

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

เนื่องจากโรงเรียนสาธิต(ศึกษาศาสตร์)มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นส่วนหนึ่งของ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำหน้าที่เปรียบเสมือนห้องทดลองของ คณะศึกษาศาสตร์ มีจำนวนนักเรียนสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ 2 ห้องเรียน ผู้วิจัยในฐานะ อาจารย์ผู้สอนวิชาเคมีโรงเรียนดังกล่าว ต้องการที่จะพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามเจตนารมณ์ของการตั้งโรงเรียนสาธิต เพื่อเป็นแหล่งการทำวิจัยของอาจารย์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงใช้นักเรียนโรงเรียนสาธิต(ศึกษาศาสตร์)จำนวน 2 ห้องเรียนนี้ ดังนั้นระเบียบวิธีวิจัยจึงเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ชนิดกึ่งทดลอง(Quasi Experimental Designs) ใช้รูปแบบ Nonrandomized Control Group Pretest Posttest Design (สมหวัง พริยานุวัฒน์ ,อึ้งโน ไพบูลย์ สันลาร์จน์ และสำลี ทองทิว, 2527)

$$O_1 \quad X \quad O_2$$
$$O_1 \quad O_2$$

O_1 หมายถึง การทดสอบก่อนทดลอง

O_2 หมายถึง การทดสอบหลังทดลอง

X หมายถึงการสอนด้วยรูปแบบเอสเอสซีเอส

3.2 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสาธิต(คณะศึกษาศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เรียนวิชาเคมี เรื่องก๊าซ ตั้งแต่รุ่น ปีการศึกษา 2534

3.3 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสาธิต(คณะศึกษาศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เรียนวิชาเคมี เรื่องก๊าซ ภาคเรียนที่ 2 รุ่น

ปีการศึกษา 2538 จำนวน 95 คน จากสองห้องเรียน ได้จากการสุ่มห้องเรียนแต่ละห้องเข้าเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการจับสลาก เนื่องจากการจัดนักเรียนเข้าแต่ละห้องเรียนนั้นทางโรงเรียนได้ใช้วิธีการสุ่มนักเรียนเข้าแต่ละห้อง โดยไม่ได้พิจารณาความสามารถของนักเรียนแต่ละคน นักเรียนแต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติส่วนตัว ตามที่ทางโรงเรียนได้มีการบันทึกข้อมูลไว้ ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มควบคุม

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
1	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
2	ชาย	16	2	รับราชการ	รับราชการ
3	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
4	ชาย	16	2	รับราชการ	รับราชการ
5	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
6	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
7	ชาย	16	4	รับราชการ	รับราชการ
8	หญิง	16	2	รับราชการ	รับราชการ
9	หญิง	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
10	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
11	หญิง	15	2	ค้าขาย	ค้าขาย
12	หญิง	16	3	รับราชการ	รับราชการ
13	หญิง	16	2	รับราชการ	รับราชการ
14	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
15	หญิง	16	3	รับราชการ	ค้าขาย
16	หญิง	15	3	รับราชการ	รับราชการ
17	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
18	ชาย	15	1	รับราชการ	รับราชการ
19	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
20	หญิง	15	3	รับราชการ	รับราชการ

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มควบคุม (ต่อ)

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
21	ชาย	16	2	รับราชการ	รับราชการ
22	หญิง	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
23	หญิง	15	2	ค้าขาย	รับราชการ
24	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
25	หญิง	15	1	รับราชการ	รับราชการ
26	ชาย	16	2	รับราชการ	รับราชการ
27	ชาย	15	1	ค้าขาย	ค้าขาย
28	ชาย	16	4	รับราชการ	รับราชการ
29	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
30	หญิง	16	4	รับราชการ	รับราชการ
31	ชาย	15	1	ค้าขาย	ค้าขาย
32	หญิง	16	2	ค้าขาย	รับราชการ
33	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
34	หญิง	16	1	ค้าขาย	ค้าขาย
35	หญิง	15	3	ค้าขาย	รับราชการ
36	หญิง	15	2	รับราชการ	รับราชการ
37	หญิง	16	2	รับราชการ	รับราชการ
38	ชาย	16	4	รับราชการ	รับราชการ
39	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
40	ชาย	15	1	รับราชการ	รับราชการ
41	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
42	หญิง	16	2	รับราชการ	รับราชการ
43	ชาย	15	2	ค้าขาย	ค้าขาย
44	ชาย	15	2	ค้าขาย	ค้าขาย
45	หญิง	15	4	รับราชการ	รับราชการ

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มควบคุม (ต่อ)

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
46	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
47	หญิง	16	4	รับราชการ	รับราชการ
48	หญิง	16	3	รับราชการ	รับราชการ
49	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
50	ชาย	15	1	รับราชการ	รับราชการ
เฉลี่ย		15.52	2.22		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.50	0.89		

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มทดลอง

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
1	หญิง	15	3	รับราชการ	รับราชการ
2	หญิง	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
3	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
4	ชาย	16	4	ค้าขาย	ค้าขาย
5	หญิง	13	2	ค้าขาย	ค้าขาย
6	หญิง	16	3	รับราชการ	รับราชการ
7	ชาย	15	1	ค้าขาย	รับราชการ
8	ชาย	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
9	ชาย	15	1	ค้าขาย	ค้าขาย
10	ชาย	15	3	รับราชการ	รับราชการ
11	ชาย	14	4	ค้าขาย	ค้าขาย
12	หญิง	16	4	พนักงานธนาคาร	รับราชการ
13	ชาย	16	1	รับราชการ	แม่บ้าน

