

# เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

5

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

## ผู้เรียบเรียง

นายพงศธร นันทนเศ  
นางพรพรหม ชัยฉัตรพรสุข  
นายสุนทร ภูรีปริชาเลิศ  
ดร.ศิริศักดิ์ โล่ห์พิมาน

## ผู้ตรวจ

รศ. ดร.นวลจิตต์ เขาวงกิตพงศ์  
ผศ. ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ  
ผศ. สันติ ศรีประเสริฐ  
ดร.ยุทธพันธ์ พงศ์บุญชู

## บรรณาธิการ

นางสาวจันจิรา รัตนันทเดช



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 20,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-074-4

รหัสสินค้า 3518015

**A+ อักษร**  
www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย

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



# คำแนะนำในการใช้สื่อ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตามผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ส่งเสริม การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

## Big Question

คำถามกระตุ้น การเรียนรู้ ก่อนเข้าสู่เนื้อหา เพื่อให้เกิด กระบวนการ สืบเสาะหาความรู้

**สมมติและ ทดลอง** ของแก๊ส สามารถทำนายพฤติกรรมได้หรือไม่

**แก๊ส**

ในสารที่อุณหภูมิและความดันเหมาะสม สารหลายชนิดสามารถเปลี่ยนเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สได้ ซึ่งสารในสถานะแก๊สจะมีพฤติกรรมระหว่างโมเลกุลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ ของแข็งและของเหลว ดังนั้น โมเลกุลของแก๊สจึงอยู่ห่างไกลกว่า โมเลกุลของของแข็งและของเหลว

**Check for Understanding**

พิจารณาข้อความต่อไปนี้ว่าถูกหรือผิด และให้เหตุผลประกอบ

| ข้อความ                                      | ถูก/ผิด |
|----------------------------------------------|---------|
| 1. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างอิสระ        | ถูก     |
| 2. แก๊สมีรูปร่างไม่แน่นอน แต่มีปริมาตรแน่นอน | ถูก     |
| 3. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่เร็ว              | ถูก     |
| 4. ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงได้ง่าย          | ถูก     |
| 5. แก๊สสามารถบีบอัดได้ง่าย                   | ถูก     |

**Check for Understanding**

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน ก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

**Prior Knowledge**

1. สมมติของแก๊ส

จากการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของแก๊สต่าง ๆ ของแก๊ส พบว่า แก๊สมีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันมากจนสามารถสรุปเป็นกฎได้ ซึ่งเรียกว่า สมมติของแก๊ส

สมมติของแก๊สมีดังนี้

1. โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดของภาชนะบรรจุ
2. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างอิสระตลอดเวลา และชนกันเองและชนกับผนังภาชนะตลอดเวลา
3. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในแนวสุ่ม
4. โมเลกุลของแก๊สชนกันเองหรือชนกับผนังภาชนะ จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานซึ่งกันและกัน แต่พลังงานรวมของระบบคงที่ เรียกว่า การชนแบบยืดหยุ่น
5. โมเลกุลของแก๊สมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน แต่มีผลน้อยมากจนสามารถเพิกเฉยได้

สมมติของแก๊สสามารถใช้อธิบายสมบัติบางประการของแก๊สได้ ดังนี้

1. รูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ ตามกฎของแก๊ส
2. แก๊สสามารถบีบอัดได้ง่าย เพราะโมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กมาก และเคลื่อนที่อย่างอิสระ
3. แก๊สสามารถแพร่ได้เร็ว เพราะโมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว
4. แก๊สสามารถเปลี่ยนสถานะได้ง่าย เพราะโมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์สูง

**Prior Knowledge**

คำถามทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ใหม่



## H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณ



**Chemistry Focus**

ความรู้เสริมจากเนื้อหา เพื่อขยายความรู้ของผู้เรียน



**Chemistry in Real Life**

เชื่อมโยงความรู้ทางเคมีสู่ชีวิตประจำวัน



**Topic Questions**

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนระหว่างเรียน



**QR Code**

ใช้สมาร์ตโฟนเพื่อสแกนเข้าดูสื่อดิจิทัลเพิ่มเติม

เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัด เพื่อให้ผู้เรียนฝึกฝนจนเกิดความเชี่ยวชาญ

## การทดลอง

การทดลองให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์

## Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้ทบทวนสาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

**การทดลอง**

การทดลองแก๊สในหลอดทดลอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการแพร่ของแก๊สในหลอดทดลอง
2. เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแก๊สในหลอดทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดทดลอง 2 หลอด
2. แก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>)
3. แก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>)
4. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)
5. แก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>)

ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมหลอดทดลอง 2 หลอด ใส่แก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>)
2. ใส่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ลงในหลอดทดลอง
3. ปิดหลอดทดลองด้วยวาล์ว
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแก๊สในหลอดทดลอง
5. บันทึกผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) แพร่เร็วกว่าแก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>)

**Safety first**

ข้อควรระวัง ในการทำการทดลอง

## Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้ เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

**Unit questions 1**

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 40 ลิตร ที่ความดัน 2 บรรยากาศ ถ้าแก๊สชนิดนี้ถูกบีบอัดที่ปริมาตร 25 ลิตร แล้วอุณหภูมิคงที่ ความดันของแก๊สจะเป็นเท่าไร
2. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 79.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 45 องศาเซลเซียส เมื่อความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
3. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 1.05 ลูกบาศก์เมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
4. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
5. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
6. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
7. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
8. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
9. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
10. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร

## แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา

**กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)**

**แนวข้อสอบ A-Level**

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สชนิดหนึ่งมีความดัน x บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สชนิดนี้ถูกบีบอัดที่ปริมาตร 25 ลิตร แล้วอุณหภูมิคงที่ ความดันของแก๊สจะเป็นเท่าไร
2. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 79.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 45 องศาเซลเซียส เมื่อความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 60 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
3. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 1.05 ลูกบาศก์เมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
4. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
5. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
6. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
7. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
8. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
9. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร
10. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าไร

**กิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง**



## คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

### เคมี เล่ม 1

#### ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

#### กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เวลา 60 ชั่วโมง

ศึกษาและอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ คำนวณหาปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก และกฎรวมแก๊ส คำนวณหาปริมาตรความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ คำนวณความดันย่อย หรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสมโดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน ศึกษาและทดลองการแพร่และอัตราการแพร่ของแก๊ส คำนวณเกี่ยวกับกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี คำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารจากกราฟ ศึกษาและวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ทฤษฎีจลน์และการชนกันของอนุภาค ศึกษา ทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน และอุตสาหกรรม ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ปฏิกิริยาย้อนกลับ และปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ศึกษาและทดลองสมดุลเคมีในปฏิกิริยา วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี คำนวณหาค่าคงที่สมดุล และหาความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยา ณ ภาวะสมดุล ทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น ความดัน และอุณหภูมิต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุล ศึกษาหลักของเลอชาเตอลิเอ และการนำหลักเลอชาเตอลิเอไปใช้อธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาเคมีในธรรมชาติ และกระบวนการในอุตสาหกรรม

โดยใช้การเรียนรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ สามารถนำความรู้และหลักการไปใช้ประโยชน์ เชื่อมโยง อธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน สามารถจัดการทำและวิเคราะห์ข้อมูล สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจแก้ปัญหา มีจิตวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ มีจริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม



#### ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
4. คำนวณความดันย่อย หรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน

5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊ส ในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม
7. ทดลองและเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา
8. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลง หรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา
9. เขียนแผนภาพ และอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
10. ทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว ของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
11. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
12. ยกตัวอย่าง และอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน หรืออุตสาหกรรม
13. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้ และภาวะสมดุล
14. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล
15. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
16. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
17. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
18. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวน โดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
19. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาเคมีในธรรมชาติ และกระบวนการในอุตสาหกรรม

รวม 19 ผลการเรียนรู้

## หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



แก๊ส

2-45

### สมบัติของแก๊ส

3

### ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

5

- กฎของบอยล์ 9
- กฎของชาร์ล 13
- กฎของเกย์-ลูสแซก 17
- กฎของอาโวกาโดร 20
- กฎรวมแก๊ส 21
- กฎแก๊สอุดมคติ 24
- กฎความดันย่อยของดอลตัน 28

### การแพร่ของแก๊ส

31

### เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส

37

### Unit questions 1

44

### แนวข้อสอบ A-Level

45

## หน่วยการเรียนรู้ที่ 2



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

46-93

### ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

47

### แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี

56

### พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี

60

### ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

64

- ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 64
- พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 71
- อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 73
- ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและตัวหน่วงปฏิกิริยาเคมี 76
- ผลที่เกิดจากปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 82

### Unit questions 2

87

### แนวข้อสอบ A-Level

91

## หน่วยการเรียนรู้ที่ 3



สมดุลเคมี

92-145

### การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

93

### การเปลี่ยนแปลงที่ภาวะสมดุล

96

### ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล

106

- ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี 109
- การคำนวณเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุล 111

### ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุล

119

- การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น 119
- การเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิ 122

### สมดุลเคมีในชีวิตประจำวัน

132

- สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม 132
- สมดุลเคมีในอุตสาหกรรม 136

### Unit questions 3

143

### แนวข้อสอบ A-Level

145

### กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

146

### บรรณานุกรม

147





สมบัติและ  
กฎต่าง ๆ ของแก๊ส  
สามารถนำมาประยุกต์  
ใช้ในชีวิตประจำวัน  
ได้อย่างไร

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

# แก๊ส

**ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันเหมาะสม** สารหลายชนิดสามารถเปลี่ยนเป็นของแข็งของเหลว หรือแก๊สได้ ซึ่งสารในสถานะแก๊สจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมากเมื่อเทียบกับของแข็งและของเหลว ดังนั้น โมเลกุลของแก๊สจึงอยู่ห่างกันมาก ไม่เป็นระเบียบและเคลื่อนที่ได้เร็ว

## Check for Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

1. โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็ก อยู่ห่างกัน และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก
2. แก๊สมีรูปร่างไม่แน่นอน แต่มีปริมาตรแน่นอน
3. อุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ความดันของแก๊สจะลดลง เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่
4. ปริมาตรของแก๊สลดลง ความดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่
5. แก๊สสามารถแพร่ได้เร็วกว่าของแข็งและของเหลว

ถูก/ผิด

บันทึกลงในสมุด

## Prior Knowledge

สารที่อยู่ในสถานะแก๊ส  
จะมีสมบัติอย่างไร

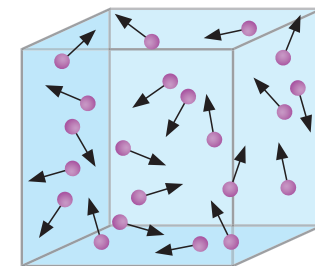
## 1 สมบัติของแก๊ส

จากการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมและสมบัติต่าง ๆ ของแก๊ส พบว่า แก๊สเกือบทุกชนิดมีสมบัติบางประการคล้ายกัน จนสามารถสรุปเป็นทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายสมบัติต่าง ๆ ของแก๊สโดยศึกษาจากทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊สและลักษณะของโมเลกุลแก๊ส เรียกว่า **ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส** ซึ่งมีสาระสำคัญ ดังนี้

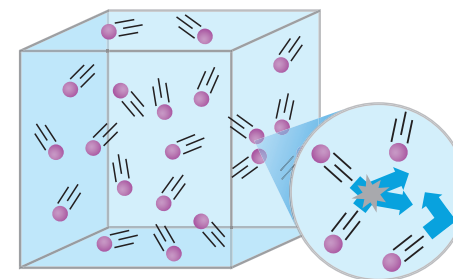
1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลน้อย และมีขนาดเล็กมากจนถือได้ว่าอนุภาคของแก๊สไม่มีปริมาตร เมื่อเทียบกับขนาดของภาชนะที่บรรจุ
2. โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ส่งผลให้มีแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลของแก๊สน้อยมาก จนถือได้ว่าไม่มีแรงมากระทำต่อกัน
3. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในแนวเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นอิสระ และไม่เป็นระเบียบ จนกระทั่งไปชนกับโมเลกุลอื่น หรือชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลของแก๊สจึงเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็ว
4. โมเลกุลของแก๊สที่ชนกันเอง หรือชนกับผนังภาชนะ จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนให้แก่กันได้ แต่พลังงานรวมของระบบมีค่าคงที่ เรียกว่า การชนแบบยืดหยุ่น
5. ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สแต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน แต่จะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน โดยที่พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

ทฤษฎีจลน์ของแก๊สสามารถใช้อธิบายสมบัติบางประการของแก๊สได้ ดังนี้

1. **รูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน** โดยขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สกล่าวว่า โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กมากและไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันและกัน หรือมีน้อยมากจนมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น ไม่ว่าจะบรรจุแก๊สไว้ในภาชนะใดก็ตาม โมเลกุลของแก๊สก็จะเคลื่อนที่แพร่กระจายเต็มพื้นที่ภาชนะที่บรรจุ จึงทำให้แก๊สนั้นมีรูปร่างเหมือนภาชนะที่บรรจุ และมีปริมาตรเท่ากับภาชนะที่บรรจุด้วย



▲ ภาพที่ 1.1 เมื่อโมเลกุลของแก๊สชนโมเลกุลอื่น หรือชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลจะเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็ว  
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 1.2 การชนกันของโมเลกุลของแก๊สจะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้แก่กัน  
ที่มา : คลังภาพ อจท.



