนอากาศเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร ตามอัตราแอเดียแบติกของอากาศอึดตัว เมื่อก้อนอากาศจมตัวถึงระดับความสูงที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ละอองน้ำในก้อนอากาศจะระเหยกลายเป็นไอจนหมด และเมื่อก้อนอากาศจมตัวลงอีกความร้อนในก้อนอากาศจะไม่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการกลายเป็นไอ อุณหภูมิก้อนอากาศจึงเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร ตามอัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง



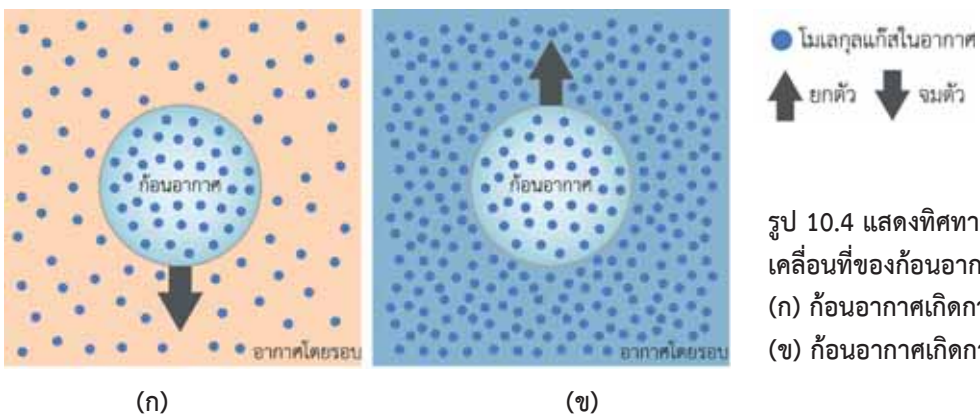
### ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อก่อนอากาศลอยตัวสูงขึ้น อุณหภูมิ ความกดอากาศ และปริมาตรของก้อนอากาศเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

อย่างไรก็ตาม ในธรรมชาติก้อนอากาศไม่สามารถยกตัวหรือจมตัวได้อย่างอิสระ เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิอากาศโดยรอบซึ่งจะศึกษาในหัวข้อต่อไป

## 10.2 เสถียรภาพอากาศกับการยกตัวของก้อนอากาศ

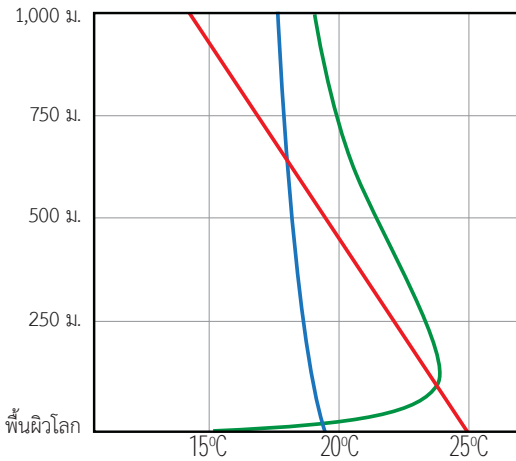
ถ้าก้อนอากาศก้อนหนึ่งยกตัวสูงขึ้นไปในบรรยากาศ และก้อนอากาศนี้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ความหนาแน่นของก้อนอากาศจะมากกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้ก้อนอากาศไม่สามารถยกตัวต่อไปได้อีกและจมตัวลงสู่ด้านล่าง ณ ตำแหน่งเดิมก่อนยกตัวขึ้น ดังรูป 10.4 (ก) เกิดเป็นภาวะยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศ แต่ถ้าก้อนอากาศนี้มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ ก้อนอากาศจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศโดยรอบทำให้ก้อนอากาศนี้ยกตัวสูงขึ้นต่อไปได้ ดังรูป 10.4 (ข) เกิดเป็นภาวะส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศ นักอุตุนิยมวิทยาเรียกภาวะของบรรยากาศที่ยับยั้งหรือส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศนี้ว่า **เสถียรภาพอากาศ** หรือ **เสถียรภาพบรรยากาศ** (atmospheric stability)