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มทดลอง (ต่อ)

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
14	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
15	หญิง	16	3	รับราชการ	รับราชการ
16	ชาย	16	3	รับราชการ	ค้าขาย
17	หญิง	16	3	รับราชการ	รับราชการ
18	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
19	หญิง	16	4	รับราชการ	รับราชการ
20	ชาย	15	2	ค้าขาย	ค้าขาย
21	หญิง	16	4	รับราชการ	รับราชการ
22	หญิง	15	1	รับราชการ	พนักงานธนาคาร
23	หญิง	15	1	รับราชการ	รับราชการ
24	ชาย	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
25	ชาย	15	4	รับราชการ	รับราชการ
26	หญิง	15	3	พนักงานธนาคาร	พนักงานธนาคาร
27	ชาย	15	4	รับราชการ	รับราชการ
28	หญิง	15	3	ค้าขาย	ค้าขาย
29	ชาย	15	3	รับราชการ	รับราชการ
30	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
31	ชาย	15	4	ค้าขาย	ค้าขาย
32	ชาย	15	1	รับราชการ	ค้าขาย
33	ชาย	15	4	ค้าขาย	แม่บ้าน
34	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
35	หญิง	16	3	ค้าขาย	ค้าขาย
36	ชาย	15	4	รับราชการ	รับราชการ
37	ชาย	16	1	รับราชการ	รับราชการ
38	ชาย	16	1	ค้าขาย	ค้าขาย

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติส่วนตัวของนักเรียนในกลุ่มทดลอง (ต่อ)

คนที่	เพศ	อายุ (ปี)	ระดับคะแนนวิชาเคมี ของภาคที่ผ่านมา	อาชีพบิดา	อาชีพมารดา
39	หญิง	15	4	ค้าขาย	รับราชการ
40	ชาย	16	3	รับราชการ	ค้าขาย
41	ชาย	15	2	ค้าขาย	พนักงานธนาคาร
42	หญิง	15	2	รับราชการ	แม่บ้าน
43	ชาย	15	2	รับราชการ	รับราชการ
44	หญิง	15	2	ค้าขาย	ค้าขาย
45	ชาย	16	2	ค้าขาย	ค้าขาย
เฉลี่ย		15.40	2.55		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.65	1.12		

หมายเหตุ : 1. จำแนก อายุ ระดับคะแนนวิชาเคมีของภาคเรียนที่ผ่านมา และเพศ ได้ดังนี้

กลุ่ม	อายุ (ปี)		ระดับคะแนนที่ผ่านมา		เพศ (คน)		
	$\bar{X}$	S.D	$\bar{X}$	S.D	ชาย , %	หญิง , %	รวม
ทดลอง	15.40	0.65	2.55	1.12	28 , 62.22	17 , 37.78	45
ควบคุม	15.52	0.50	2.22	0.89	24 , 48.00	26 , 52.00	50
รวม					52	43	95

2. จำแนก อาชีพของบิดา มารดา ได้ดังนี้

	กลุ่มควบคุม		กลุ่มทดลอง				
อาชีพ	รับราชการ	ค้าขาย	รับราชการ	ค้าขาย	แม่บ้าน	พนักงานธนาคาร	รวม(คน)
บิดา	35 คน (70.00%)	15 คน (30.00%)	24 คน (53.33%)	19 คน (42.22%)	-	2 คน (4.45%)	95
มารดา	37 คน (74.00%)	13 คน (26.00%)	21 คน (46.66%)	18 คน (40.00%)	3 คน (6.67%)	3 คน (6.67%)	95
รวม(คน)	72	28	45	37	3	5	190

3.4 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

- 1) ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือวิธีสอนมี 2 วิธี ได้แก่
 - 1.1) การสอนโดยใช้รูปแบบการสอนเอสเอสซีเอส
 - 1.2) การสอนปกติ ตามคู่มือครู
- 2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน วิชาเคมี เรื่องก๊าซ

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นวิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องก๊าซ เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 35 ข้อ ผู้วิจัยสร้างเอง คะแนนเต็ม 35 คะแนน แยกรายละเอียดตามเนื้อหาและพฤติกรรม ได้ดังตารางที่ 13 (ในภาคผนวก ก.)