สมบัติของแก๊ส

www.aksorn.com/interactive3D/RNB13

2. ความหนาแน่นต่ำ จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่กล่าวว่า โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลน้อยมาก สารที่อยู่ในสถานะแก๊สจึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าสารที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็ง เช่น ที่ 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะมีความหนาแน่น 0.0006 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่น้ำมีความหนาแน่นถึง 0.9584 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. อัตราการแพร่ต่างกัน จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน และเนื่องจากแก๊สแต่ละชนิดมีมวลโมเลกุลไม่เท่ากัน จึงทำให้ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สไม่เท่ากัน ซึ่งแก๊สชนิดใดที่มีมวลโมเลกุลมาก จะมีความเร็วเฉลี่ยต่ำ แก๊สนั้นจึงแพร่ได้ช้า ส่วนแก๊สชนิดใดที่มีมวลโมเลกุลน้อย จะมีความเร็วเฉลี่ยสูง แก๊สนั้นจึงแพร่ได้เร็ว

แก๊สที่มีสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สทุกประการ เรียกว่า แก๊สอุดมคติ (ideal gas) โดยแก๊สอุดมคติจะประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และไม่มีขนาดโมเลกุล จึงไม่มีปริมาตร ซึ่งแก๊สอุดมคตินี้จะไม่พบในธรรมชาติ

ส่วนแก๊สที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส เรียกว่า แก๊สจริง (real gas) จะประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และมีขนาดของโมเลกุล จึงมีปริมาตร แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติได้เมื่ออุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

ตารางที่ 1.1 : เปรียบเทียบลักษณะต่างๆ ของแก๊สจริงและแก๊สอุดมคติ

| ลักษณะ            | แก๊สจริง                                    | แก๊สอุดมคติ                     |
|-------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| ขนาดของโมเลกุล    | ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างโมเลกุล | ขนาดเล็กมากจนถือว่าไม่มีปริมาตร |
| ปริมาตร           | ปริมาตรภาชนะ - ปริมาตรแก๊ส                  | เท่ากับภาชนะที่บรรจุ            |
| แรงระหว่างโมเลกุล | แรงแวนเดอร์วาลส์                            | ไม่มีแรงกระทำต่อกัน             |
| ลักษณะการชนกัน    | การชนแบบไม่ยืดหยุ่น                         | การชนแบบยืดหยุ่น                |
| การควบแน่น        | เกิดได้ เมื่อลดอุณหภูมิ                     | ไม่เกิด                         |

## Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- ทฤษฎีจลน์ของแก๊สมีสาระสำคัญอย่างไร
- แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อยจะแพร่ได้เร็วหรือช้ากว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมาก
- แก๊สจริงและแก๊สอุดมคติแตกต่างกันอย่างไร
- เพราะเหตุใดสารในสถานะแก๊สจึงมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน

## Prior Knowledge

ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิหมายถึงอะไร

## 2 ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

ตัวแปรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของแก๊ส ได้แก่ ปริมาตร (V) ความดัน (P) และอุณหภูมิ (T)

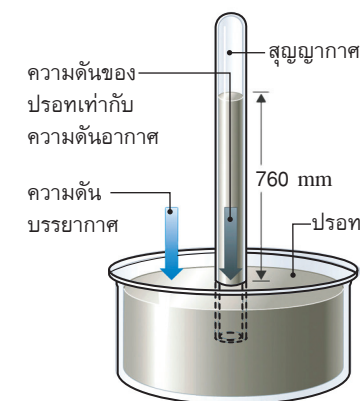
1. ปริมาตร (volume) เนื่องจากแก๊สบรรจุในภาชนะใดก็จะฟุ้งกระจายเต็มภาชนะนั้น ดังนั้น ปริมาตรของแก๊ส จึงหมายถึง ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น แทนด้วยสัญลักษณ์ V โดยหน่วยของปริมาตรที่นิยมใช้ คือ ลูกบาศก์เดซิเมตร ( $\text{dm}^3$ ) หรือลิตร (L) หรือลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$ ) ( $1 \text{ dm}^3 = 1,000 \text{ cm}^3$ ) นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาตรของแก๊สมีค่าไม่คงที่ โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊ส ดังนั้น ในการระบุปริมาตรของแก๊สจึงต้องระบุอุณหภูมิและความดันควบคู่ด้วย

2. ความดัน (pressure) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น ซึ่งความดันของแก๊สเกิดจากโมเลกุลของแก๊สชนกับผนังภาชนะ และความดันของแก๊สมีค่าเท่ากัน ไม่ว่าจะวัดที่ส่วนใดของภาชนะ แทนด้วยสัญลักษณ์ P โดยหน่วยที่ใช้วัดความดันของแก๊สที่นิยมใช้ มีดังนี้

$$\begin{aligned}
 1 \text{ บรรยากาศ (atm)} &= 76 \text{ เซนติเมตรปรอท (cmHg)} \\
 &= 760 \text{ มิลลิเมตรปรอท (mmHg)} \\
 &= 760 \text{ ทอร์ (torr)} \\
 &= 1.013 \times 10^5 \text{ ปาสคาล (Pa)} \\
 &= 14.696 \text{ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)} \\
 &= 101.325 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m}^2\text{)} \\
 &= 1.01325 \text{ บาร์ (bar)}
 \end{aligned}$$

เครื่องมือที่ใช้วัดความดันของแก๊สมืออยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1) บารอมิเตอร์ (barometer) ประกอบด้วยหลอดแก้วยาวประมาณ 80–100 เซนติเมตร ปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้วปิดสนิท ภายในหลอดแก้วบรรจุปรอทไว้เต็ม จากนั้นคว่ำหลอดแก้วลงในภาชนะที่มีปรอทบรรจุอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อคว่ำหลอดแก้วลงไป ความสูงของปรอทในหลอดแก้วจะลดลง ทำให้เกิดช่องว่างที่เป็นสุญญากาศขึ้น และในที่สุดความสูงของปรอทที่อยู่ในหลอดแก้วจะคงที่ ที่จุดนี้เองเป็นตำแหน่งที่สมดุลกันระหว่างความดันบรรยากาศและแรงกดของปรอท ความสูงของปรอทที่เหลือในหลอดแก้วจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศนั่นเอง เช่น ที่ระดับน้ำทะเล ปรอทที่อยู่ในหลอดแก้วจะมีความสูง 760 มิลลิเมตร ดังนั้น ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลจึงมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท



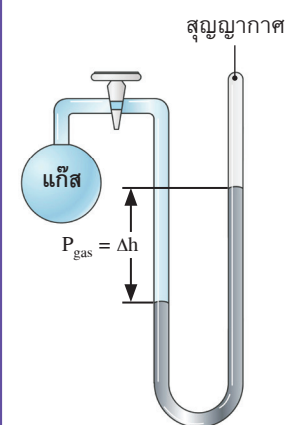
▲ ภาพที่ 1.3 บารอมิเตอร์ ที่มา : คลังภาพ อจท.

2) แมนอมิเตอร์ (manometer) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัว U ภายในบรรจุปรอทเอาไว้ ปลายด้านหนึ่งต่อกับกระเปาะที่มีแก๊สที่ต้องการวัดความดัน ส่วนปลายอีกด้านอาจเปิดหรือปิดก็ได้ ดังนั้น แมนอมิเตอร์จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

#### แมนอมิเตอร์ปลายปิด

ที่ว่างระหว่างปลายปรอทกับปลายที่ปิดอยู่จะเป็นสุญญากาศ ดังนั้น

$$\text{ความดันของแก๊ส } (P_{\text{gas}}) = \text{ความสูงของปรอท } (\Delta h)$$



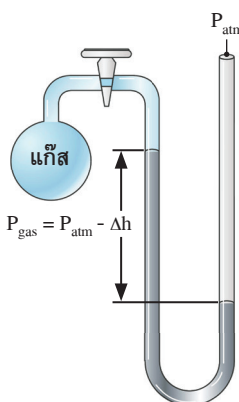
▲ ภาพที่ 1.4 แมนอมิเตอร์ปลายปิด  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

#### แมนอมิเตอร์ปลายเปิด

ปลายข้างเปิดจะมีความดันบรรยากาศคอย่นปรอท ค่าความดันของแก๊สจะขึ้นอยู่กับค่าความดันของบรรยากาศ ( $P_{\text{atm}}$ ) และความดันของแก๊ส ( $P_{\text{gas}}$ ) ที่บรรจุอยู่ ดังนี้

ถ้า  $P_{\text{gas}}$  ที่บรรจุมีค่าน้อยกว่า  $P_{\text{atm}}$  จะเห็นว่า ปรอทในหลอดรูปตัว U ทางด้านที่ติดปลายที่เปิดจะต่ำกว่าอีกด้าน ดังนั้น

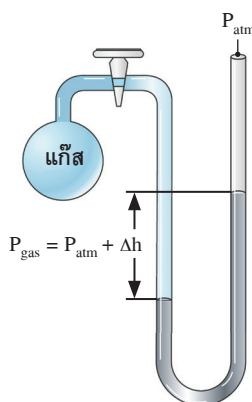
$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - \Delta h$$



▲ ภาพที่ 1.5 แมนอมิเตอร์ปลายเปิด  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ถ้า  $P_{\text{gas}}$  ที่บรรจุมีค่ามากกว่า  $P_{\text{atm}}$  จะเห็นว่า ปรอทในหลอดรูปตัว U ทางด้านที่ติดปลายที่เปิดจะสูงกว่าอีกด้าน ดังนั้น

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + \Delta h$$



3) อุณหภูมิ (temperature) เป็นมาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน-เย็นของสาร และเป็นตัวกำหนดสถานะของสาร แทนด้วยสัญลักษณ์ T เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ เทอร์โมมิเตอร์ และมีมาตราส่วนที่ใช้หลายแบบ เช่น เคลวิน (K) องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) องศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ ) องศาโรเมอร์ ( $^{\circ}\text{R}$ ) โดยมาตราส่วนที่นิยมใช้มากที่สุดคือ เคลวิน หรือเรียกว่า มาตราส่วนสัมบูรณ์ ซึ่งมาตราส่วนเคลวิน (K) องศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ ) และองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \left( \frac{9}{5} \times ^{\circ}\text{C} \right) + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

ให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊สจากการทดลองต่อไปนี้



## การทดลอง

### ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การทดลอง
- การลงความเห็นจากข้อมูล

### จิตวิทยาศาสตร์

- ความสนใจใฝ่รู้
- ความรอบคอบ

## ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส

### จุดประสงค์

1. อธิบายผลของความดันที่มีต่อปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ได้
2. อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาตรของแก๊สเมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ได้



### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

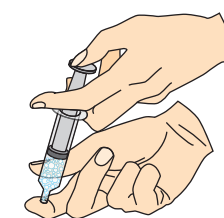
1. ปีกเกอร์
2. กระบอกฉีดยา
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. น้ำกลั่น
5. น้ำแข็ง



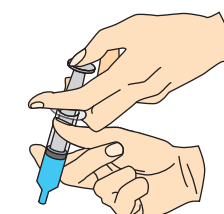
### วิธีการทดลอง

#### ตอนที่ 1 ผลของความดันต่อปริมาตรของแก๊ส

1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ แล้วกดก้านกระบอกฉีดยาเข้า ๆ จนกระทั่งกดไม่ลง จึงปล่อยมือที่กดออก สังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยา แล้วดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นอย่างช้า ๆ จนเกือบสุดจึงปล่อยมือที่ดึงออก สังเกตการเปลี่ยนแปลง

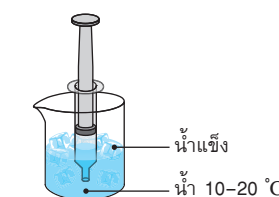
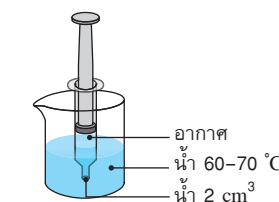


▲ ภาพที่ 1.6 การทดลองผลของความดันต่อปริมาตรของแก๊ส  
ที่มา : คลังภาพ อจท.



#### ตอนที่ 2 สารประกอบของแมงกานีส

1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก แล้วนำไปดูดน้ำให้มีปริมาตร 2 cm<sup>3</sup>
2. จุ่มกระบอกฉีดยาจากข้อ 1. ลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 60-70 $^{\circ}\text{C}$  แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง เมื่อการเปลี่ยนแปลงสิ้นสุดลงแล้วจับกระบอกฉีดยาให้ตั้งตรงและเลื่อนกระบอกฉีดยาขึ้นหรือลงจนระดับน้ำภายในกระบอกฉีดยาเท่ากับระดับน้ำภายนอก จากนั้นอ่านปริมาตรของอากาศในกระบอกฉีดยา
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2. แต่เปลี่ยนเป็นจุ่มกระบอกฉีดยาลงในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 10-20 $^{\circ}\text{C}$



▲ ภาพที่ 1.7 การทดลองผลของอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

## คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองตอนที่ 1 ความดันกับปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
2. จากการทดลองตอนที่ 2 อุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรของแก๊สอย่างไร
3. จากการทดลองนี้ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อปริมาตรของแก๊ส

## อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1 เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยาจะทำให้ปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาลดลง ซึ่งเมื่อปล่อยมือออก ก้านกระบอกฉีดยาจะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิม และเมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้น ปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อปล่อยมือออก ก้านกระบอกฉีดยาจะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิมเช่นกัน

การทดลองตอนที่ 2 เมื่อจุ่มกระบอกฉีดยาที่บรรจุน้ำร้อน ( $60-70^{\circ}\text{C}$ ) น้ำในกระบอกฉีดยาจะถูกดันออก แต่ถ้าจุ่มลงในน้ำเย็น ( $10-20^{\circ}\text{C}$ ) น้ำจากภายนอกจะดันเข้าไปแทนที่อากาศในหลอดฉีดยา

ผลการทดลองในตอนที่ 1 สามารถใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาลดลง โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ใกล้กันมากขึ้น เกิดการชนกันเอง และชนผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันของแก๊สในกระบอกฉีดยาเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ห่างกันมากขึ้น เกิดการชนกันเอง และชนผนังภาชนะน้อยลง ความดันของแก๊สในกระบอกฉีดยาจึงลดลง ซึ่งจากผลการทดลองในตอนที่ 1 จะกล่าวได้ว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่

ผลการทดลองในตอนที่ 2 สามารถใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โมเลกุลจึงชนกันเอง และชนผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้แก๊สในกระบอกฉีดยามีความดันเพิ่มขึ้น จึงดันน้ำออกจากกระบอกฉีดยา เพื่อให้ความดันภายในกระบอกฉีดยาและภายนอกมีค่าเท่ากัน และเมื่ออุณหภูมิลดลง โมเลกุลของแก๊สจะชนกันเอง และชนผนังภาชนะน้อยลง ความดันแก๊สในกระบอกฉีดยาจึงต่ำ อากาศภายนอกซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงดันน้ำเข้าไปในกระบอกฉีดยา เพื่อให้ความดันภายในกระบอกฉีดยาและภายนอกมีค่าเท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองในตอนที่ 2 จะกล่าวได้ว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊ส แล้วสรุปความสัมพันธ์เหล่านั้นออกมาเป็นกฎต่าง ๆ ของแก๊ส ดังนี้