รูป 10.4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของก้อนอากาศโดย  
(ก) ก้อนอากาศเกิดการจมตัว  
(ข) ก้อนอากาศเกิดการยกตัว

อุณหภูมิก้อนอากาศเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงด้วยอัตราเอเดียแบติกของอากาศแห้งหรืออัตราเอเดียแบติกของอากาศอิมตัว ซึ่งเป็นอัตราที่เกือบคงที่และมีค่าแน่นอน แต่อุณหภูมิอากาศโดยรอบมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงด้วยอัตราที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและสภาพลมฟ้าอากาศ ตัวอย่างดังรูป 10.5 นักอุตุนิยมวิทยาเรียกอัตรการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า **อัตรการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศ** (environmental lapse-rate)

\*ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติคำว่า environmental lapse-rate ว่า อัตราเปลี่ยนอุณหภูมิตามสูงของบรรยากาศ แต่ในที่นี้จะใช้คำว่า อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศ ซึ่งหมายถึงคำเดียวกัน



- ตอนเที่ยง ท้องฟ้าปลอดโปร่ง
- ตอนเที่ยง ลมพัดแรง
- ตอนเย็น ดวงอาทิตย์ใกล้ลับของฟ้า

รูป 10.5 ตัวอย่างอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศในช่วงเวลาและสภาพลมฟ้าอากาศที่แตกต่างกัน

อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศ เกี่ยวข้องกับภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 10.2



## กิจกรรม 10.2 ก้อนอากาศยกตัวได้หรือไม่

### จุดประสงค์กิจกรรม

1. วิเคราะห์และระบุภาวะส่งเสริมหรือภาวะยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่กำหนดให้
2. อธิบายการยกตัวของก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่กำหนดให้

### วัสดุ-อุปกรณ์

- |  |        |
|--|--------|
| 1. ชุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ระดับความสูงต่าง ๆ | 1 ชุด  |
| 2. กระดาษกราฟ  | 3 แผ่น |
| 3. กระดาษขาว ขนาด A4                                 | 3 แผ่น |
| 4. ปากกาเมจิก  | 1 ชุด  |



ipst.me/9377

หมายเหตุ ชุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศโดยรอบดาวน์โหลดได้จาก QR Code

### วิธีการทำกิจกรรม

1. เลือกชุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ระดับความสูงต่าง ๆ มา 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิของอากาศโดยรอบจาก 3 บริเวณ
2. คำนวณอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวที่ระดับความสูงทุก ๆ 1 กิโลเมตร

โดยกำหนดให้อุณหภูมิก้อนอากาศ ณ บริเวณพื้นผิวโลกมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ และก้อนอากาศแต่ละก้อนมีอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูง ดังนี้

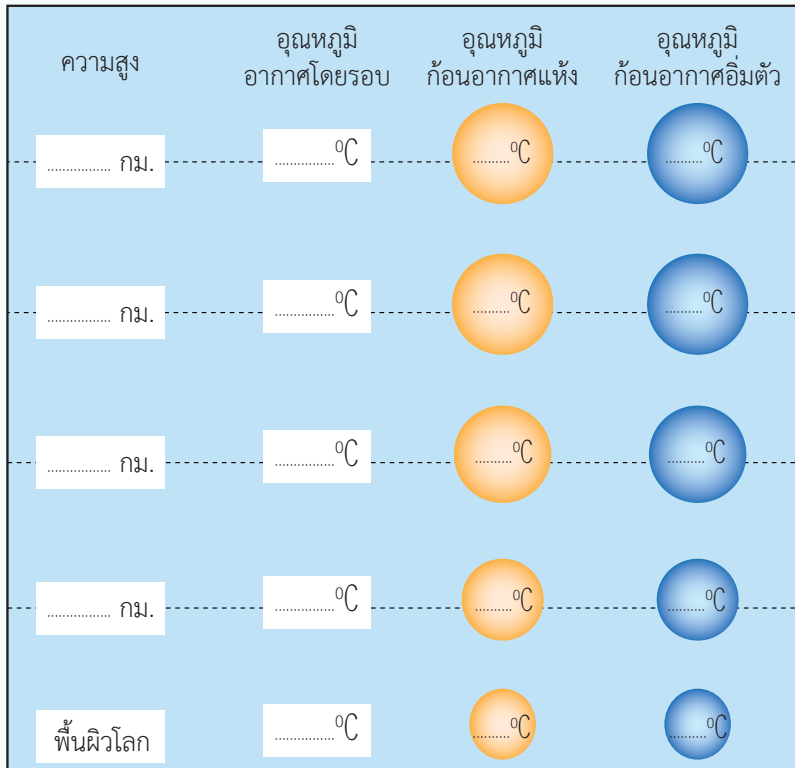
- ก้อนอากาศแห้ง มีอุณหภูมิลดลงตามความสูงด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร
- ก้อนอากาศอึมตัว มีอุณหภูมิลดลงตามความสูงด้วยอัตรา 6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร

3. จากข้อ 2 วาดรูปก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัวขณะกำลังยกตัว พร้อมแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบ ก้อนอากาศแห้ง และก้อนอากาศอึมตัว ดังรูปตัวอย่างด้านล่าง
4. วาดกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบ ก้อนอากาศแห้ง และก้อนอากาศอึมตัว จากชุดข้อมูลที่กำหนด
5. เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัว จากกราฟที่ได้
6. อธิบายลักษณะกราฟ วิเคราะห์ และระบุว่ากราฟใดที่แสดงภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัว
7. อธิบายการยกตัวของก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัวจากรูปและกราฟที่ได้
8. นำเสนอผลการทำกิจกรรม จากนั้นอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

#### คำถามท้ายกิจกรรม

1. ในภาวะยับยั้งการยกตัวของทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัว อุณหภูมิอากาศโดยรอบในแต่ละระดับความสูงมีค่าเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและอุณหภูมิก้อนอากาศอึมตัวที่ระดับความสูงเดียวกัน
2. ในภาวะส่งเสริมการยกตัวของทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัว อุณหภูมิอากาศโดยรอบในแต่ละระดับความสูงมีค่าเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและอุณหภูมิก้อนอากาศอึมตัวที่ระดับความสูงเดียวกัน
3. ในภาวะส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศอึมตัวแต่ยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศแห้ง อุณหภูมิอากาศโดยรอบในแต่ละระดับความสูงมีค่าเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและอุณหภูมิก้อนอากาศอึมตัวที่ระดับความสูงเดียวกัน

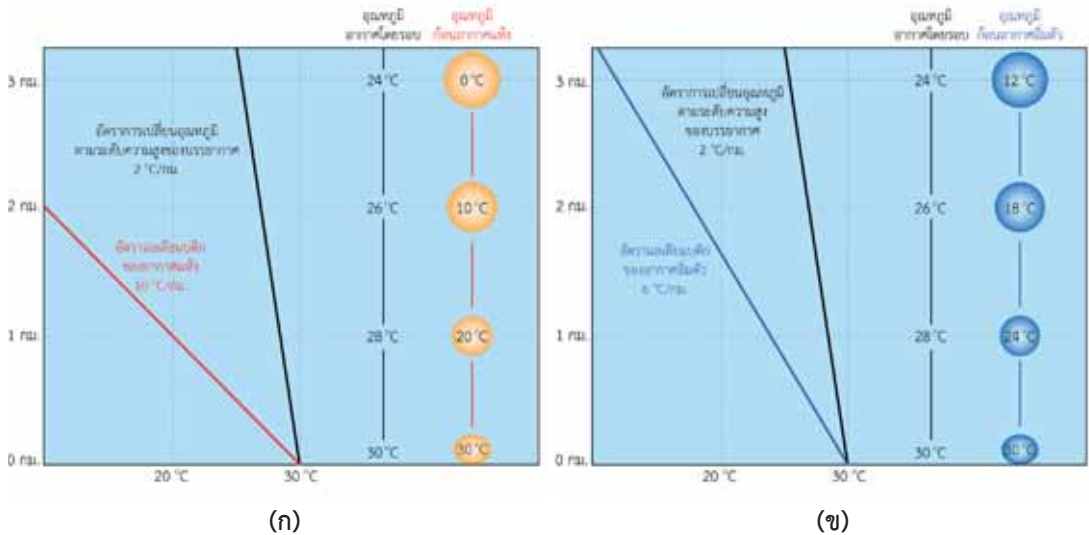
รูปตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบ  
ก้อนอากาศแห้ง และก้อนอากาศอึมตัว