3.6 การสร้างและการหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

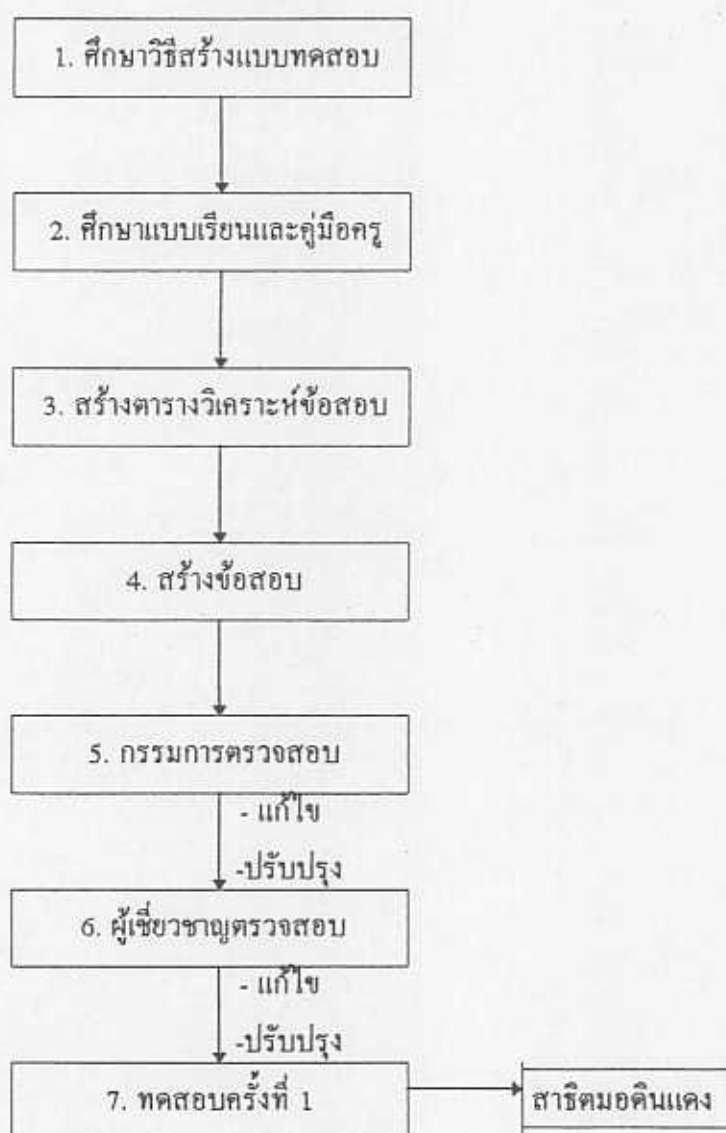
นักเรียนที่ใช้ทดลองหาประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแผนการสอน มีลักษณะใกล้เคียงกับประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งในด้านเพศ อายุ สถานภาพทางสังคม เศรษฐกิจ และการจัดการเรียนการสอน ได้แก่ นักเรียนโรงเรียนสาริด(มอหินแดง) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- 1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีขั้นตอนการสร้างดังนี้
 - 1.1) ศึกษาวิธีสร้างแบบทดสอบจากทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
 - 1.2) ศึกษาแบบเรียนและคู่มือครูวิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องก๊าซ ในด้านนิมิตหลักการ จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม และเนื้อหา เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างตารางวิเคราะห์ข้อสอบ
 - 1.3) นำผลจากตารางวิเคราะห์ข้อสอบ มาสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - 1.4) นำแบบทดสอบที่สร้างไปใช้ทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2538 โรงเรียนสาริดมอหินแดง มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งผ่านการเรียนวิชาเคมีเรื่องก๊าซมาแล้วจำนวน 87 คน
 - 1.5) นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์เป็นรายข้อเพื่อหาระดับของความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) โดยใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป LAP Version 3.01 ที่พัฒนาโดย ผศ.ไพศาล สุวรรณน้อย และ อ.สมพงษ์ พันธุ์รัตน์ ได้ค่าความยากง่าย (p) 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) 0.20 ถึง 0.74 (ดูสูตรในภาคผนวก ง.)

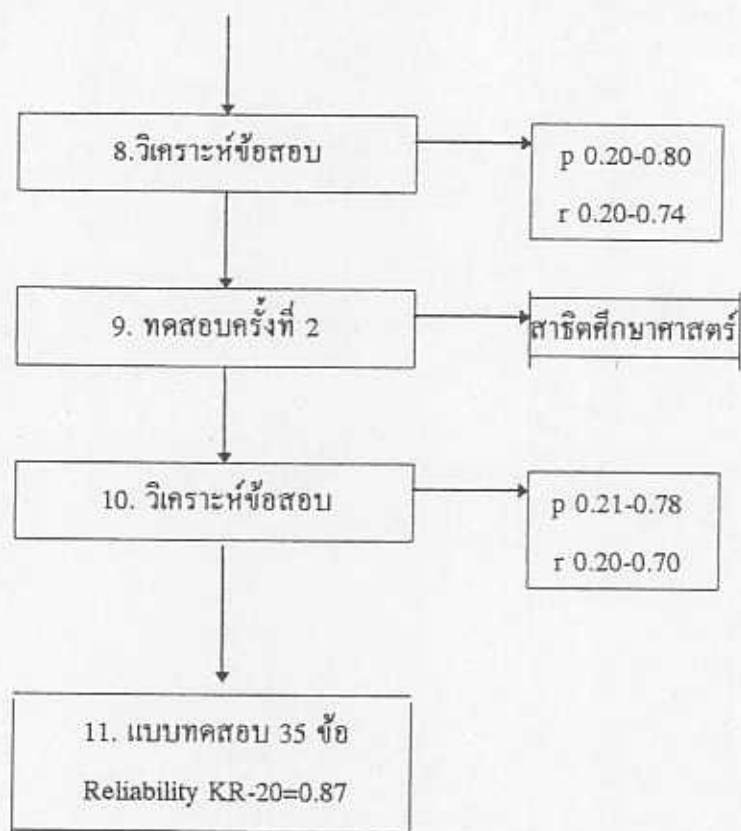
1.6) นำข้อสอบที่ได้ไปทดลองใช้ครั้งที่ 2 กับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสาธิต คณะศึกษาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2538 ที่ผ่านการเรียนวิชาเคมีเรื่องก๊าซ มาแล้ว จำนวน 78 คนเพื่อหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) อีกครั้ง แล้ววิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับโดยใช้ไมโคร คอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป IAP Version 3.01 ที่พัฒนาโดย ผศ.ไพศาล สุวรรณน้อย และ อ.สมพงษ์ พันธุ์รัตน์ ได้ค่าความยากง่าย(P) 0.21 ถึง 0.78 ค่าอำนาจจำแนก(r) 0.20 ถึง 0.70 และค่าความเชื่อมั่น(Reliability)ตามสูตร

Kuder-Richardson Formula 20 (KR-20) ได้เท่ากับ 0.87 (ดูสูตรในภาคผนวก ง.)