## 2.1 กฎของบอยล์

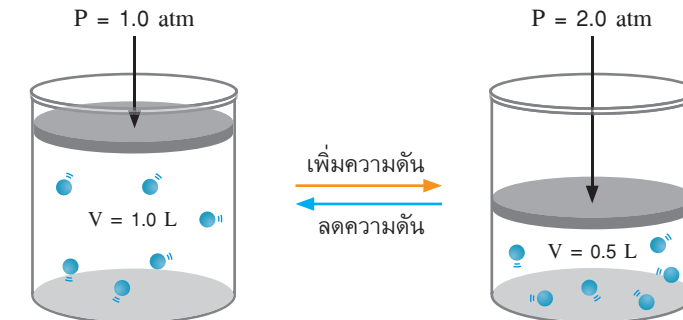
ในปี พ.ศ. 2205 รอเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) นักเคมีชาวอังกฤษ ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของแก๊ส โดยทำการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส พบว่า เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรจะแปรผกผันกับความดัน กล่าวคือ ถ้าเพิ่มความดันของแก๊ส จะทำให้ปริมาตรของแก๊สลดลง แต่ถ้าลดความดันของแก๊ส จะทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ดังนั้น เขาจึงสรุปและนำเสนอเป็นกฎของบอยล์ (Boyle's Law) ว่า “เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊สนั้น ๆ” ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad V = \frac{k}{P} \quad \text{หรือ} \quad PV = k$$

เมื่อ  $P$  คือ ความดันของแก๊ส  $V$  คือ ปริมาตรของแก๊ส และ  $k$  คือ ค่าคงที่

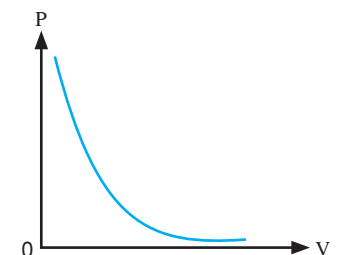
จากสมการ เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สมีค่าคงที่ ผลคูณของความดันกับปริมาตรของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



▲ ภาพที่ 1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

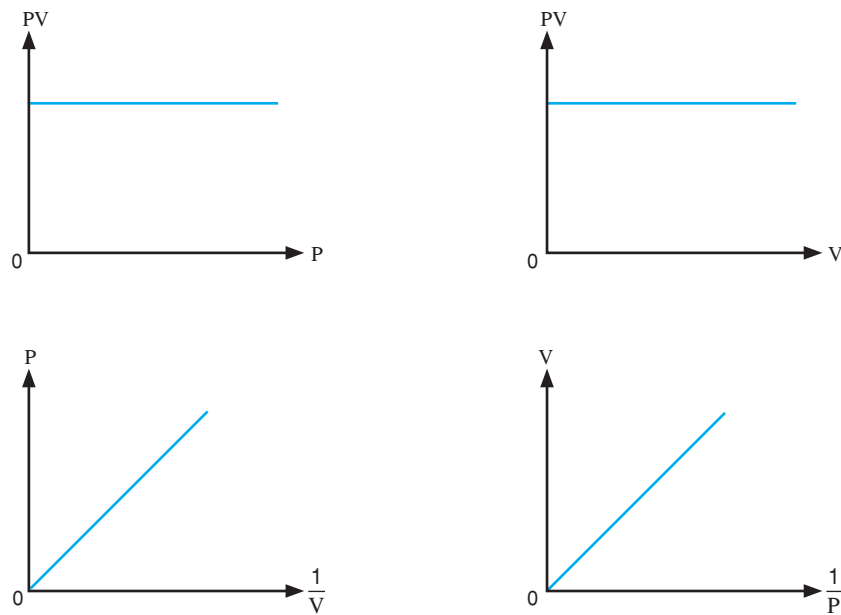
จากกฎของบอยล์ ถ้านำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) และปริมาตร (แกน X) จะได้กราฟลักษณะเส้นโค้งไฮเพอร์โบลา ดังภาพที่ 1.9 กราฟที่ได้นี้เรียกว่า ไอโซเทอร์ม (isotherm) ซึ่งแปลว่า อุณหภูมิคงที่ และถ้ามีการเปลี่ยนอุณหภูมิ กราฟที่ได้จะเป็นเส้นโค้งที่มีลักษณะไฮเพอร์โบลาที่เปลี่ยนไป



▲ ภาพที่ 1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P$  กับ  $V$   
ที่มา : คลังภาพ อจท.

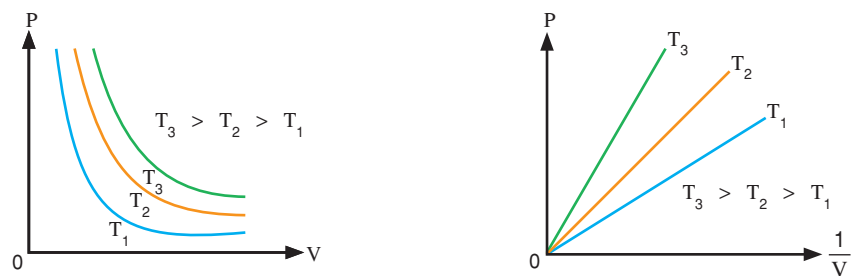


นอกจากนี้ ยังสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรได้อีกหลายรูปแบบ เช่น เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PV (แกน Y) กับความดัน (P) หรือปริมาตร (V) (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรง มีค่าความชันเท่ากับศูนย์ หรือเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) (แกน Y) กับ  $\frac{1}{V}$  (แกน X) หรือปริมาตร (V) (แกน Y) กับ  $\frac{1}{P}$  (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ดังภาพที่ 1.10



▲ ภาพที่ 1.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรในรูปแบบต่าง ๆ  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของบอยล์ นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกันจะเป็นการทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างกันออกไปจะพบว่า ได้ผลคูณของค่าความดันและปริมาตรใหม่ โดยเมื่ออุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ความชันของกราฟมากขึ้น ดังภาพที่ 1.11



▲ ภาพที่ 1.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ V และ P กับ  $\frac{1}{V}$  ณ อุณหภูมิต่าง ๆ  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

### ตัวอย่างที่ 1.1

แก๊ส X มีปริมาตร 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายใต้ความดัน 0.8 บรรยากาศ ถ้าความดันเพิ่มขึ้นเป็น 76 เซนติเมตรปรอท แก๊ส X จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง

วิธีทำ  $P_1 = 0.8 \text{ atm}$   $V_1 = 400 \text{ cm}^3$   
 $P_2 = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm}$   $V_2 = ?$

จากกฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$0.8 \text{ atm} \times 400 \text{ cm}^3 = 1 \text{ atm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{0.8 \text{ atm} \times 400 \text{ cm}^3}{1 \text{ atm}}$$

$$= 320 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น เมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็น 76 เซนติเมตรปรอท แก๊ส X จะมีปริมาตร 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร

### ตัวอย่างที่ 1.2

บอลลูนบรรจุด้วยแก๊สฮีเลียม บนพื้นดินที่ความดัน 735 ทอร์ ปริมาตรบอลลูนเท่ากับ 15 ลูกบาศก์เมตร เมื่อบอลลูนลอยสูงขึ้น 3,700 เมตร พบว่า ปริมาตรเปลี่ยนเป็น 21.3 ลูกบาศก์เมตร จงหาความดันของแก๊สฮีเลียมในบอลลูนที่ความสูง 3,700 เมตร

วิธีทำ  $P_1 = 735 \text{ torr}$   $V_1 = 15 \text{ m}^3$   
 $P_2 = ?$   $V_2 = 21.3 \text{ m}^3$

จากกฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$735 \text{ torr} \times 15 \text{ m}^3 = P_2 \times 21.3 \text{ m}^3$$

$$P_2 = \frac{735 \text{ torr} \times 15 \text{ m}^3}{21.3 \text{ m}^3}$$

$$= 517.61 \text{ torr}$$

ดังนั้น ที่ความสูง 3,700 เมตร แก๊สฮีเลียมในบอลลูนจะมีความดัน 517.61 ทอร์

### ตัวอย่างที่ 1.3

แก๊สคลอรีนจำนวนหนึ่งอยู่ในถังปิด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วัดความดันได้ 500 มิลลิเมตรปรอท ถ้านำแก๊สคลอรีนทั้งหมดไปใส่ในถังอีกใบหนึ่งซึ่งมีขนาด 2 ลิตร ปรากฏว่าความดันลดลงเหลือ 250 มิลลิเมตรปรอท ถังที่บรรจุแก๊สคลอรีนในตอนแรกมีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เซนติเมตร

วิธีทำ  $P_1 = 500 \text{ mmHg}$   $V_1 = ?$   
 $P_2 = 250 \text{ mmHg}$   $V_2 = 2 \text{ L} = 2,000 \text{ cm}^3$

จากกฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$500 \text{ mmHg} \times V_1 = 250 \text{ mmHg} \times 2,000 \text{ cm}^3$$

$$V_1 = \frac{250 \text{ mmHg} \times 2,000 \text{ cm}^3}{500 \text{ mmHg}}$$

$$= 1,000 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น ถังที่บรรจุแก๊สคลอรีนในตอนแรกมีปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

### ตัวอย่างที่ 1.4

แก๊สออกซิเจนจำนวนหนึ่งบรรจุในถังปิดที่ปรับขนาดได้ จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดความดันได้ 480 มิลลิเมตรปรอท ในปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าขยายปริมาตรให้เพิ่มขึ้นอีก 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความดันจะลดลงกี่มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ  $P_1 = 480 \text{ mmHg}$   $V_1 = 500 \text{ cm}^3$   
 $P_2 = ?$   $V_2 = 500 + 200 = 700 \text{ cm}^3$

จากกฎของบอยล์

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$480 \text{ mmHg} \times 500 \text{ cm}^3 = P_2 \times 700 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = \frac{480 \text{ mmHg} \times 500 \text{ cm}^3}{700 \text{ cm}^3}$$

$$= 342.86 \text{ mmHg}$$

ดังนั้น ความดันจะลดลง  $480 - 342.86 = 137.14$  มิลลิเมตรปรอท

## 2.2 กฎของชาร์ล

ในปี พ.ศ. 2330 จาก อเล็กซองดร์ เซซา ชาร์ล (Jacques Alexandre César Charles) ได้ทำการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของปริมาตรของแก๊ส เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป พบว่า ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น และถ้าอุณหภูมิของแก๊สลดลง ปริมาตรของแก๊สจะลดลงด้วย ดังนั้น เขาจึงสรุปและนำเสนอเป็นกฎของชาร์ล (Charles's Law) ขึ้นว่า “เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยเคลวิน” และสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

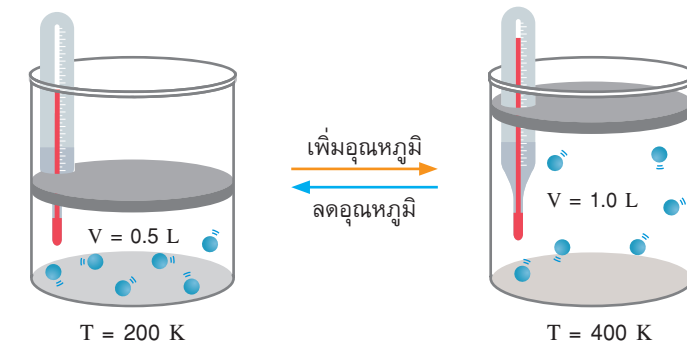
$$V \propto T \quad \text{ดังนั้น} \quad V = kT \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{T} = k$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน) V คือ ปริมาตรของแก๊ส และ k คือ ค่าคงที่

จากสมการ เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

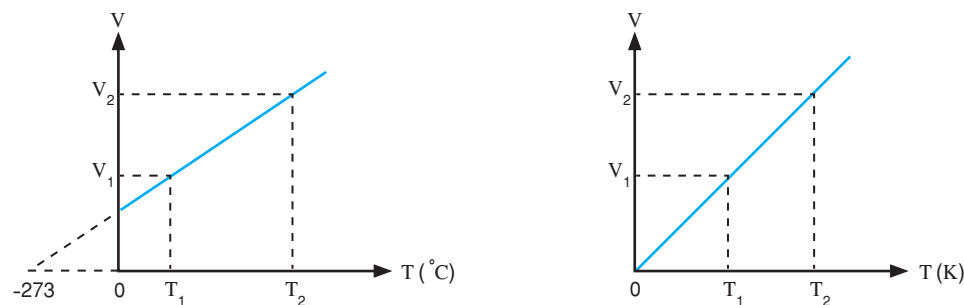
หมายเหตุ : การใช้สูตรนี้  $V_1$  และ  $V_2$  ควรใช้หน่วยปริมาตรที่เหมือนกัน และอุณหภูมิ  $T_1$  และ  $T_2$  ต้องเป็นเคลวิน (อุณหภูมิเคลวิน = อุณหภูมิเซลเซียส + 273)



▲ ภาพที่ 1.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากความสัมพันธ์ จะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.13 (ซ้าย) และเมื่อต่อปลายกราฟออกไปกราฟจะตัดแกน Y ที่ประมาณ -273 องศาเซลเซียส หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -273 องศาเซลเซียส แก๊สจะมีปริมาตรเป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติ แก๊สจะไม่มีโอกาสมีปริมาตรเป็น 0 เพราะเมื่ออุณหภูมิลดลง แก๊สจะเปลี่ยนเป็นของเหลวและของแข็งก่อนที่อุณหภูมิลดลงถึง -273 องศาเซลเซียส และสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.13 (ขวา)

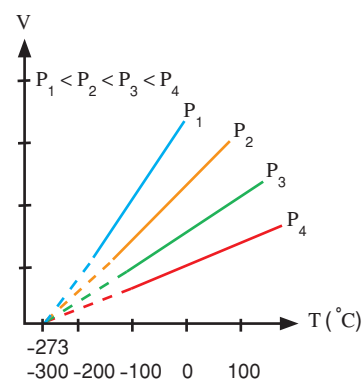




▲ ภาพที่ 1.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ T (°C) (ซ้าย) และ V กับ T (K) (ขวา)  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงกำหนดให้อุณหภูมิ -273 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0 เคลวิน และเรียกอุณหภูมิ 0 เคลวิน นี้ว่า **อุณหภูมิศูนย์สมบูรณ์**

ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของชาร์ล นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกัน จะเป็นการทำการทดลองที่ความดันเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่ต่าง ความดันออกไป จะพบว่าได้ผลการของปริมาตรและ อุณหภูมิใหม่ โดยเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟ จะลดลง ซึ่งจะได้เส้นกราฟเส้นใหม่ ดังภาพที่ 1.14



▲ ภาพที่ 1.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ T (°C) ณ ความดันต่างๆ  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

### ตัวอย่างที่ 1.5

แก๊สออกซิเจนปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส แก๊สออกซิเจนนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าความดันของระบบคงที่

วิธีทำ  $V_1 = 250 \text{ cm}^3$   $T_1 = 273 + 30 = 303 \text{ K}$   
 $V_2 = ?$   $T_2 = 273 + 70 = 343 \text{ K}$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{250 \text{ cm}^3}{303 \text{ K}} = \frac{V_2}{343 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{250 \text{ cm}^3 \times 343 \text{ K}}{303 \text{ K}}$$

$$= 283 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนจะมีปริมาตร 283 ลูกบาศก์เซนติเมตร