จากกิจกรรมจะเห็นว่า การเกิดภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศสามารถระบุได้โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอึมตัวที่ระดับความสูงเดียวกัน

ในแต่ละบริเวณ ก้อนอากาศจะมีการยกตัวหรือจมตัวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นกับอุณหภูมิก้อนอากาศว่าเกิดการส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

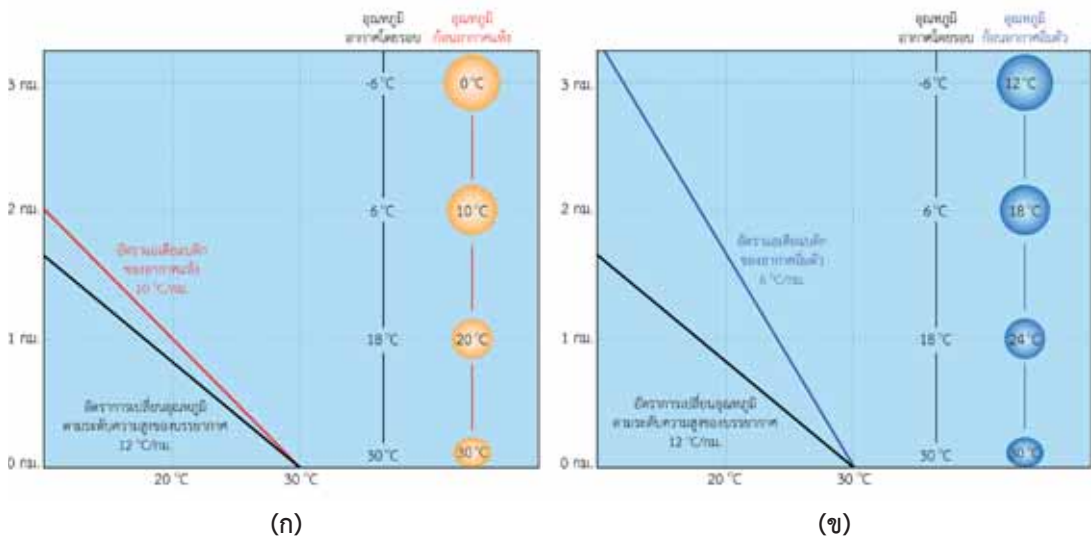
**กรณีที่ 1** อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศมีค่าน้อยกว่าอัตราแอเดียแบติกของอากาศอิมตัว (6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) ส่งผลให้อุณหภูมิที่ก้อนอากาศแห้งและอุณหภูมิที่ก้อนอากาศอิมตัวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดภาวะยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศ เรียกว่า **ภาวะทรงตัวสมบูรณ์** (absolute stability) ดังรูป 10.6



รูป 10.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศ  
ในภาวะทรงตัวสมบูรณ์ โดย (ก) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศแห้ง  
และ (ข) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศอิมตัว

สมมติให้ก้อนอากาศและอากาศโดยรอบที่บริเวณพื้นผิวโลก มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 30 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร ทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศโดยรอบ และเมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงอื่น ๆ การที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบลดลงในอัตราที่ช้ากว่าก้อนอากาศ ทำให้ทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศโดยรอบเสมอ จึงเกิดภาวะยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศ

**กรณีที่ 2** อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศมีค่ามากกว่าอัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง (10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) ส่งผลให้อุณหภูมิที่ก้อนอากาศแห้งและอุณหภูมิที่ก้อนอากาศอิมตัวสูงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดภาวะส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศ เรียกว่า **ภาวะไม่ทรงตัวสัมบูรณ์** (absolute instability) ดังรูป 10.7