ขั้นตอนการสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสรุปได้ดังรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน



รูปภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ต่อ)

2) แผนการสอน ศึกษาแบบเรียนและคู่มือการสอนวิชาเคมีชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องก๊าซ ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2533) ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) โดยศึกษามโนคติ หลักการ จุดประสงค์ และเนื้อหา ให้เข้าใจ ชัดเจน เพื่อใช้ในการสร้างแผนการสอนต่อไป (รายละเอียดในภาคผนวก) แผนการสอนที่ได้ มีทั้งหมดจำนวน 8 แผน แยกรายละเอียดของเนื้อหาและเวลาที่ใช้ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงแผนการสอน หัวข้อที่สอน และเวลาที่ใช้สอน

แผนการสอน	หัวข้อ	การทดลอง	เวลา(คาบ)
1	สถานะของสาร	-	1
2	กฎของบอยล์	หาความสัมพันธ์ของความดันกับปริมาตร	1
3	กฎของชาร์ล	หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับปริมาตร	1
4	กฎของเกย์ลูสแซก	หาความสัมพันธ์ของความดันกับอุณหภูมิ	1
5	กฎรวมก๊าซ	-	1
6	กฎของอาโวกาโดร และกฎของก๊าซสมมติ	-	2
7	กฎการแพร่ของก๊าซ	หาความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กระจายกับอัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ	1
8	ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ	-	1

2.1) แผนการสอนกลุ่มทดลอง

ก. คำเนินการเขียนแผนการสอนสำหรับกลุ่มทดลองจำนวน 8 แผนโดยใช้รูปแบบการสอน เอสเอสซีเอส ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

- การค้นหาปัญหา การจำแนกสาเหตุของปัญหา
- การแก้ปัญา การหาคำตอบของปัญหา
- การสร้างหรือการจัดกระทำคำตอบที่ได้ให้อยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายและสื่อสารได้ง่าย
- การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับคำตอบ ที่ได้มาระหว่างนักเรียนกับนักเรียน หรือนักเรียนกับครู

ข. นำแผนการสอนที่สร้างขึ้นไปให้กรรมการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการสอน แล้วนำไปปรับปรุงแก้ไขและให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา

ค. นำมาปรับปรุงแก้ไขในด้าน - การใช้ภาษาให้ถูกต้อง

- ใช้คำถามให้สอดคล้องกับลำดับของเนื้อหา

- ใช้คำถามหรือจัดกิจกรรมให้ครอบคลุมเนื้อหา

ก่อนนำไปทดลองใช้

ง. นำแผนการสอนไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2538 โรงเรียนสารธมคินแดง มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวน 1 ห้องเรียน ปรับปรุงแก้ไขในด้าน

- เทคนิคในการดำเนินการสอน

- เวลาที่ใช้ในการสอน

- การเตรียมการสอน

2.2) แผนการสอนที่ใช้กับกลุ่มควบคุม

ดำเนินการสอนตามคู่มือครู วิชาเคมี ว 031 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ก๊าซ หลักสูตร มัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2533) ของสถาบันส่งเสริม การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบกิจกรรมการเรียนการสอนของรูปแบบการสอนเอสเอสซีเอส และการสอนปกติตามคู่มือครู

กิจกรรมการเรียนการสอน	การสอนเอสเอสซีเอส	การสอนปกติตามคู่มือครู
ขั้นนำ	ครูใช้คำถามทบทวนความรู้เดิม เพื่อนำเข้าสู่บทเรียน	ครูใช้คำถามทบทวนความรู้เดิม เพื่อนำเข้าสู่บทเรียน
ขั้นสอน	1. SEARCH 2. SOLVE 3. CREATE 4. SHARE	1. การอภิปรายก่อนทดลอง 2. การทดลอง 3. การอภิปรายหลังทดลอง เพื่อสรุปผล
ขั้นสรุป	นักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียน โดยครูใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การสรุป	นักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียน โดยครูใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การสรุป

ตัวอย่างแผนการสอนตามรูปแบบแอสอดซีเอส และตามคู่มือครูของ สสวท.