### ตัวอย่างที่ 1.6

แก๊สไนโตรเจน 3.5 ลิตร มีอุณหภูมิ -63 องศาเซลเซียส ทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ปริมาตรจะขยายออกไปเป็นเท่าใด เมื่อความดันคงที่ที่ 700 มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ  $V_1 = 3.5 \text{ L}$   $T_1 = 273 - 63 = 210 \text{ K}$   
 $V_2 = ?$   $T_2 = 273 + 225 = 498 \text{ K}$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{3.5 \text{ L}}{210 \text{ K}} = \frac{V_2}{498 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{3.5 \text{ L} \times 498 \text{ K}}{210 \text{ K}}$$

$$= 8.3 \text{ L}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนจะมีปริมาตร 8.3 ลิตร

### ตัวอย่างที่ 1.7

แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน มีปริมาตร 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะต้องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่าใด จึงจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 467 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยความดันไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีทำ  $V_1 = 450 \text{ cm}^3$   $T_1 = 273 \text{ K}$   
 $V_2 = 467 \text{ cm}^3$   $T_2 = ?$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{450 \text{ cm}^3}{273 \text{ K}} = \frac{467 \text{ cm}^3}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{467 \text{ cm}^3 \times 273 \text{ K}}{450 \text{ cm}^3}$$

$$= 283.31 \text{ K}$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น =  $283.31 - 273 = 10.31 \text{ K}$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนต้องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10 เคลวิน



## ตัวอย่างที่ 1.8

แก๊สไฮโดรเจนจำนวนหนึ่งวัดปริมาตรได้ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดัน 750 มิลลิเมตรปรอท ถ้าต้องการให้เหลือปริมาตรเพียง 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 750 มิลลิเมตรปรอท จะต้องทำที่อุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส

วิธีทำ  $V_1 = 300 \text{ cm}^3$   $T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$   
 $V_2 = 180 \text{ cm}^3$   $T_2 = ?$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{300 \text{ cm}^3}{300 \text{ K}} = \frac{180 \text{ cm}^3}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{180 \text{ cm}^3 \times 300 \text{ K}}{300 \text{ cm}^3}$$

$$= 180 \text{ K}$$

ดังนั้น จะต้องทำที่อุณหภูมิ  $180 - 273 = -93$  องศาเซลเซียส

## ตัวอย่างที่ 1.9

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 313 องศาเซลเซียส ถ้าความดันคงที่ แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใด

วิธีทำ  $V_1 = 250 \text{ cm}^3$   $T_1 = 273 + 300 = 573 \text{ K}$   
 $V_2 = ?$   $T_2 = 273 + 313 = 586 \text{ K}$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{250 \text{ cm}^3}{573 \text{ K}} = \frac{V_2}{586 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{250 \text{ cm}^3 \times 586 \text{ K}}{573 \text{ K}}$$

$$= 255.67 \text{ cm}^3$$

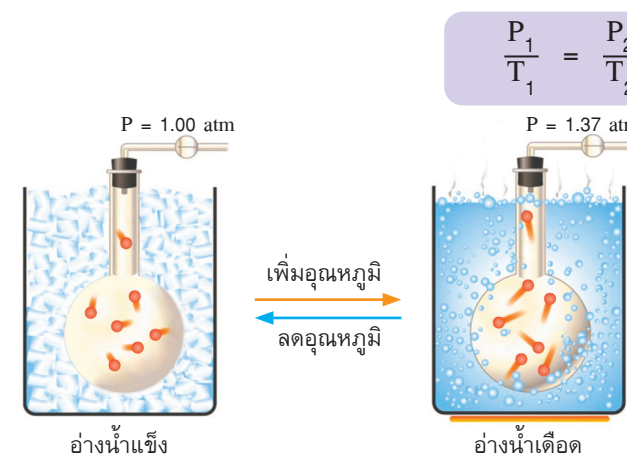
ดังนั้น แก๊สนี้จะมีปริมาตร 255.67 ลูกบาศก์เซนติเมตร

## 2.3 กฎของเกย์-ลุสแซก

ในปี พ.ศ. 2345 โจเซฟ-ลุยส์ เกย์-ลุสแซก (Joseph-Louis Gay-Lussac) นักเคมีชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาทดลองวัดปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาและที่ได้จากปฏิกิริยาจนสามารถสรุปและตั้งเป็น กฎของเกย์-ลุสแซก (Gay-Lussac's Law) ซึ่งมีใจความว่า “เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน” และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

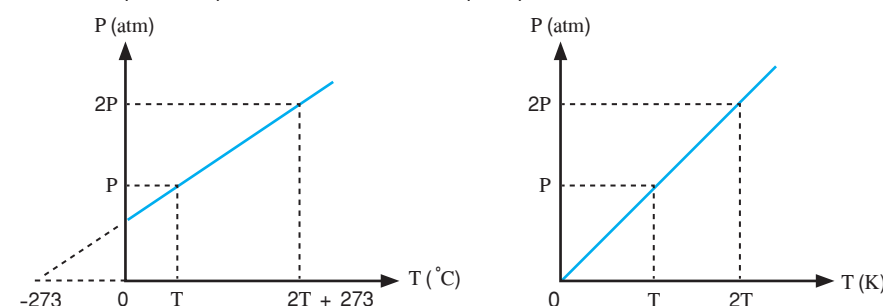
$$P \propto T \text{ ดังนั้น } P = kT \text{ หรือ } \frac{P}{T} = k$$

เมื่อ P คือ ความดันของแก๊ส T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน) และ k คือ ค่าคงที่ จากสมการ เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ อัตราส่วนระหว่างความดันกับอุณหภูมิของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า



▲ ภาพที่ 1.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากความสัมพันธ์ จะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) กับอุณหภูมิหน่วยองศาเซลเซียส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.16 (ซ้าย) และความดัน (แกน Y) กับอุณหภูมิหน่วยเคลวิน (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.16 (ขวา)



▲ ภาพที่ 1.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ T (°C) (ซ้าย) และ P กับ T (K) (ขวา) ที่มา : คลังภาพ อจท.

**H.O.T.S.**

**คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง**

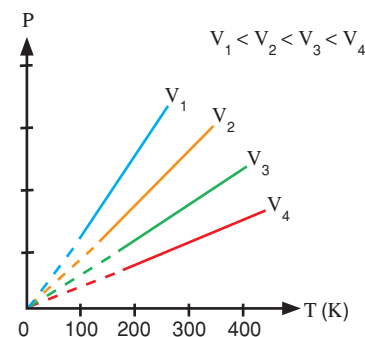
บริเวณเหนือโลก บริเวณที่ระดับน้ำทะเล และบริเวณยอดเขาสูง ถ้าอากาศมีมวลเท่ากัน ปริมาตรของอากาศในบริเวณใดจะมีค่าต่ำที่สุด



กฎของ  
เกย์-ลุสแซก

www.aksorn.com/qrcode/b561104

ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของเกย์-ลุสแซก นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกัน จะเป็นการทำการทดลอง ที่ปริมาตรเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่ต่างปริมาตร ออกไป จะพบว่า ได้ผลหารของความดันและอุณหภูมิใหม่ โดยเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟจะน้อยลง ซึ่งจะได้เส้นกราฟเส้นใหม่ ดังภาพที่ 1.17



▲ ภาพที่ 1.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ T (K) ณ ปริมาตรต่างๆ ที่มา : คลังภาพ อจท.

### ตัวอย่างที่ 1.10

แก๊ส X บรรจุในภาชนะปิดที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 บรรยากาศ จงหาความดันของแก๊สนี้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 376 เคลวิน โดยแก๊สมีปริมาตรเท่าเดิม

**วิธีทำ**  $P_1 = 1.5 \text{ atm}$        $T_1 = 273 + 37 = 310 \text{ K}$        $P_2 = ?$        $T_2 = 376 \text{ K}$

จากกฎของเกย์-ลุสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{1.5 \text{ atm}}{310 \text{ K}} = \frac{P_2}{376 \text{ K}}$$

$$P_2 = \frac{1.5 \text{ atm} \times 376 \text{ K}}{310 \text{ K}}$$

$$= 1.82 \text{ atm}$$

ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 376 เคลวิน แก๊ส X จะมีความดัน 1.82 บรรยากาศ

### ตัวอย่างที่ 1.11

บรรจุอากาศในถังที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 380 มิลลิเมตรปรอท มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อความดันลดลง 100 มิลลิเมตรปรอท จะต้องลดอุณหภูมิลงกี่เคลวิน อากาศในถังจึงจะมีปริมาตรเท่าเดิม

**วิธีทำ**  $P_1 = 380 \text{ mmHg}$        $T_1 = 273 + 40 = 313 \text{ K}$        $P_2 = 280 \text{ mmHg}$        $T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลุสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{380 \text{ mmHg}}{313 \text{ K}} = \frac{280 \text{ mmHg}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{280 \text{ mmHg} \times 313 \text{ K}}{380 \text{ mmHg}}$$

$$= 230.63 \text{ K}$$

$$\text{อุณหภูมิลดลง} = 313 - 230.63 = 82.37 \text{ K}$$

ดังนั้น ต้องลดอุณหภูมิลงประมาณ 82.37 เคลวิน อากาศในถังจึงจะมีปริมาตรเท่าเดิม

### ตัวอย่างที่ 1.12

เมื่อน้ำของเหลว A 10 กรัม มาทำให้เป็นไอทั้งหมดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 380 มิลลิเมตรปรอท ในถังพลาสติกซึ่งไม่มีการขยายตัวขนาด 20 ลูกบาศก์เดซิเมตร ถ้าต้องการให้ความดันลดลง 120 มิลลิเมตรปรอท จะต้องทำที่อุณหภูมิเท่าใด

**วิธีทำ**  $P_1 = 380 \text{ mmHg}$        $T_1 = 273 + 40 = 313 \text{ K}$

$P_2 = 380 - 120 = 260 \text{ mmHg}$        $T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลุสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{380 \text{ mmHg}}{313 \text{ K}} = \frac{260 \text{ mmHg}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{260 \text{ mmHg} \times 313 \text{ K}}{380 \text{ mmHg}}$$

$$= 214.16 \text{ K}$$

ดังนั้น จะต้องทำที่อุณหภูมิ 214.16 เคลวิน

### ตัวอย่างที่ 1.13

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในภาชนะที่มีปริมาตรคงที่ มีความดัน 750 ทอร์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของแก๊สนี้เปลี่ยนแปลงไป ให้ความดันเพิ่มขึ้นเป็น 900 ทอร์ จงคำนวณหาอุณหภูมิใหม่ของแก๊สนี้

**วิธีทำ**  $P_1 = 750 \text{ torr}$        $T_1 = 273 + 450 = 723 \text{ K}$

$P_2 = 900 \text{ torr}$        $T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลุสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{750 \text{ torr}}{723 \text{ K}} = \frac{900 \text{ torr}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{900 \text{ torr} \times 723 \text{ K}}{750 \text{ torr}}$$

$$= 867.6 \text{ K}$$

ดังนั้น อุณหภูมิใหม่ของแก๊สนี้ คือ 867.6 เคลวิน

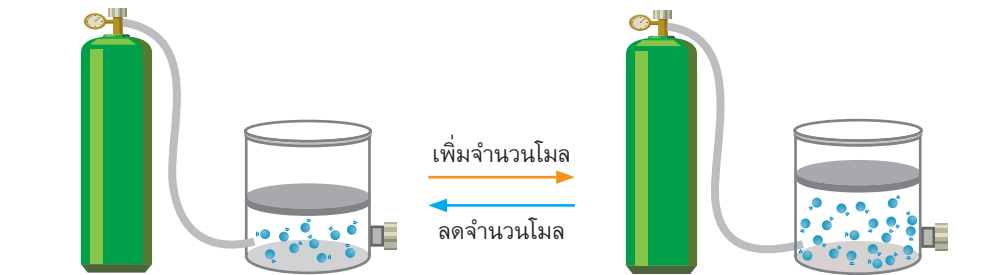
# 2.4 กฎของอาโวกาโดร

อาเมเดโอ อาโวกาโดร (Amedeo Avogadro) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส โดยเขาได้สรุปและเสนอกฎของอาโวกาโดร (Avogadro's Law) ซึ่งมีใจความว่า “เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส” และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$V \propto n \quad \text{ดังนั้น} \quad V = kn \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{n} = k$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของแก๊ส n คือ จำนวนโมลของแก๊ส และ k คือ ค่าคงที่ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$



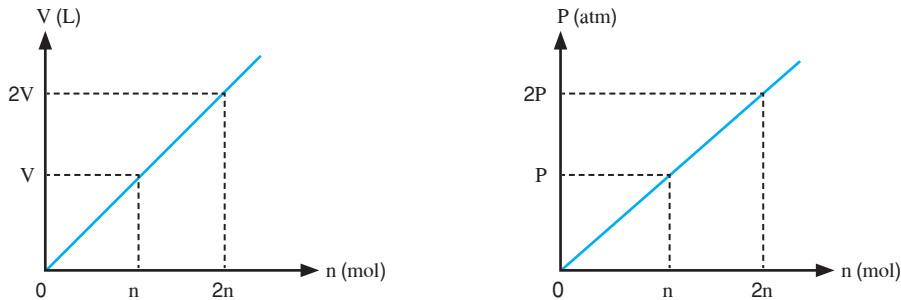
▲ ภาพที่ 1.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ที่มา : คลังภาพ อจท.

ให้นักเรียนพิจารณาปริมาตรของแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ณ สภาวะ STP เมื่อจำนวนโมลของสารเพิ่มขึ้น ดังนี้

|                |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|
| จำนวนโมล (mol) | 1    | 2    | 3    | 4    |
| มวล (g/mol)    | 32   | 64   | 96   | 128  |
| อุณหภูมิ (°C)  | 0    | 0    | 0    | 0    |
| ความดัน (atm)  | 1    | 1    | 1    | 1    |
| ปริมาตร (L)    | 22.4 | 44.8 | 67.2 | 89.6 |

จะเห็นได้ว่า ที่สภาวะ STP ปริมาตรของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊สออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และจำนวนโมลของแก๊ส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.19 (ซ้าย) หรือเมื่อปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ความดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) และจำนวนโมลของแก๊ส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.19 (ขวา)



▲ ภาพที่ 1.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ n (ซ้าย) และ P กับ n (ขวา) ที่มา : คลังภาพ อจท.