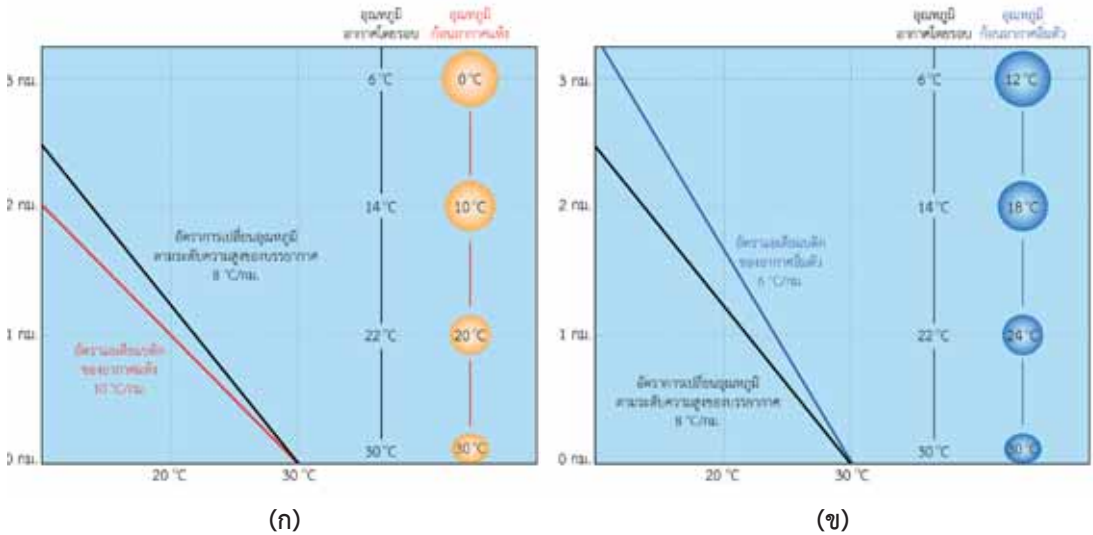


รูป 10.7 เปรียบเทียบอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศในภาวะไม่ทรงตัวสัมบูรณ์ โดย (ก) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศแห้ง และ (ข) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศอิมตัว

สมมติให้ก้อนอากาศและอากาศโดยรอบที่บริเวณพื้นผิวโลก มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 30 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร ทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ และเมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงอื่น ๆ การที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบลดลงในอัตราที่เร็วกว่าก้อนอากาศ ทำให้ทั้งก้อนอากาศแห้งและก้อนอากาศอิมตัวมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบเสมอ จึงเกิดภาวะส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศ



**กรณีที่ 3** อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศมีค่าอยู่ระหว่างอัตราแอเดียแบติกของอากาศอิมตัว (6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) และอัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง (10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) เมื่อพิจารณารายกตัวของก้อนอากาศ อาจเกิดภาวะยับยั้งหรือส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศขึ้นอยู่กับว่าเป็นก้อนอากาศแห้งหรือก้อนอากาศอิมตัว เรียกภาวะดังกล่าวว่า **ภาวะไม่ทรงตัวแบบมีเงื่อนไข** (conditional instability) ดังรูป 10.8

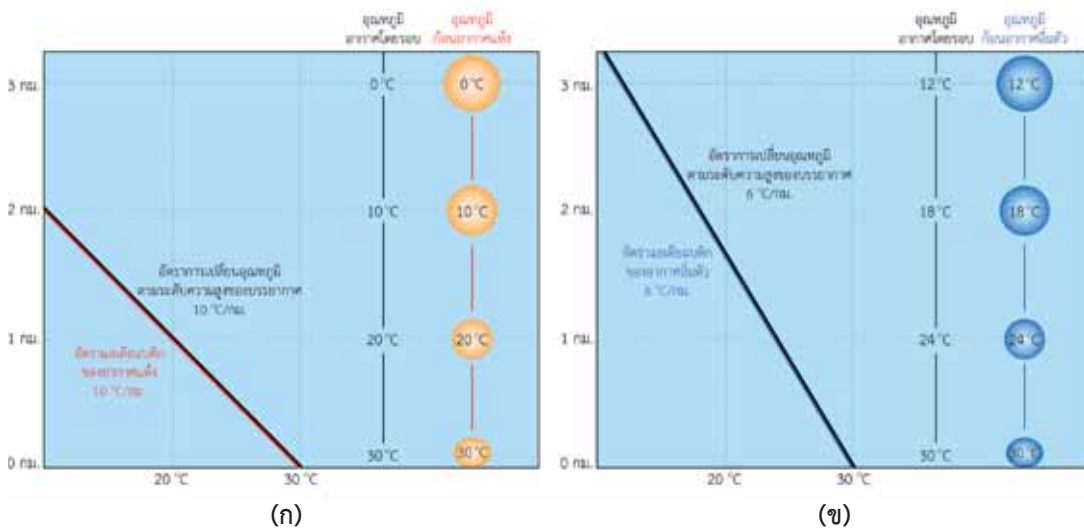


รูป 10.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศในภาวะไม่ทรงตัวแบบมีเงื่อนไข โดย (ก) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศแห้ง และ (ข) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศอิมตัว

สมมติให้ก้อนอากาศและอากาศโดยรอบที่บริเวณพื้นผิวโลก มีอุณหภูมิเท่ากันที่ 30 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร ก้อนอากาศแห้งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศโดยรอบจึงเกิดภาวะยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศแห้ง แต่ก้อนอากาศอิมตัวมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบจึงเกิดภาวะส่งเสริมการยกตัวของก้อนอากาศอิมตัว และเป็นเช่นเดียวกันที่ระดับความสูงอื่น ๆ

\*ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติคำว่า conditional instability ว่า อากาศกึ่งทรงตัวของอากาศ แต่ในที่นี้จะใช้คำว่า ภาวะไม่ทรงตัวแบบมีเงื่อนไข ซึ่งหมายถึงคำเดียวกัน

**กรณีที่ 4** อัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงของบรรยากาศมีค่าเท่ากับอัตราแอเดียแบติกของอากาศแห้ง (10 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) หรืออัตราแอเดียแบติกของอากาศอัมตั่ว (6 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร) เมื่อพิจารณาการยกตัวของก้อนอากาศจะไม่เกิดภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวสำหรับก้อนอากาศ เรียกว่าภาวะดังกล่าวว่า **ภาวะทรงตัวอย่างเป็นกลาง (neutral stability)** ดังรูป 10.9



รูป 10.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิตามระดับความสูงของอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศ ในภาวะทรงตัวอย่างเป็นกลาง โดย (ก) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศแห้ง และ (ข) เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศโดยรอบกับก้อนอากาศอัมตั่ว

สมมติให้ก้อนอากาศและอากาศโดยรอบที่บริเวณพื้นผิวโลก มีอุณหภูมิเท่ากับที่ 30 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณารูป 10.9 (ก) ที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร ก้อนอากาศแห้งมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศโดยรอบ และเป็นเช่นนี้ทุกระดับความสูง จึงไม่เกิดภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศแห้ง ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณารูป 10.9 (ข) ที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร ก้อนอากาศอัมตั่วมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศโดยรอบ และเป็นเช่นนี้ทุกระดับความสูง จึงไม่เกิดภาวะส่งเสริมหรือยับยั้งการยกตัวของก้อนอากาศอัมตั่ว

จากทั้ง 4 กรณีข้างต้น จะเห็นว่าเสถียรภาพอากาศแบบต่าง ๆ พิจารณาจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิก้อนอากาศและอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ระดับความสูงเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เสถียรภาพอากาศที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งส่งผลต่อการเกิดเมฆที่มีรูปร่างแตกต่างกัน โดยนักเรียนจะได้ศึกษาจากหัวข้อถัดไป