แผนการสอนที่ 3

เรื่อง กฎของชาร์ล (Charles law)

ภาพที่ 3

มโนคติ ที่ความดันและมวลของก๊าซคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาตรของก๊าซได้
2. บอกความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซเมื่อมวลและความดันคงที่ได้

เนื้อหา

ในปี ค.ศ. 1787 Jacques Alexander Cesar Charles ได้ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลปริมาตรของก๊าซ เมื่อให้ก๊าซมีความดันและอุณหภูมิคงที่ผลของการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มขึ้น $\frac{1}{273}$ เท่าของปริมาตรเดิมที่ 0°C เมื่อความดันคงที่ เช่น ถ้าให้ก๊าซมีปริมาตร 273 cm^3 ที่ 0°C เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่ม $\frac{1}{273}$ ของ 273 cm^3 คือ 1 cm^3 ก๊าซจะมีปริมาตร 274 cm^3 และถ้าให้อุณหภูมิลดลง 1°C ก๊าซก็จะมีปริมาตร 272 cm^3

ให้ V เป็นปริมาตรของก๊าซที่อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$

V_0 เป็นปริมาตรของก๊าซที่อุณหภูมิ 0°C

$$\begin{aligned}\therefore V &= V_0 + \left(\frac{1}{273} \right) t V_0 \\ &= V_0 \left[1 + \left(\frac{t}{273} \right) \right] \\ &= V_0 \left(\frac{273+t}{273} \right)\end{aligned}$$

ในการคำนวณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซ อุณหภูมิที่ใช้ต้องเป็นอุณหภูมิเคลวิน (Kelvin) เสมอ

โดยอุณหภูมิเคลวิน (K) = $273 +$ อุณหภูมิองศาเซลเซียส

$$T (K) = 273 + t$$

$$\begin{aligned}\text{ฉะนั้น} \quad V &= V_0 \left(\frac{T}{273} \right) \\ &= \left(\frac{V_0}{273} \right) T \\ &= KT \quad \text{เมื่อ } K = \left(\frac{V_0}{273} \right) \text{ ซึ่งเป็นค่าคงที่}\end{aligned}$$

$$\therefore V \propto T \quad \text{เมื่อความดันคงที่}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad \frac{V}{T} &= K\end{aligned}$$

เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตร หรืออุณหภูมิของก๊าซจะเขียนความสัมพันธ์ปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซได้ดังนี้

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \frac{V_N}{T_N} = K$$

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นนำ

ครูใช้คำถามเพื่อทบทวนความรู้เดิมเรื่องกฎของบอยล์ และตั้งคำถามนำเพื่อให้นักเรียนได้เห็นว่าปริมาตรของก๊าซสัมพันธ์กับอุณหภูมิหรือไม่ อย่างไร ดังต่อไปนี้

- ถ้าเพิ่มความดันให้กับก๊าซ ปริมาตรของก๊าซจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

ตอบ เปลี่ยนแปลงโดยปริมาตรลดลง

- ความดันกับปริมาตรของก๊าซมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ตอบ สัมพันธ์กันแบบแปรผกผัน

- ถ้าเมื่อให้ความดันของก๊าซคงที่บ้าง นักเรียนคิดว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาตรของก๊าซหรือไม่ อย่างไร ?

ขั้นตอนตามรูปแบบการสอนเอสเอสซีเอส

1. SEARCH

1. ครูนำน้ำใส่ในบีกเกอร์ 1 ใบ ให้นักเรียนช่วยกันบอกระดับความร้อนของน้ำขณะนั้น (ระดมสมอง, อธิบาย)

2. ครูใช้คำถามกับนักเรียนดังต่อไปนี้

- การบอกระดับของความร้อนที่ถูกต้องนักเรียนทราบได้จากอะไร

ตอบ อุณหภูมิ

- หน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันที่นักเรียนรู้จักมีอะไรบ้าง ต่างกันอย่างไร (จำแนก)

ตอบ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$), เคลวิน (K) องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) โดยที่ $273\text{K} = 0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$

3. ครูให้ความรู้กับนักเรียนดังนี้

- อุณหภูมิเคลวิน (K) = $273 + \text{อุณหภูมิองศาเซลเซียส } (^{\circ}\text{C})$

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

4. ครูให้โอกาสนักเรียนที่มีข้อสงสัย หรือไม่เข้าใจถาม (การตั้งคำถาม) แล้วครูถามนักเรียนต่อไปนี้

- นักเรียนคิดว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซหรือไม่ อย่างไร ?

(คาดคะเน, ตั้งสมมติฐาน)

ตอบ โดย

- 1.) เพิ่มอุณหภูมิทำให้ปริมาตรของก๊าซเพิ่ม (สมมติฐานที่ 1)

- 2.) เพิ่มอุณหภูมิทำให้ปริมาตรของก๊าซลด (สมมติฐานที่ 2)

5. ครูกำหนดหลอดนํ้าร้อน นํ้าเย็น ลูกโป่ง ขางรัดลูกโป่ง ขวดเปล่า เป็นอุปกรณ์
ให้กับนักเรียน ตามนักเรียนต่อไปนี้

- อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดให้นักเรียนคิดว่าจะใช้แทนตัวแปรใดได้บ้าง (เปรียบเทียบ,
เชื่อมโยง)

ตอบ นํ้าร้อนใช้แทนอุณหภูมิสูง
 นํ้าเย็นใช้แทนอุณหภูมิต่ำ
 หลอดนํ้าเย็นใช้บอกปริมาตรก๊าซ
 ลูกโป่งใช้บอกปริมาตรก๊าซ
 ขวดใช้เป็นภาชนะบรรจุก๊าซ

2. SOLVE

1. นักเรียนออกแบบการแก้ปัญหา และวางแผนตามที่นักเรียนคิดได้เอง (การตัดสินใจ,
การออกแบบ, การประยุกต์)

2. นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาตามแนวทางที่นักเรียนได้ออกแบบ และวางแผนไว้
(การทดสอบ)