# 2.5 กฎรวมแก๊ส

เนื่องจากกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก กล่าวเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดัน ปริมาตรกับอุณหภูมิ และความดันกับอุณหภูมิ แต่การเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติของแก๊สปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สอาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันได้ ดังนั้น จึงมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน ในขณะที่ยา่จำนวนโมลของแก๊สมีค่าคงที่ และตั้งขึ้นเป็นกฎรวมแก๊ส (combined gas law) ดังนี้

จากกฎของบอยล์ เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $V \propto \frac{1}{P}$

จากกฎของชาร์ล เมื่อความดันและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $V \propto T$

จากกฎของเกย์-ลูสแซก เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $P \propto T$

เมื่อรวมกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V \propto \frac{T}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad V = \frac{kT}{P} \quad \text{หรือ} \quad V = \frac{PV}{T}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของแก๊ส P คือ ความดันของแก๊ส T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน และ K คือ ค่าคงที่ของแก๊ส

จึงกล่าวได้ว่า เมื่อจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

### ตัวอย่างที่ 1.14

แก๊สอาร์กอนมีปริมาตร 100 ลิตร ภายใต้ความดัน 970 ทอร์ และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีปริมาตรเท่าใดที่สภาวะมาตรฐาน

**วิธีทำ** สภาวะมาตรฐาน คือ สภาวะที่มีอุณหภูมิ 0°C (273 K) ความดัน 1 atm (760 torr)

$$P_1 = 970 \text{ torr} \quad T_1 = 273 + 30 = 303 \text{ K} \quad V_1 = 100 \text{ L}$$

$$P_2 = 760 \text{ torr} \quad T_2 = 273 \text{ K} \quad V_2 = ?$$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \frac{970 \text{ torr} \times 100 \text{ L}}{303 \text{ K}} &= \frac{760 \text{ torr} \times V_2}{273 \text{ K}} \\ V_2 &= \frac{970 \text{ torr} \times 100 \text{ L} \times 273 \text{ K}}{303 \text{ K} \times 760 \text{ torr}} \\ &= 115 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ที่สภาวะมาตรฐาน แก๊สอาร์กอนจะมีปริมาตร 115 ลิตร

### ตัวอย่างที่ 1.15

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความดัน 78 กิโลปาสกาล ถ้าความดันเพิ่มขึ้นอีก 22 กิโลปาสกาล ที่อุณหภูมิคงที่ องศาเซลเซียส แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่ากับ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{วิธีทำ } P_1 = 78 \text{ kPa} \quad T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K} \quad V_1 = 100 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = 100 \text{ kPa} \quad T_2 = ? \quad V_2 = 150 \text{ cm}^3$$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \frac{78 \text{ kPa} \times 100 \text{ cm}^3}{300 \text{ K}} &= \frac{100 \text{ kPa} \times 150 \text{ cm}^3}{T_2} \\ T_2 &= \frac{100 \text{ kPa} \times 150 \text{ cm}^3 \times 300 \text{ K}}{78 \text{ kPa} \times 100 \text{ cm}^3} \\ &= 576.92 \text{ K} \\ &= 576.92 - 273 = 303.92^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 303.92 องศาเซลเซียส

### ตัวอย่างที่ 1.16

แก๊สไนโตรเจนจำนวนหนึ่งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส บรรจุอยู่ในถังขนาด 2 ลิตร วัดความดันได้ 0.5 บรรยากาศ ถ้านำแก๊สไนโตรเจนทั้งหมดนี้ไปใส่ในถังอีกใบหนึ่งขนาด 3 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะอ่านค่าความดันได้เท่าใด

$$\text{วิธีทำ } P_1 = 0.5 \text{ atm} \quad T_1 = 273 + 0 = 273 \text{ K} \quad V_1 = 2 \text{ L}$$

$$P_2 = ? \quad T_2 = 273 + 27 = 300 \text{ K} \quad V_2 = 3 \text{ L}$$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \frac{0.5 \text{ atm} \times 2 \text{ L}}{273 \text{ K}} &= \frac{P_2 \times 3 \text{ L}}{300 \text{ K}} \\ P_2 &= \frac{0.5 \text{ atm} \times 2 \text{ L} \times 300 \text{ K}}{273 \text{ K} \times 3 \text{ L}} \\ &= 0.37 \text{ atm} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะอ่านค่าความดันได้ 0.37 บรรยากาศ

### ตัวอย่างที่ 1.17

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 860 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ปริมาตรแก๊สนี้จะเป็นเท่าใด ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท

$$\text{วิธีทำ } P_1 = 760 \text{ mmHg} \quad T_1 = 273 + 37 = 310 \text{ K} \quad V_1 = 860 \text{ cm}^3$$

$$P_2 = 650 \text{ mmHg} \quad T_2 = 273 + 24 = 297 \text{ K} \quad V_2 = ?$$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \frac{760 \text{ mmHg} \times 860 \text{ cm}^3}{310 \text{ K}} &= \frac{650 \text{ mmHg} \times V_2}{297 \text{ K}} \\ V_2 &= \frac{760 \text{ mmHg} \times 860 \text{ cm}^3 \times 297 \text{ K}}{650 \text{ mmHg} \times 310 \text{ K}} \\ &= 963.37 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สนี้มีค่า 963.37 ลูกบาศก์เซนติเมตร

## 2.6 กฎแก๊สอุดมคติ

เมื่อรวบรวมกฎของแก๊สจากนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ทำให้สามารถศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของแก๊สระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน และจำนวนโมลของแก๊ส และตั้งขึ้นเป็นกฎแก๊สในอุดมคติ (idea gas law) ดังนี้

จากกฎของบอยล์ เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $V \propto \frac{1}{P}$

จากกฎของชาร์ล เมื่อความดันและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $V \propto T$

จากกฎของเกย์-ลูสแซก เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลคงที่ จะได้ว่า  $P \propto T$

จากกฎของอวกาโดร เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ จะได้ว่า  $V \propto N$

เมื่อรวมกฎทั้งหมดมารวมกันจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V \propto \frac{nT}{P} \quad \text{หรือ} \quad \frac{PV}{nT} = k$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$PV = nkT$$

k เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนโมลของแก๊ส โดยถ้าแก๊ส 1 โมล จะใช้ค่า R แทน เรียกว่า **ค่าคงที่ของแก๊สต่อโมล (mol gas constant)**

ดังนั้น สำหรับแก๊สจำนวน n โมล จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PV = nRT$$

โดยที่ R = 0.0821 L·atm·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup> ซึ่งสูตรนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อความดัน มีหน่วยเป็น บรรยากาศ (atm) ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลิตร (L) และอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

จากสูตร PV = nRT สามารถปรับสูตรใหม่ได้ ดังนี้

$$P = \frac{n}{V} RT$$

ซึ่ง  $\frac{n}{V}$  มีค่าเท่ากับความเข้มข้น (C) จึงได้ว่า

$$P = CRT$$

จาก  $n = \frac{g}{M}$  โดยที่ M คือ มวลโมเลกุล จะได้ว่า

$$P = \frac{g}{MV} RT$$

ดังนั้น

$$PM = \frac{g}{V} RT$$

แต่  $\frac{g}{V}$  มีค่าเท่ากับความหนาแน่น (d) จึงได้ว่า

$$PM = dRT$$



## สมการแก๊สอุดมคติเพื่อใช้คำนวณหาค่าต่างๆ

ความดันของแก๊ส

(P)

จาก PV = nRT ดังนั้น

$$P = \frac{nRT}{V}$$

ปริมาตรของแก๊ส

(V)

จาก PV = nRT ดังนั้น

$$V = \frac{nRT}{P}$$

โมลของแก๊ส

(n)

จาก PV = nRT ดังนั้น

$$n = \frac{PV}{RT}$$

อุณหภูมิของแก๊ส

(T)

จาก PV = nRT ดังนั้น

$$T = \frac{PV}{nR}$$

มวลของแก๊ส

(g)

จาก PV =  $\frac{g}{M}$ RT ดังนั้น

$$g = \frac{PVM}{RT}$$

มวลโมเลกุลของแก๊ส

(M)

จาก PV =  $\frac{g}{M}$ RT ดังนั้น

$$M = \frac{gRT}{PV}$$

จำนวนโมเลกุลของแก๊ส

(N)

จาก PV =  $\frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$ RT  
ดังนั้น

$$N = \frac{6.02 \times 10^{23} PV}{RT}$$

ความเข้มข้นของแก๊ส

(C)

จาก P =  $\frac{n}{V}$ RT หรือ  
P = CRT ดังนั้น

$$C = \frac{P}{RT}$$

(C = ความเข้มข้น  
หน่วยเป็น โมลาร์)

ความหนาแน่นของแก๊ส

(d)

จาก PM =  $\frac{g}{V}$ RT หรือ  
PM = dRT ดังนั้น

$$d = \frac{PM}{RT}$$

### ตัวอย่างที่ 1.18

จงหาความดันของแก๊สออกซิเจนปริมาณ 2.5 โมล ในภาชนะ 10 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

วิธีทำ  $P = ?$   $V = 10 \text{ L}$   $n = 2.5 \text{ mol}$   
 $T = 273 + 50 = 323 \text{ K}$   $R = 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 จาก  $P = \frac{nRT}{V}$   

$$= \frac{2.5 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 323 \text{ K}}{10 \text{ L}}$$
  

$$= 6.63 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความดัน 6.63 บรรยากาศ

### ตัวอย่างที่ 1.19

บอลลูกหนึ่งบรรจุแก๊สฮีเลียม (He) 4 โมล บอลลูกนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าความดันของแก๊สฮีเลียมเป็น 748 มิลลิเมตรปรอท ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีทำ  $P = \frac{748}{760} = 0.98 \text{ atm}$   $V = ?$   $n = 4 \text{ mol}$   
 $T = 273 + 20 = 293 \text{ K}$   $R = 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 จาก  $V = \frac{nRT}{P}$   

$$= \frac{4 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{0.98 \text{ atm}}$$
  

$$= 98.07 \text{ L}$$

ดังนั้น บอลลูกนี้จะมีปริมาตรประมาณ 98 ลิตร

### ตัวอย่างที่ 1.20

แก๊สชนิดหนึ่งมีมวลโมเลกุล 32 มีความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท จงหาความหนาแน่นของแก๊สชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

วิธีทำ  $P = \frac{760}{760} = 1 \text{ atm}$   $M = 32 \text{ g/mol}$   
 $T = 273 + 37 = 310 \text{ K}$   $R = 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 จาก  $d = \frac{PM}{RT}$   

$$= \frac{1 \text{ atm} \times 32 \text{ g/mol}}{0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 310 \text{ K}}$$
  

$$= 1.26 \text{ g/L}$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้มีความหนาแน่น 1.26 กรัมต่อลิตร

### ตัวอย่างที่ 1.21

ของเหลว A จำนวน 18 กรัม ระเหยกลายเป็นไอในภาชนะขนาด 20 ลิตร ความดันของของเหลว A จะมีค่าเท่าใด เมื่อการระเหยเป็นไอสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ของเหลวนี้มีมวลโมเลกุล = 36 g/mol)

วิธีทำ  $P = ?$   $V = 20 \text{ L}$   
 $g = 18 \text{ g}$   $M = 36 \text{ g/mol}$   
 $T = 273 + 200 = 473 \text{ K}$   $R = 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 จาก  $PV = \frac{g}{M}RT$   

$$P \times 20 \text{ L} = \frac{18 \text{ g} \times 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 473 \text{ K}}{36 \text{ g/mol}}$$
  

$$P = \frac{18 \text{ g} \times 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 473 \text{ K}}{20 \text{ L} \times 36 \text{ g/mol}}$$
  

$$= 0.97 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันของของเหลว A มีค่าเท่ากับ 0.97 บรรยากาศ

### ตัวอย่างที่ 1.22

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลิตร จะมีความดันกี่มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ  $P = ?$   $M = 12 + 32 = 44 \text{ g/mol}$   
 $d = 0.75 \text{ g/L}$   $T = 273 + 30 = 303 \text{ K}$   
 $R = 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 จาก  $P = \frac{dRT}{M}$   

$$= \frac{0.75 \text{ g/L} \times 0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 303 \text{ K}}{44 \text{ g/mol}}$$
  

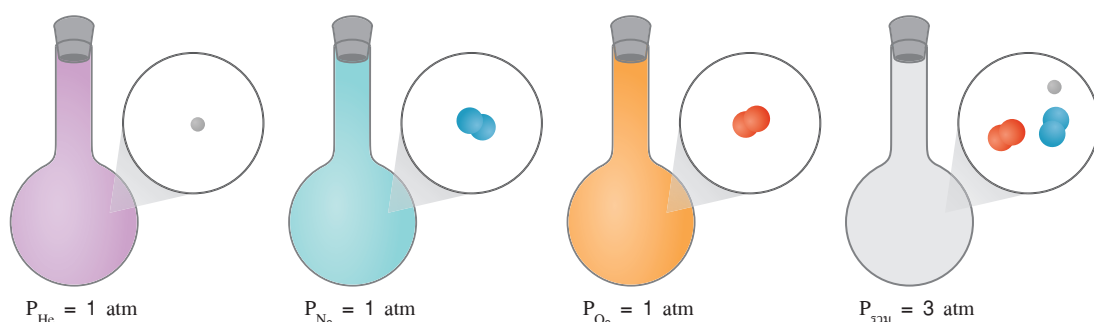
$$= 0.42 \text{ atm}$$
  

|                       |          |                                   |                                  |
|-----------------------|----------|-----------------------------------|----------------------------------|
| ความดัน $\text{CO}_2$ | 1 atm    | มีค่าเท่ากับความดัน $\text{CO}_2$ | 760 mmHg                         |
| ความดัน $\text{CO}_2$ | 0.42 atm | มีค่าเท่ากับความดัน $\text{CO}_2$ | $\frac{760 \times 0.42}{1}$ mmHg |
|                       |          |                                   | = 319.2 mmHg                     |

ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความดันเท่ากับ 319.2 มิลลิเมตรปรอท

## 2.7 กฎความดันย่อยของดอลตัน

จอห์น ดอลตัน (John Dalton) สนใจศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับความดันของแก๊สผสมต่าง ๆ แล้วสรุปและตั้งเป็นกฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's law of partial pressure) ขึ้นมา โดยกล่าวว่า “ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกันจะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น” เช่น เมื่อผสมแก๊ส He ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊ส N<sub>2</sub> ความดัน 1 บรรยากาศ และแก๊ส O<sub>2</sub> ความดัน 1 บรรยากาศ เข้าด้วยกัน จะได้ความดันรวมเท่ากับ 3 บรรยากาศ