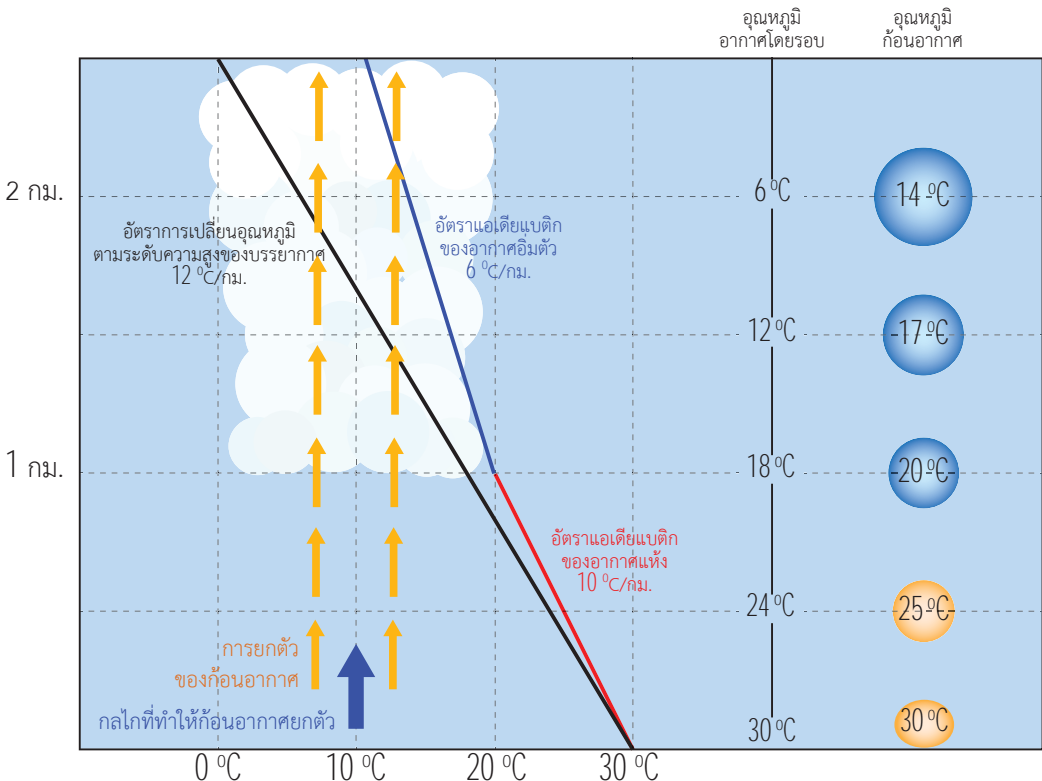
\*ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติคำว่า neutral stability ว่า ความสมดุลอย่างเป็นกลาง แต่ในที่นี้จะใช้คำว่า ภาวะทรงตัวอย่างเป็นกลาง ซึ่งหมายถึงคำเดียวกัน

### 10.3 กระบวนการเกิดเมฆ

เมื่อสิ่งเกดท้องฟ้า จะพบเมฆมากน้อยแตกต่างกันตามวัน เวลา และฤดูกาล ซึ่งมีทั้งเมฆก้อนและเมฆแผ่นหรือบางวันอาจไม่พบเมฆบนท้องฟ้า โดยทั่วไปในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์มีการเปลี่ยนอุณหภูมิตามระดับความสูงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพลมฟ้าอากาศ ทำให้เสถียรภาพอากาศในแต่ละวันแตกต่างกันซึ่งส่งผลให้เกิดเมฆที่มีรูปร่างต่างกัน นักเรียนคิดว่าเมฆก้อนและเมฆแผ่นมีกระบวนการเกิดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ให้พิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 10.3.1 กระบวนการเกิดเมฆก้อน

ก้อนอากาศที่ยกตัวขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจะทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นละอองน้ำซึ่งพัฒนาตัวเป็นกลุ่มก้อนของละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยสูงขึ้นไปบนท้องฟ้า เกิดเป็นเมฆที่มีลักษณะเป็นก้อน เช่น เมฆคิวมูลัส เมฆคิวโลนิมบัส การยกตัวของก้อนอากาศสามารถเกิดได้ดีในภาวะไม่ทรงตัวสมบูรณ์ซึ่งถ้ามีกลไกกระตุ้นให้ก้อนอากาศเริ่มยกตัว หลังจากนั้นก้อนอากาศจะยกตัวขึ้นได้เองอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าในระดับที่สูงขึ้นไปจะไม่มีการยกตัว เนื่องจากก้อนอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบในทุกระดับความสูง ดังรูป 10.10 โดยถ้าอุณหภูมิก้อนอากาศและอากาศโดยรอบแตกต่างกันมาก ก้อนอากาศจะยกตัวขึ้นอย่างรุนแรง ส่งผลให้มีโอกาสเกิดเมฆคิวโลนิมบัสซึ่งเป็นสาเหตุของพายุฝนฟ้าคะนองที่รุนแรง



รูป 10.10 การเกิดเมฆก้อนในภาวะไม่ทรงตัวสมบูรณ์