3. วิธีที่ครูคิดว่านักเรียนจะใช้ในการแก้ปัญหาคือ

- 1.) คึงก้านหลอดนํ้าเย็นออกให้อ่านค่าปริมาตรได้ค่าหนึ่ง
- 2.) ดูคําน้ำเข้าในหลอดนํ้าเย็นจำนวนหนึ่ง
- 3.) นํ้าหลอดนํ้าเย็นไปแช่นํ้าร้อนสังเกตการไหลของนํ้าที่อยู่ในหลอดนํ้าเย็นแล้ว

บันทึกผล

4.) ยกหลอดนํ้าเย็นออกจากนํ้าร้อนไปแช่นํ้าเย็น สังเกตการไหลของนํ้าที่อยู่ในหลอด
นํ้าเย็นแล้วบันทึกผล

3. CREATE

1. ครูให้นักเรียนแสดงผลการทดลองเป็นตาราง ดังตารางต่อไปนี้ (แสดงผล)

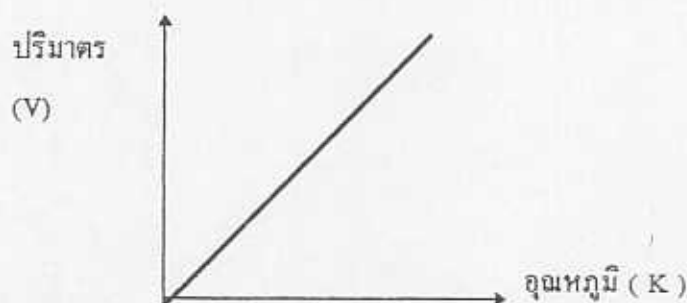
การทดลอง	ลักษณะการไหลของนํ้าในหลอด
แช่นํ้าร้อน	
แช่นํ้าเย็น	

2. นักเรียนอภิปรายผลการทดลองที่ได้ และสรุปเป็นคำตอบที่ได้ (ขยายความ, ทำให้
สมบูรณ์, การยอมรับ)

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาตรของก๊าซในหลอดเพิ่มขึ้นจึงคํานํ้าให้ไหลออกมา

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาตรของก๊าซในหลอดเพิ่มขึ้นจึงดันน้ำให้ไหลออกมา
- เมื่ออุณหภูมิต่ำลงปริมาตรของก๊าซในหลอดลดลงทำให้น้ำภายนอกไหลเข้าในหลอด

3. ครูให้นักเรียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับปริมาตรของก๊าซจากข้อสรุปที่ได้ในรูปกราฟ (สื่อสาร, แสดงผล, ส่งเสริม)



4. ครูถามนักเรียนดังต่อไปนี้

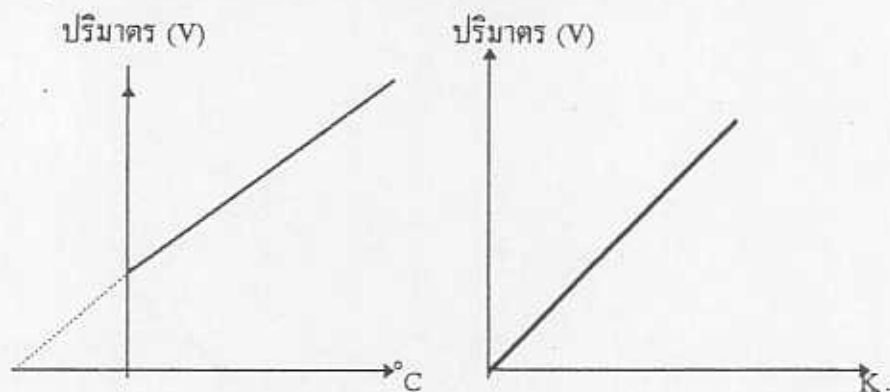
- จากกราฟ อุณหภูมิและปริมาตรของก๊าซ สัมพันธ์กันอย่างไร (การแสดงผล)

ตอบ แปรผันตรง โดยที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มตาม ถ้าอุณหภูมิลด ปริมาตรของก๊าซก็จะลดลงไปด้วย

- นักเรียนจะสรุปผลการทดลองได้อย่างไร (การยอมรับ)

ตอบ เมื่อมวลและความดันของก๊าซคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ

5. ครูให้ความรู้กับนักเรียน จากการทดลองของชาร์ล จะแสดงความสัมพันธ์ของปริมาตรกับอุณหภูมิในหน่วยของสเกลเซียสและเคลวินได้ดังกราฟต่อไปนี้



6. ครูถามนักเรียนเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

- จากการทดลองของชาร์ล เมื่อลดอุณหภูมิลงจนปริมาตรของก๊าซเป็นศูนย์ อุณหภูมิ $^{\circ}\text{C}$ และ K มีค่าเท่าใด

ตอบ -273°C หรือ 0 K

- จะต้องเพิ่มอุณหภูมิในหน่วยใดเป็นสองเท่า ปริมาตรของก๊าซจึงจะเพิ่มเป็นสองเท่าด้วย

ตอบ เคลวิน

7. ครูกำหนดให้ V แทนปริมาตรของก๊าซ

T แทนอุณหภูมิเคลวิน

- นักเรียนจะเขียนความสัมพันธ์ของปริมาตรกับอุณหภูมิได้ว่า อย่างไร

(สื่อสาร, ส่งเสริม)