▲ ภาพที่ 1.20 ความดันรวมของแก๊ส He N<sub>2</sub> และ O<sub>2</sub>  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น จะได้ว่า

$$P_{\text{รวม}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

เมื่อ  $P_1, P_2, \dots, P_n$  คือ ความดันย่อยของแก๊สชนิดที่ 1, 2, ..., n หรือ

$$P_{\text{รวม}} V_{\text{รวม}} = P_1 V_1 + P_2 V_2 + \dots + P_n V_n$$

จาก  $PV = nRT$  จะได้ว่า

$$P_{\text{รวม}} V_{\text{รวม}} = n_{\text{รวม}} RT$$

เมื่อ  $n_{\text{รวม}} = n_1 + n_2 + \dots + n_n$  หรือ

$$P_i = X_i \times P_{\text{รวม}}$$

เมื่อ  $P_i$  คือ ความดันย่อยของแก๊สชนิดที่ i

$X_i$  คือ เศษส่วนโดยมวลของแก๊สชนิดที่ i

### ตัวอย่างที่ 1.23

แก๊สไฮโดรเจน 2 โมล แก๊สออกซิเจน 4 โมล และแก๊สฮีเลียม 6 โมล ผสมกันอยู่ในถังปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงคำนวณหาความดันรวมและความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด

วิธีทำ  $T = 273 + 27 = 300 \text{ K}$

จาก  $PV = nRT$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$P_{\text{H}_2} = \frac{2 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{5 \text{ L}} = 9.85 \text{ atm}$$

$$P_{\text{O}_2} = \frac{4 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{5 \text{ L}} = 19.7 \text{ atm}$$

$$P_{\text{He}} = \frac{6 \text{ mol} \times 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{5 \text{ L}} = 29.55 \text{ atm}$$

$$P_{\text{รวม}} = P_{\text{H}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{He}} = 9.85 + 19.7 + 29.55 = 59.1 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันของแก๊สไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 9.85 บรรยากาศ ความดันของแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 19.7 บรรยากาศ ความดันของแก๊สฮีเลียมมีค่าเท่ากับ 29.55 บรรยากาศ และความดันรวมมีค่าเท่ากับ 59.1 บรรยากาศ

### ตัวอย่างที่ 1.24

จงคำนวณความดันย่อยของแก๊สผสมในหน่วยทอร์ของแก๊สออกซิเจน 128 กรัม และแก๊สไนโตรเจน 56 กรัม ที่มีความดัน 750 ทอร์

วิธีทำ จำนวนโมลของแก๊สออกซิเจน =  $\frac{128}{32} = 4 \text{ mol}$

จำนวนโมลของแก๊สไนโตรเจน =  $\frac{56}{28} = 2 \text{ mol}$

จำนวนโมลรวม =  $4 + 2 = 6 \text{ mol}$

$$X_{\text{O}_2} = \frac{4}{6} = 0.667$$

$$P_{\text{O}_2} = X_{\text{O}_2} P_{\text{รวม}} = 0.667 \times 750 = 500.25 \text{ torr}$$

$$X_{\text{N}_2} = \frac{2}{6} = 0.333$$

$$P_{\text{N}_2} = X_{\text{N}_2} P_{\text{รวม}} = 0.333 \times 750 = 249.75 \text{ torr}$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 500.25 ทอร์ และแก๊สไนโตรเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 249.75 ทอร์

## ตัวอย่างที่ 1.25

แก๊สผสมประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนร้อยละ 55 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 และไอน้ำร้อยละ 25 โดยปริมาตร มีความดันรวมของแก๊สผสมเท่ากับ 2.5 บรรยากาศ จงคำนวณหาความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสมนี้

**วิธีทำ** อัตราส่วนที่โจทย์กำหนด เป็นอัตราส่วนโดยปริมาตร ซึ่งที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน ปริมาตรจะแปรผันตามจำนวนโมล

ดังนั้น อัตราส่วนโดยโมลของ  $H_2 : O_2 : H_2O = 55 : 20 : 25$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } H_2 = X_{H_2} = \frac{55}{55 + 20 + 25} = 0.55$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } O_2 = X_{O_2} = \frac{20}{55 + 20 + 25} = 0.20$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } H_2O = X_{H_2O} = \frac{25}{55 + 20 + 25} = 0.25$$

$$\text{จาก } P_i = X_i \times P_{\text{รวม}}$$

$$P_{H_2} = X_{H_2} \times P_{\text{รวม}} = 0.55 \times 2.5 = 1.375 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = X_{O_2} \times P_{\text{รวม}} = 0.20 \times 2.5 = 0.5 \text{ atm}$$

$$P_{H_2O} = X_{H_2O} \times P_{\text{รวม}} = 0.25 \times 2.5 = 0.625 \text{ atm}$$

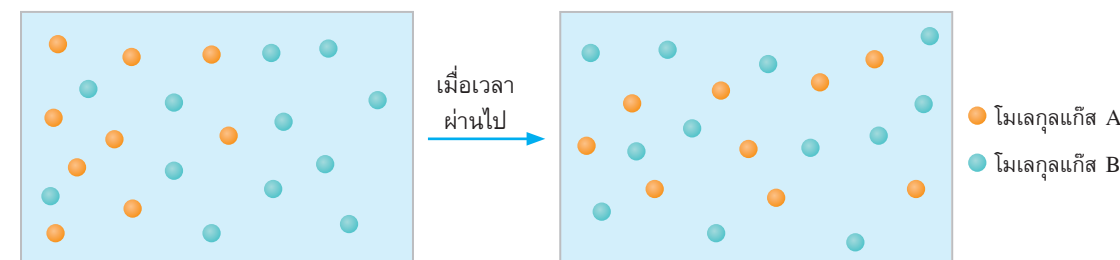
ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 1.375 บรรยากาศ แก๊สออกซิเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 0.5 บรรยากาศ และไอน้ำมีความดันย่อยเท่ากับ 0.625 บรรยากาศ

## Prior Knowledge

การแพร่มีลักษณะ  
อะไรบ้าง

## 3 การแพร่ของแก๊ส

การแพร่ (diffusion) หมายถึง การที่โมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งเคลื่อนที่กระจายออกจากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งระดับความเข้มข้นของแก๊สในทุกบริเวณที่แก๊สไหลไปได้นั้นมีค่าเท่ากัน แก๊สจึงจะหยุดแพร่ โดยการแพร่ของแก๊สเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเพียงอย่างเดียว ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก แต่ก็เป็นกาเคลื่อนที่แบบสุ่ม โดยขณะที่แก๊สแพร่ไปในนั้นจะเกิดการชนกันระหว่างโมเลกุล หรือชนผนังภาชนะไปด้วย



▲ ภาพที่ 1.21 การแพร่ของโมเลกุลของแก๊ส A และ B จากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

การแพร่เกิดขึ้นกับสารได้ทุกสถานะ ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่กระบวนการแพร่ของแก๊สจะเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่าของแข็งและของเหลว ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาการแพร่ของแก๊สจากการทดลองต่อไปนี้



## Chemistry Focus

### ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่

- ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของสารมี ดังนี้
  1. สถานะของสาร โดยแก๊สมีพลังงานจลน์สูงที่สุด จึงมีอัตราการแพร่สูงที่สุด
  2. สถานะของตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน โดยตัวกลางที่เป็นแก๊สจะมีแรงต้านน้อยที่สุด จึงทำให้มีอัตราการแพร่สูงที่สุด
  3. ขนาดอนุภาคของสาร โดยอนุภาคขนาดเล็กจะมีอัตราการแพร่สูงกว่าอนุภาคขนาดใหญ่
  4. ระยะทางที่สารจะแพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา
  5. อุณหภูมิ โดยจะมีผลต่อการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสาร ทำให้สารมีอัตราการแพร่สูงขึ้น
  6. ความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น จะเพิ่มความหนาแน่นให้กับสาร ส่งผลให้สารมีอัตราการแพร่สูงขึ้น

## Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลุสแซก กฎของอาวอกาโดร และกฎความดันย่อยของดอลตัน มีใจความสำคัญอย่างไร
2. สูตรในการคำนวณของกฎแก๊สอุดมคติ ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิต้องมีหน่วยเป็นอย่างไร
3. เมื่ออุณหภูมิคงที่ ถ้าปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ความดันของแก๊สจะเป็นอย่างไร
4. เมื่อปริมาตรคงที่ ถ้าความดันของแก๊สลดลง อุณหภูมิของแก๊สจะเป็นอย่างไร
5. เมื่อความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเป็นอย่างไร



## การทดลอง

### ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การทดลอง
- การลงความเห็นจากข้อมูล

### จิตวิทยาศาสตร์

- ความสนใจใฝ่รู้
- ความรอบคอบ



### วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm ยาว 30 cm
2. ที่ยึดหลอดทดลองพร้อมขาตั้ง
3. ไม้ที่มีสำลีพันอยู่ปลาย
4. สารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) เข้มข้น
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) เข้มข้น



### วิธีการทดลอง

1. ยึดตรงกลางของหลอดแก้วให้ติดกับขาตั้งโดยให้อยู่ในแนวระดับ
2. ใช้สำลีพันปลายไม้ 2 อัน โดยอันหนึ่งชุบสารละลาย  $\text{NH}_3$  เข้มข้น ส่วนอีกอันหนึ่งชุบสารละลาย  $\text{HCl}$  เข้มข้น แล้วนำสำลีที่ชุบสารละลายแล้วทั้ง 2 อัน มาวางไว้ใกล้กัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง
3. นำไม้พันสำลีจากข้อ 2. สอดเข้าไปในหลอดแก้วพร้อม ๆ กัน ทั้ง 2 ด้าน ด้านละอัน
4. สังเกตและทำเครื่องหมายบริเวณที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง
5. วัดระยะทางจากปลายหลอดทั้งสองข้างถึงตำแหน่งที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง



### คำถามท้ายการทดลอง

1. สารทั้งสองในการทดลองนี้ทำปฏิกิริยากันหรือไม่ และทราบได้อย่างไร
2. จงคำนวณเปรียบเทียบอัตราการแพร่ว่าสารใดแพร่เร็วกว่ากัน
3. จากการทดลอง นักเรียนคิดว่าอัตราการแพร่ของสารมีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุลอย่างไร



### อภิปรายผลการทดลอง

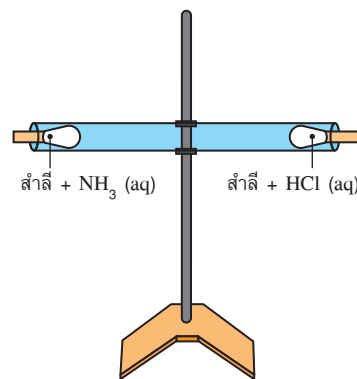
จากการทดลอง พบว่า เมื่อนำไม้พันสำลีที่ชุบสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นมาวางไว้ใกล้กัน จะสังเกตเห็นควันสีขาวเกิดขึ้น และเมื่อนำไม้พันสำลีที่ชุบสารละลายทั้ง 2 ชนิด ไปสอดไว้ที่ปลายหลอดแก้วทั้ง 2 ด้าน เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นควันสีขาวมีลักษณะเป็นวงแหวน เกาะอยู่บริเวณผิวด้านในของหลอดแก้ว โดยอยู่ใกล้ด้านไม้พันสำลีที่ชุบสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

## การแพร่ของแก๊สแอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์



### จุดประสงค์

1. เปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียและแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของแก๊สกับมวลโมเลกุลของแก๊สได้

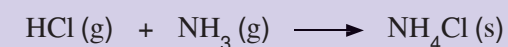


▲ ภาพที่ 1.22 การทดลองการแพร่ของ  $\text{NH}_3$  และ  $\text{HCl}$   
ที่มา : คลังภาพ อจท.

### Safety first

สารละลาย  $\text{NH}_3$  เข้มข้น และสารละลาย  $\text{HCl}$  เข้มข้น เป็นสารที่มีกลิ่นฉุนและเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ ดังนั้น เมื่อใช้เสร็จแล้วต้องปิดภาชนะที่บรรจุสารทันที และไม่ควรหยดสารทั้งสองลงบนสำลีในปริมาณมากเกินไป

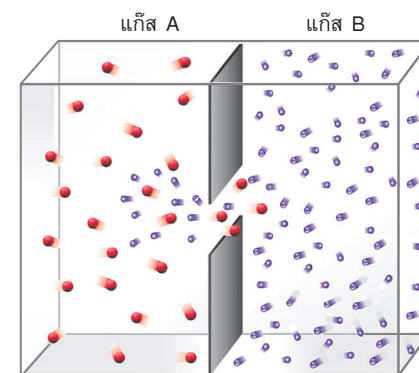
จากการทดลอง ควันสีขาวที่สังเกตเห็นเกิดจากสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น ( $\text{NH}_3$ ) และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ( $\text{HCl}$ ) เกิดการระเหยเป็นไอและแพร่มาพบกันแล้วทำปฏิกิริยากันได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) เกาะอยู่ที่ผิวด้านในของหลอดแก้ว ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ ดังนี้



จากผลการทดลอง พบว่า ระยะทางที่แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์เคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่เกิดควันสีขาว มีค่าน้อยกว่าระยะทางที่แก๊สแอมโมเนียเคลื่อนที่ แสดงว่า แก๊สแอมโมเนียแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากมวลโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์และแก๊สแอมโมเนียซึ่งมีค่าเท่ากับ 36.5 และ 17 ตามลำดับ ทำให้ทราบว่า การแพร่ของแก๊สมีความสัมพันธ์กับมวลโมเลกุลของสาร กล่าวคือ ในระยะทางที่เท่ากัน แก๊สที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะแพร่ได้ระยะทางไกลกว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลสูง

การแพร่ของแก๊สสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

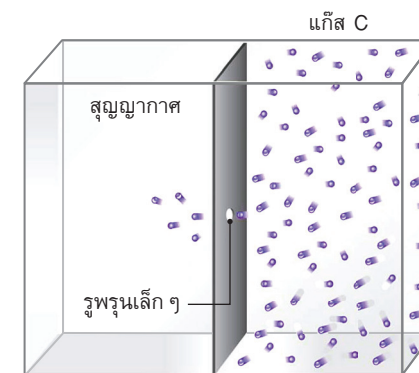
#### 1. การแพร่ (diffusion)



▲ ภาพที่ 1.23 การแพร่ของแก๊ส  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คือ กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และโมเลกุลของแก๊สมีการชนกันตลอดเวลา โดยแก๊สจะเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ ซึ่งจะเห็นว่า การแพร่แบบนี้จะเกิดในกรณีที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ และมีการชนกันของโมเลกุลตลอดเวลา