ตอบ $V \propto T$ หรือ $V = KT$ เมื่อ K เป็นค่าคงที่

$$\text{หรือ } \frac{V}{T} = K$$

- การเปลี่ยนปริมาตรของก๊าซที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งให้ความดันของก๊าซคงที่

จะแสดงความสัมพันธ์ได้อย่างไร ? (ส่งเสริม, สื่อสาร)

$$\text{ตอบ } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \frac{V_N}{T_N} = K$$

4. SHARE

1. ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มมารายงานผลที่ได้ให้นักเรียนคนอื่น ๆ ฟัง (การรายงานผล)

- อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซ
- ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับก๊าซปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มขึ้น
- ถ้าลดอุณหภูมิปริมาตรของก๊าซจะลดลง

2. ครูให้ออกาสนักเรียนร่วมกันอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับคำตอบที่ได้ (การใช้คำบรรยาย, ใช้คำถาม, การวิจารณ์)

3. ครูให้ออกาสนักเรียนที่มีข้อสงสัย หรือไม่เข้าใจได้ถาม (การใช้คำถาม)

- ครูยกตัวอย่าง พร้อมอธิบายวิธีทำ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 กฎของชาร์ล กล่าวอย่างไร ? ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซในหน่วยองศาเซลเซียสขึ้นเป็นสองเท่าของอุณหภูมิเดิมปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปริมาตรเดิมหรือไม่เพราะเหตุใด ?

ตอบ กฎของชาร์ลกล่าวว่า “เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน” ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซในหน่วยองศาเซลเซียสเป็นสองเท่าของอุณหภูมิเดิม ปริมาตรของก๊าซจะไม่เพิ่มเป็นสองเท่าด้วย เพราะจากกฎของชาร์ล ปริมาตรของก๊าซไม่ได้แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 2 ก๊าซฮีเลียมบรรจุอยู่ในลูกโป่งลูกหนึ่งมีปริมาตร 10 ลิตรที่ 0°C เมื่อเผาให้ร้อนขึ้นจนถึง 200°C โดยความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซฮีเลียมจะเป็นเท่าใด ?

วิธีทำ

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{โดยที่} \quad \begin{aligned} V_1 &= 10 \text{ ลิตร} \\ T_1 &= 0^\circ\text{C} \\ V_2 &= ? \end{aligned}$$

$$T_2 = 200^\circ\text{C}$$

$$\text{จาก } T = 273 + t$$

$$\therefore T_1 = 273 + 0 = 273 \text{ K}$$

$$\text{และ } T_2 = 273 + 200 = 473 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad \frac{10 \text{ ลิตร}}{273 \text{ K}} &= \frac{V_2}{473 \text{ K}} \\ V_2 &= \frac{10 \text{ ลิตร} \times 473}{273} \\ &= 17.3 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ตอบ ปริมาตรก๊าซฮีเลียมที่อุณหภูมิ 200°C มีเท่ากับ 17.3 ลิตร

ขั้นตอนตามคู่มือครูของ สสวท.

- ครูนำอภิปรายให้นักเรียนได้ทราบว่า เมื่อความดันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาตรของก๊าซ และครูถามนักเรียนว่า จะมีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่มีผลต่อปริมาตรของก๊าซ
- นักเรียนคิดว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรของการหรือไม่
- ครูให้นักเรียนศึกษาวิธีทำการทดลองที่ 4.1 ตอนที่ 2 ในหนังสือเรียน
การอภิปรายก่อนการทดลอง
 - ครูแนะนำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซจากระดับน้ำในกระบอกนํ้าว่า ถ้าระดับน้ำลดลง แสดงว่าปริมาตรของก๊าซในกระบอกนํ้าเพิ่มขึ้น ถ้าระดับน้ำเพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาตรของก๊าซในกระบอกนํ้าลดลง
 - ครูแนะนำการจุ่มกระบอกนํ้าลงในน้ำร้อนและน้ำเย็น เพื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของก๊าซ ต้องให้ส่วนที่บรรจุก๊าซอยู่ใต้ระดับน้ำ
 - ครูบอกจุดประสงค์ของการทดลองว่า เมื่อทำการทดลองแล้ว นักเรียนจะต้องสามารถ
 - ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาตรของก๊าซของก๊าซได้
 - บอกผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาตรของก๊าซ เมื่อผลและความดันคงที่ได้

การทดลอง

ครูให้นักเรียนทำการทดลองและบันทึกผล ตามขั้นตอนการทดลองที่มีในหนังสือเรียน
การอภิปรายหลังการทดลอง

1. ครูใช้คำถามต่อไปนี้ เพื่อนำไปสู่การสรุปผลการทดลอง

- จากการทดลองนักเรียนคิดว่า ความดันของอากาศในหลอดนํ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

ตอบ ไม่เปลี่ยน เพราะความดันของอากาศในหลอดนํ้าจะคงที่ตลอด เท่ากับความดันของบรรยากาศ

- นักเรียนคิดว่ามวลของอากาศในหลอดนํ้า มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

ตอบ ไม่เปลี่ยนแปลง มวลของอากาศจะคงที่ตลอด เพราะปริมาณของอากาศไม่เปลี่ยนแปลง

- จากการทดลอง อุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรก๊าซหรือไม่ อย่างไร