#### 2. การแพร่ผ่าน (effusion)



▲ ภาพที่ 1.24 การแพร่ผ่านของแก๊ส  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คือ กระบวนการที่แก๊สภายใต้ความดันค่าหนึ่งเคลื่อนที่ออกจากภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้นผ่านรูเล็กมาก ๆ ไปสู่อีกภาชนะหนึ่ง โดยโมเลกุลไม่ชนกัน

กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (Graham's Law of effusion) ในปี พ.ศ. 2389 โทมัส เกรแฮม (Thomas Graham) นักวิทยาศาสตร์ชาวสกอตแลนด์ ได้ทำการศึกษาและทดลองเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านของแก๊สชนิดต่าง ๆ พบว่า อัตราการแพร่ผ่านของแก๊สขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลหรือความหนาแน่นของแก๊ส กล่าวคือ แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อย หรือมีความหนาแน่นน้อยจะแพร่ผ่านได้เร็วกว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมาก หรือมีความหนาแน่นมาก เขาจึงได้สรุปความสัมพันธ์นี้เป็นกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ซึ่งมีใจความว่า “เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล หรือความหนาแน่นของแก๊ส” ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

R คือ อัตราการแพร่ของแก๊ส

M คือ มวลโมเลกุลของแก๊ส

ดังนั้น จึงเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$R_1\sqrt{M_1} = R_2\sqrt{M_2} = k$$

k คือ ค่าคงที่ของการแพร่

หรือ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

จาก  $PM = dRT$  จะเห็นว่า  $M \propto d$  (ความหนาแน่นของแก๊ส) ดังนั้น

$$\frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

ดังนั้น จึงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ ความหนาแน่น และมวลโมเลกุลได้ ดังนี้

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

โดยอัตราการแพร่ของแก๊สสามารถบอกได้หลายลักษณะ ดังนี้

- ปริมาตรของแก๊สที่แพร่ได้ต่อ 1 หน่วยเวลา
- ระยะทางของแก๊สที่แพร่ได้ต่อ 1 หน่วยเวลา
- ความดันของแก๊สที่ลดลงต่อ 1 หน่วยเวลา
- จำนวนโมลของแก๊สที่ผ่านช่องเล็ก ๆ ได้ต่อ 1 หน่วยเวลา

### H.O.T.S.

#### คำถามท้าทาย การคิดขั้นสูง



สารประกอบของ Ni มีสถานะเป็นแก๊ส มีสูตรโมเลกุลเป็น  $\text{Ni(CO)}_x$  จงหาค่าของ x ที่ทำให้แก๊ส  $\text{Ni(CO)}_x$  แพร่ช้ากว่าแก๊ส  $\text{CH}_4$  3.3 เท่า



### ตัวอย่างที่ 1.26

จงเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน (กำหนดความหนาแน่นของ  $\text{H}_2 = 0.0715 \text{ g/cm}^3$  และความหนาแน่นของ  $\text{O}_2 = 1.43 \text{ g/cm}^3$ )

วิธีทำ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

$$\frac{R_{\text{H}_2}}{R_{\text{O}_2}} = \frac{\sqrt{d_{\text{O}_2}}}{\sqrt{d_{\text{H}_2}}}$$

$$\frac{R_{\text{H}_2}}{R_{\text{O}_2}} = \frac{\sqrt{1.43}}{\sqrt{0.0715}}$$

$$R_{\text{H}_2} = 4.47 R_{\text{O}_2}$$

ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สออกซิเจน 4.47 เท่า



### ตัวอย่างที่ 1.27

แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) แพร่ผ่านช่องเล็ก ๆ ด้วยอัตรา 5.2 โมลต่อชั่วโมง ถ้าแก๊ส X แพร่ผ่านช่องเล็ก ๆ นี้ที่สภาวะเดียวกันด้วยอัตรา 6.5 โมลต่อชั่วโมง จงหามวลโมเลกุลของแก๊ส X

วิธีทำ

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$$

$$\frac{R_{\text{CH}_4}}{R_X} = \frac{\sqrt{M_X}}{\sqrt{M_{\text{CH}_4}}}$$

$$\frac{5.2}{6.5} = \frac{\sqrt{M_X}}{\sqrt{16}}$$

$$0.8^2 = \frac{M_X}{16}$$

$$M_X = 0.64 \times 16$$

$$= 10.24$$

ดังนั้น มวลโมเลกุลของแก๊ส X มีค่าเท่ากับ 10.24

## ตัวอย่างที่ 1.28

จงคำนวณหาโมลมวลของแก๊สที่แพร่ผ่านได้เร็วเป็น  $\frac{1}{2}$  เท่าของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

**วิธีทำ** ให้  $R_X$  แทน อัตราเร็วของการแพร่ของแก๊ส X

$M_X$  แทน โมลมวลของแก๊ส X

$R_{CO_2}$  แทน อัตราเร็วของการแพร่ของแก๊ส  $CO_2$

$M_{CO_2}$  แทน โมลมวลของแก๊ส  $CO_2$

$$\text{จาก } \frac{R_X}{R_{CO_2}} = \sqrt{\frac{M_{CO_2}}{M_X}}$$

อัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส X เป็น  $\frac{1}{2}$  เท่าของแก๊ส  $CO_2$  หมายความว่า  $R_X = \frac{1}{2}R_{CO_2}$

$$\text{แทนค่า } \frac{\frac{1}{2}R_{CO_2}}{R_{CO_2}} = \sqrt{\frac{M_{CO_2}}{M_X}}$$

$$\frac{1}{2} = \sqrt{\frac{44}{M_X}}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{44}{M_X}$$

$$M_X = 4 \times 44 = 176$$

ดังนั้น โมลมวลของแก๊สนี้มีค่าเท่ากับ 176

## Topic Questions

**คำชี้แจง :** ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การแพร่ของแก๊สหมายถึงอะไร
2. การแพร่ของแก๊สแบ่งออกเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
3. กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮมมีใจความสำคัญว่าอย่างไร
4. เรียงลำดับการแพร่ของแก๊สต่อไปนี้ Ar  $O_2$  CO  $SO_2$   $F_2$  HCl  $CH_4$  และ  $H_2S$  จากช้าไปเร็ว



## Prior Knowledge

สมบัติของแก๊สสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใดบ้าง

## 4 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันมีผลทำให้สารที่อยู่ในสถานะต่างกัมีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในอุตสาหกรรมบางประเภทจึงได้มีการนำสมบัติที่แตกต่างกันนี้มาใช้ประโยชน์

1. การทำน้ำแข็งแห้ง น้ำแข็งแห้ง (dry ice) คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ที่อยู่ในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $-79$  องศาเซลเซียส เรียกอีกชื่อว่า คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำแข็งแห้ง แสดงดังแผนภาพ



▲ ภาพที่ 1.25 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตน้ำแข็งแห้ง ที่มา : คลังภาพ อจท.

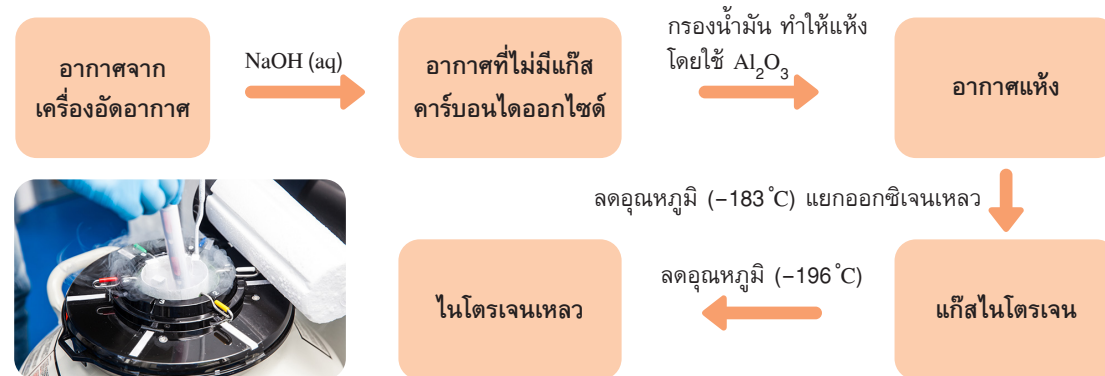
ขั้นตอนที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์เหลวผ่านรูพรุนจะมีคาร์บอนไดออกไซด์เหลวบางส่วนระเหยกกลายเป็นไอโดยการดูดความร้อนจากโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง ทำให้โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ถูกดูดความร้อนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จึงกลายเป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นเกล็ด เรียกว่า น้ำแข็งแห้ง ซึ่งน้ำแข็งแห้งแตกต่างจากน้ำแข็งทั่วไป คือ น้ำแข็งแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำถึง  $-79$  องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำแข็งทั่วไปมีอุณหภูมิต่ำกว่า  $0$  องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิต่ำ น้ำแข็งแห้งจะระเหิดกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยไม่ผ่านการละลาย

น้ำแข็งแห้งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความเย็น เช่น การทำไอศกรีม การแช่แข็งอาหารเพื่อถนอมอาหารในขั้นตอนการผลิตหรือการขนส่ง ใช้ในการขนส่งเวชภัณฑ์ การทำความสะอาดเครื่องจักร การบดเย็นวัสดุสังเคราะห์ที่แตกยาก นอกจากนี้ ยังใช้ทำหมอกควันในการแสดงบนเวที และอาจใช้ผสมในเครื่องดื่มเพื่อให้เกิดฟอง

2. การทำไนโตรเจนเหลว ไนโตรเจนเป็นแก๊สที่เบากว่าอากาศ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา มีจุดเดือด  $-196$  องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว  $-210$  องศาเซลเซียส และละลายน้ำได้เล็กน้อย

การผลิตไนโตรเจนเหลวจะเริ่มจากดูดอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศผ่านลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นจึงผ่านอากาศที่ได้เข้าไปในเครื่องกรองน้ำมันเพื่อแยกน้ำมันออก พร้อมกับทำให้แห้งด้วยสารดูดความชื้น คือ อะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) จะได้อากาศแห้ง ซึ่งมีแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ จากนั้นลดอุณหภูมิลงจนถึงประมาณ  $-183$  องศาเซลเซียส แก๊สออกซิเจนจะกลายเป็นของเหลวออกมาก่อน และลดอุณหภูมิต่อไปอีกจนถึงประมาณ  $-196$  องศาเซลเซียส แก๊สไนโตรเจนจะกลายเป็นของเหลวแยกตัวออกมา โดยมีแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สเฉื่อยเหลืออยู่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

กระบวนการผลิตไนโตรเจนเหลว แสดงดังแผนภาพ



▲ ภาพที่ 1.26 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตไนโตรเจนเหลว  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ไนโตรเจนเหลวที่ได้จะมีอุณหภูมิต่ำมาก จึงนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็น เช่น การแช่แข็งอาหารต่างๆ การขึ้นรูปพลาสติก นอกจากนี้ ยังนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น นำมาใช้ในการแช่แข็งเลือด เซลล์ไขกระดูก หรือส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และยังมีการนำไนโตรเจนเหลวมาบรรจุในถังขนาดเล็กสำหรับแช่รักษาตัวอย่างชีวภาพ เช่น ตัวอย่างน้ำเชื้อโค กระบือ สุกร

## Chemistry in Real Life

ไนโตรเจนเหลวถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคทางผิวหนัง เช่น หูด กระเนื้อ กระแดด แผลเป็นนูน (คีลอยด์) การติดเชื้อ ของผิวหนังบางชนิด และมะเร็งผิวหนัง เพราะขั้นตอนการรักษาไม่ยุ่งยาก โดยแพทย์จะนำไนโตรเจนเหลวซึ่งบรรจุอยู่ในอุปกรณ์พิเศษต่อกับหัวพ่นหรือหัวจี้ที่มีขนาดเหมาะสม มาพ่นหรือจี้ที่บริเวณผิวหนังซึ่งการรักษาด้วยวิธีนี้จะทำให้รอยโรคหลุดไปพร้อมกับสะเก็ดภายใน 1-3 สัปดาห์

3. การสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหล เป็นเทคนิคการสกัดสารที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหลแทนตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ เช่น แอซีโตน เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน หรือเมทิลีนคลอไรด์ เพื่อลดความเป็นพิษที่เกิดจากตัวทำละลายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

คาร์บอนไดออกไซด์เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะวิกฤติยิ่งยวด (supercritical state) คือ ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส และความดัน 73 บรรยากาศ จะมีสภาพเป็นของไหล และมีสมบัติบางประการที่เหมือนทั้งแก๊สและของเหลว สมบัติที่เหมือนแก๊ส คือ สามารถขยายตัวได้ง่ายจนเต็มภาชนะที่บรรจุ มีลักษณะไหลได้ ส่วนสมบัติที่เหมือนของเหลว คือ มีความสามารถในการละลายของแข็งหรือของเหลวได้ดี ดังนั้น จึงสามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหลในการสกัดสารที่ต้องการออกจากของผสมได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม หรืออาจใช้เทคนิคนี้ในการทำให้อาหารบริสุทธิ์

การสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหลเป็นเทคนิคที่ไม่ใช้ความร้อนในการสกัด จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้กับสารที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน เช่น การสกัดน้ำมันเรซินจากสมุนไพร เครื่องเทศ ซึ่งสารที่สกัดได้จากวิธีนี้จะไม่เปลี่ยนแปลง และมีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งในปัจจุบันนิยมนำมาใช้สกัดกาแฟอื่นนอกจากเมล็ดกาแฟดิบแทนตัวทำละลายที่ใช้อยู่ เพราะจะไม่ทำให้รสหรือกลิ่นของกาแฟเปลี่ยนไป เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น และที่สำคัญ คือ ไม่มีสารตกค้าง เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปะปนอยู่ในรูปของแก๊สสามารถแพร่ออกจากเมล็ดกาแฟได้



▲ ภาพที่ 1.27 การสกัดกาแฟจากเมล็ดกาแฟดิบ โดยใช้  $CO_2$  ในรูปของไหล จะทำให้รสและกลิ่นของกาแฟไม่เปลี่ยนไป  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

## Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. น้ำแข็งแห้งนิยมนำมาใช้อุตสาหกรรมประเภทใด
2. เพราะเหตุใดจึงนิยมนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหล
3. เพราะเหตุใดจึงนิยมนำไนโตรเจนเหลวมาใช้ในการแช่แข็งเลือด



## บอลูน

บอลูนเป็นอากาศยานชนิดแรกที่สามารถนำคนขึ้นไปบนท้องฟ้าได้ บอลูนบรรจุแก๊สที่เบากว่าอากาศ ได้แก่ ไฮโดรเจน ฮีเลียม และอากาศร้อน ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศภายนอก ทำให้เกิดแรงลอยตัว ลอยสูงขึ้นจากพื้น และทำให้บอลูนเคลื่อนที่ไปตามกระแสลมได้

บอลูนอากาศร้อนเป็นการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และกฎของชาร์ลมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ โดยในบอลูนอากาศร้อนจะมีอุปกรณ์เผาไหม้อยู่บริเวณฐานของบอลูน ส่งผลให้อากาศภายในบอลูนร้อนขึ้น โมเลกุลของอากาศภายในบอลูนจึงมีพลังงานจลน์สูงขึ้น โมเลกุลจึงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

และชนกับผนังบอลูนได้บ่อยและแรงขึ้น เป็นผลให้ความดันของอากาศในบอลูนสูงขึ้น ความดันอากาศภายในบอลูนจึงมากกว่าความดันอากาศภายนอก แก๊สในบอลูนจึงขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้ความดันภายในและภายนอกบอลูนมีค่าเท่ากัน ความหนาแน่นของอากาศภายใน



▲ ภาพที่ 1.28 บอลูนเป็นอากาศยานชนิดแรกที่สามารถขึ้นไปบนท้องฟ้าได้  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

บอลูนจึงมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของอากาศภายนอกบอลูน เกิดแรงลอยตัว ทำให้บอลูนอากาศร้อนสามารถลอยอยู่บนท้องฟ้าได้

บอลูนในปัจจุบันจะให้ความร้อนแก่อากาศโดยการเผาไหม้แก๊สโพรเพน ซึ่งถูกอัดให้เป็นของเหลวบรรจุในถังที่มีน้ำหนักเบา และติดตั้งไว้ในตะกร้าของบอลูน ถ้าอากาศภายในบอลูนร้อนอยู่เสมอ บอลูนก็จะลอยสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ แต่ถ้าอากาศภายในบอลูนเย็นลง บอลูนก็จะค่อย ๆ ลอยต่ำลงสู่พื้นดินนอกจากนี้ ด้านบนของบอลูนยังมีวาล์วระบายอากาศ ซึ่งผู้บังคับบอลูนจะสามารถควบคุมปริมาณการปล่อยอากาศร้อนด้วยเชือกที่ควบคุมวาล์วระบายอากาศนี้ ทำให้บอลูนลอยต่ำลงได้



▲ ภาพที่ 1.29 บอลูนสามารถลอยอยู่ในอากาศได้โดยอาศัยหลักการตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และกฎของชาร์ล  
ที่มา : คลังภาพ อจท.

## Summary

### แก๊ส

#### สมบัติของแก๊ส

มีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน มีความหนาแน่นต่ำ และแก๊สต่างชนิดกันแพร่ได้เร็วไม่เท่ากัน

#### ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

ปริมาตร คือ ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น

ความดัน คือ แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น

อุณหภูมิ เป็นมาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน-เย็นของสาร

##### กฎของบอยล์

เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส จะได้ว่า

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

##### กฎของชาร์ล

เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยเคลวิน จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

##### กฎของเกย์-ลุสแซก

เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยเคลวิน จะได้ว่า

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

##### กฎของอาโวกาโดร

เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของแก๊ส จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

##### กฎรวมแก๊ส

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

เมื่อมวลมีค่าคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

##### กฎแก๊สอุดมคติ

เป็นการรวบรวมกฎที่เกี่ยวกับแก๊สที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PV = nRT$$

##### กฎความดันย่อยของดอลตัน

ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน จะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$P_{\text{รวม}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

## การแพร่ของแก๊ส

การแพร่ คือ กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และโมเลกุลของแก๊สมีการชนกันตลอดเวลา โดยแก๊สจะเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ

การแพร่ผ่าน คือ กระบวนการที่แก๊สภายใต้ความดันค่าหนึ่งเคลื่อนที่ออกจากภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้นผ่านรูเล็กมาก ๆ ไปสู่อีกภาชนะหนึ่ง โดยโมเลกุลไม่ชนกัน

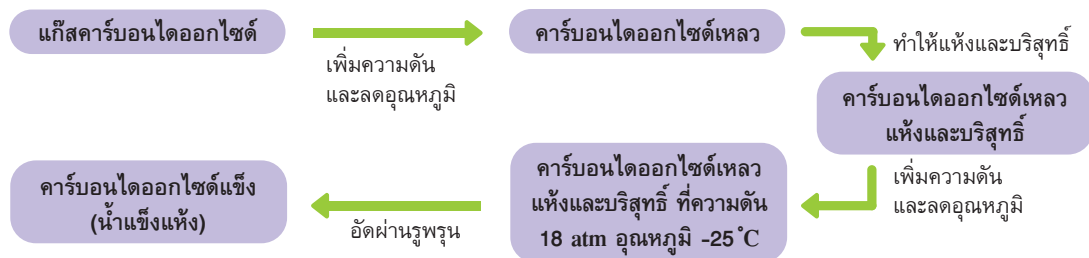
กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล หรือความหนาแน่นของแก๊ส เมื่อต้องการเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านหรือการแพร่ของแก๊สชนิดที่ 1 และ 2 ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

## เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส

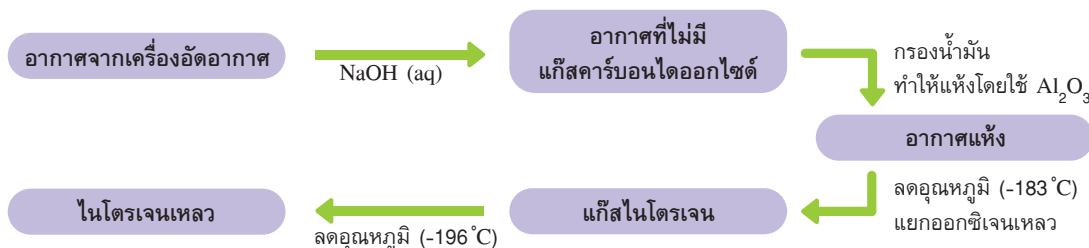
### การทำความเย็นแห้ง

- นำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาลดอุณหภูมิและเพิ่มความดัน
- น้ำแข็งแห้งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความเย็น หรืออุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ๆ



### การทำไนโตรเจนเหลว

- ดูดอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ และผ่านลงไปใน NaOH เพื่อกำจัดแก๊ส CO<sub>2</sub> จากนั้นผ่านอากาศเข้าเครื่องกรองเพื่อแยกน้ำมัน และทำให้แห้งด้วยสารดูดความชื้น แล้วลดอุณหภูมิอากาศแห้งจนแก๊สไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นของเหลวแยกตัวออกมา
- ไนโตรเจนเหลวนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความเย็น และนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์



### การสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหล

- เป็นเทคนิคการสกัดสารโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม ซึ่งไม่ใช่ความร้อนในการสกัด จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้กับสารที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน

## Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

|                                                                                                                                                                                       | ถูก/ผิด               | นบวันที่ข้อ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
| 1. ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สแต่ละโมเลกุลจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน                                                                                                          | <input type="radio"/> | 1.          |
| 2. แก๊สจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติเมื่ออุณหภูมิต่ำและความดันสูง                                                                                                             | <input type="radio"/> | 1.          |
| 3. บารอมิเตอร์และแมนอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันของแก๊ส โดยบารอมิเตอร์จะมีอยู่ 2 แบบ คือ บารอมิเตอร์ปลายเปิด และ บารอมิเตอร์ปลายปิด                                         | <input type="radio"/> | 2.          |
| 4. เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ถ้าความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น 4 เท่า ปริมาตรของแก๊สจะลดลง 4 เท่า                                                                                      | <input type="radio"/> | 2.1         |
| 5. เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สลดลง 2 เท่า ปริมาตรของแก๊สจะลดลง 1 เท่า                                                                                      | <input type="radio"/> | 2.2         |
| 6. เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ถ้าความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น $\frac{1}{2}$ เท่า อุณหภูมิของแก๊สจะเพิ่มขึ้น $\frac{1}{2}$ เท่า                                                    | <input type="radio"/> | 2.3         |
| 7. แก๊ส CO <sub>2</sub> มีมวลโมเลกุล 44 ส่วนแก๊ส NH <sub>3</sub> มีมวลโมเลกุล 17 ดังนั้น แก๊ส CO <sub>2</sub> 1 โมล จะมีปริมาตรมากกว่าแก๊ส NH <sub>3</sub> 1 โมล                      | <input type="radio"/> | 2.4         |
| 8. ถ้าแก๊ส O <sub>2</sub> มีปริมาตรเพิ่มขึ้น 2 เท่า และมีความดันลดลง $\frac{1}{2}$ เท่า แสดงว่าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น 2 เท่า                                                        | <input type="radio"/> | 2.5         |
| 9. แก๊ส Cl <sub>2</sub> 3 โมล ที่สภาวะ STP จะมีปริมาตรประมาณ 67 ลิตร                                                                                                                  | <input type="radio"/> | 2.6         |
| 10. แก๊สผสมจำนวน 152 กรัม ประกอบด้วย N <sub>2</sub> 56 กรัม ที่เหลือเป็นแก๊ส O <sub>2</sub> ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท แก๊ส O <sub>2</sub> จะมีความดันย่อยเท่ากับ 456 มิลลิเมตรปรอท | <input type="radio"/> | 2.7         |
| 11. การแพร่ คือ กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยผ่านรูเล็กมาก ๆ โดยโมเลกุลไม่ชนกัน                                                                           | <input type="radio"/> | 3.          |
| 12. แก๊ส CH <sub>4</sub> จะแพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส N <sub>2</sub>                                                                                                                         | <input type="radio"/> | 3.          |
| 13. แก๊สที่มีมวลโมเลกุลมากกว่าแก๊ส CO <sub>2</sub> 4 เท่า จะมีอัตราการแพร่ช้ากว่าแก๊ส CO <sub>2</sub> 2 เท่า                                                                          | <input type="radio"/> | 3.          |
| 14. หลักการทำความเย็นแห้ง คือ เพิ่มอุณหภูมิและลดความดันให้กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์                                                                                                     | <input type="radio"/> | 4.          |
| 15. ไนโตรเจนเหลวถูกนำมาใช้ทำหมอกควันในการแสดงบนเวที                                                                                                                                   | <input type="radio"/> | 4.          |



# Unit questions 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในถังขนาด 40 ลิตร ที่ความดัน 2 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถ้าถ่ายแก๊สนี้สู่อ่างใบใหม่ซึ่งมีปริมาตร 25 ลิตร เมื่ออุณหภูมิคงที่ ความดันในอ่างใบใหม่จะเป็นเท่าใด
2. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 79.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 45 องศาเซลเซียส แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ที่ 0 องศาเซลเซียส เมื่อความดันคงที่
3. บอลลูกหนึ่งบรรจุแก๊สไฮโดรเจนปริมาตร 1.05 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 755 มิลลิเมตรปรอท เมื่อปล่อยให้บอลลูกลอยขึ้นสู่อากาศในระดับสูง ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนจะเป็นเท่าใด ถ้าความดันในบอลลูกลดลงเป็น 625 มิลลิเมตรปรอท และถือว่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง
4. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 435 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าปริมาตรของแก๊สลดลงเป็น 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอุณหภูมิเปลี่ยนเป็น 43 องศาเซลเซียส ความดันจะมีค่าเท่าใด
5. จงคำนวณหาโมลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาตร 0.452 ลิตร ที่อุณหภูมิ 87 องศาเซลเซียส และความดัน 0.620 บรรยากาศ
6. จงคำนวณหามวลโมเลกุลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง น้ำหนัก 0.326 กรัม ซึ่งมีปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และความดัน 380 ทอร์
7. จงหาความหนาแน่นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ 740 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
8. จงหาความดันย่อยและความดันรวมของแก๊สฟลูออรีน ( $F_2$ ) 10 กรัม กับแก๊สโบรมีน ( $Br_2$ ) 20 กรัม บรรจุรวมกันในภาชนะปริมาตร 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
9. จงคำนวณหาสัดส่วนระหว่างอัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส Ne และอัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส  $NH_3$
10. ถ้าอัตราการแพร่ของแก๊ส X เป็น 1 ใน 4 ของแก๊ส  $C_2H_2$  ภายใต้ภาวะเดียวกัน มวลโมเลกุลของแก๊สเป็นเท่าใด



# แนวข้อสอบ A-Level

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สชนิดหนึ่งมีความดัน x บรรยากาศ ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สมีปริมาตรลดลงเป็น 2 เท่าของปริมาตรเดิม แก๊สนี้จะมีความดันเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิมกี่บรรยากาศ
  1. แก๊สมีความดันลดลงจากเดิม  $\frac{x}{2}$  บรรยากาศ
  2. แก๊สมีความดันลดลงจากเดิม x บรรยากาศ
  3. แก๊สมีความดันเพิ่มขึ้นจากเดิม  $\frac{x}{2}$  บรรยากาศ
  4. แก๊สมีความดันเพิ่มขึ้นจากเดิม x บรรยากาศ
  5. แก๊สมีความดันเพิ่มขึ้นจากเดิม 2x บรรยากาศ
2. บรรจุแก๊ส A 10 ลิตร ที่ความดัน 50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ลงในถังที่ทนความดันได้ 70 บรรยากาศ และบรรจุแก๊ส B 20 ลิตร ที่ความดัน 50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ลงในถังที่ทนความดันได้ 80 บรรยากาศ ตามลำดับ พิจารณาข้อความที่กำหนดให้
  - ก. หากเก็บถังแก๊ส A ไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศา ถึงแก๊ส A จะไม่ระเบิด
  - ข. หากเก็บถังแก๊ส B ไว้ที่อุณหภูมิ 70 องศา ถึงแก๊ส B จะไม่ระเบิด
  - ค. หากเก็บถังแก๊ส A และ B ไว้ที่อุณหภูมิ 100 องศา ถึงแก๊ส A และ B จะระเบิด
 ข้อใดกล่าวถูกต้อง
  1. ข้อ ก. เท่านั้น
  2. ข้อ ค. เท่านั้น
  3. ข้อ ก. และ ข.
  4. ข้อ ข. และ ค.
  5. ถูกต้องทุกข้อ
3. แก๊สไนโตรเจนปริมาตร 0.5 โมล ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ความดัน 3 บรรยากาศ มีความหนาแน่นประมาณเท่าใด
  1. 3 กรัมต่อลิตร
  2. 4 กรัมต่อลิตร
  3. 5 กรัมต่อลิตร
  4. 6 กรัมต่อลิตร
  5. 7 กรัมต่อลิตร