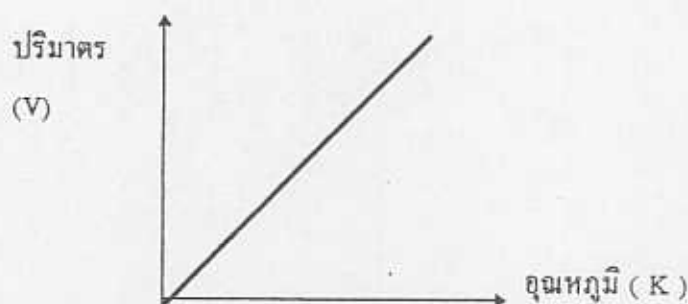
ตอบ มีผล โดยที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่ม

ถ้าลดอุณหภูมิ ปริมาตรของก๊าซจะลด

- นักเรียนคิดว่าอุณหภูมิและปริมาตรของก๊าซ มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ตอบ แปรผันโดยตรงระหว่างกัน

2. ครูให้นักเรียนเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิ



3. ครูอภิปรายนำให้นักเรียนได้เรียนได้ทราบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรดังที่ได้จากการทดลองนี้ เรียกว่า กฎของชาร์ล (Charles's law) ซึ่งกล่าวว่า “เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์”

กำหนดให้ T แทนอุณหภูมิสัมบูรณ์

จะได้ $V \propto T$ เมื่อมวลและความดันของก๊าซคงที่

หรือ $V = KT$ เมื่อ K เป็นค่าคงที่

- ครูยกตัวอย่าง พร้ออธิบายวิธีทำ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 กฎของชาร์ล กล่าวอย่างไร ? ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซในหน่วยองศาเซลเซียสขึ้นเป็นสองเท่าของอุณหภูมิเดิม ปริมาตรของก๊าซจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปริมาตรเดิมหรือไม่เพราะเหตุใด ?

ตอบ กฎของชาร์ลกล่าวว่า “เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน” ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซในหน่วยองศาเซลเซียสเป็นสองเท่าของอุณหภูมิเดิม ปริมาตรของก๊าซจะไม่เพิ่มเป็นสองเท่าด้วย เพราะจากกฎของชาร์ล ปริมาตรของก๊าซไม่ได้แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิองศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 2 ก๊าซฮีเลียมบรรจุอยู่ในลูกโป่งลูกหนึ่งมีปริมาตร 10 ลิตรที่ 0°C เมื่อเผาให้ร้อนขึ้นจนถึง 200°C โดยความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซฮีเลียมจะเป็นเท่าใด ?

วิธีทำ จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{โดยที่} \quad V_1 = 10 \text{ ลิตร}$$

$$T_1 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$V_2 = ?$$

$$T_2 = 200^{\circ}\text{C}$$

$$\text{จาก} \quad T = 273 + t$$

$$\therefore T_1 = 273 + 0 = 273 \text{ K}$$

$$\text{และ} \quad T_2 = 273 + 200 = 473 \text{ K}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{10 \text{ ลิตร}}{273 \text{ K}} = \frac{V_2}{473 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{10 \text{ ลิตร} \times 473}{273} = 17.3 \text{ ลิตร}$$

ตอบ ปริมาตรก๊าซฮีเลียมที่อุณหภูมิ 200°C มีเท่ากับ 17.3 ลิตร

ขั้นสรุป

นักเรียนร่วมกันสรุปความสัมพันธ์ของปริมาตรกับอุณหภูมิของชาร์ลพร้อมสูตรที่ใช้ ดังนี้ เมื่อมวลและความดันของก๊าซคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{V}{T} = K$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรก๊าซ

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

K คือ ค่าคงที่

3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเวลา วันที่ 29 มกราคม ถึง 8 มีนาคม 2539 มีรายละเอียดดังนี้

1) ทดสอบก่อนเรียนทั้ง 2 กลุ่ม พร้อมกัน ใช้เวลา 90 นาที (10.30 - 12.00 น. วันที่ 29 มกราคม 2539) โดยใช้แบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

2) ดำเนินการสอนตามตารางสอนของทางโรงเรียนดังตารางที่ 8 โดยผู้วิจัยสอนเองทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ใช้เวลาในการสอนกลุ่มละ 9 คาบ ๆ ละ 50 นาที ตามแผนการสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น (ดังระบุไว้ในภาคผนวก)

3) ทดสอบหลังเรียน (Posttest) ตามตารางสอบของทางโรงเรียน ใช้เวลา 90 นาที (12.30-14.00 น. วันที่ 8 มีนาคม 2539) โดยใช้แบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นชุดเดิม เมื่อสอนจบตามแผนการสอนทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 8 แสดงวันและเวลาในการดำเนินการสอน

เวลา วัน	08.30- 09.20 น.	09.25- 10.15 น.	10.20- 11.10 น.	11.15- 12.05 น.	13.00- 13.50 น.	13.55- 14.45 น.	14.50- 15.40 น.
จันทร์			กลุ่มทดลอง				
อังคาร							
พุธ					กลุ่มควบคุม		
พฤหัสบดี							
ศุกร์					ทดลอง	ควบคุม	

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง มีดังนี้

1.) การหาค่าสถิติพื้นฐานซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

2.) การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมชนิดทางเดียว (One-Way Analysis of Covariance) (ประคอง, 2525) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้คะแนนทดสอบก่อนเรียนเป็นตัวแปรร่วม (covariate)