

540.92

พ17ก

๕.3

✓การเปรียบเทียบการสอนเรื่องสมดุลเคมีโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม
กับการสอนแบบปกติ

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
จุฬารัตน ๑๐ พระโขนง ถนนเทพา ๒ โทร. ๑๑๒๑๖๖๘, ๑๑๔๐๐๐๐

ปริญญานิพนธ์

ของ

พรเพ็ญ ตูลารัตนพงษ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
พุทธาพันธ์ 2521

69143

12 ส.ย. 2521

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตได้พิจารณาปัญหานี้นี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

ผศ. ศ. รุ่งเรือง ปรชาน

ดร. นริศ-น. กรรมการ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนในคํานักกระคายไซ กระคายโรเนียว และ
การโรเนียวแบบเรียนโปรแกรมที่ใช้ทดลองจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี โดยการช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ กร.นิภา สะเพียรชัย

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับความกรุณาในการให้คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.นิตา สะเพียรชัย ประธานกรรมการที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล หวังพานิช กรรมการที่ปรึกษา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กรุณาให้ทุนเพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบพระคุณ อาจารย์ถาวร เพ็ชรสงฆ์ อาจารย์อุทุม ส่งเสริม อาจารย์แมนจิตต์ เกษรทอง และอาจารย์เสงี่ยม วิไลวัฒน์ ที่กรุณาให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ระมัท โชชัย ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยไปด้วยดี พร้อมทั้งขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรเดช คล้ายนิล และคุณจรินทร์ ยางจิต ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดพิมพ์

พร เพ็ญ ฤทธารัตนพงษ์

สารบัญ

บทที่	เนื้อหา	หน้า
1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้.....	4
	ความสำคัญของการศึกษาครั้งนี้.....	4
	ขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้.....	4
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
2	เอกสารและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
	ลักษณะของแบบเรียนโปรแกรม.....	10
	สื่อที่ใช้กับแบบเรียนโปรแกรม.....	11
	ประเภทของแบบเรียนโปรแกรม.....	12
	หลักการสร้างบทเรียนสำเร็จรูป.....	12
	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนแบบเรียนโปรแกรม.....	15
	ความตั้งใจเรียน.....	22
	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจเรียน.....	25
	สมมติฐานของการศึกษาครั้งนี้.....	28
3	วิธีดำเนินการทดลอง.....	29
	กลุ่มตัวอย่าง.....	29
	เครื่องมือในการทดลอง.....	29
	เครื่องมือรวบรวมข้อมูล.....	33
	การดำเนินการทดลอง.....	35

บทที่		หน้า
	วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	37
	สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	38
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	41
	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	41
	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	42
	การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่ม	
	จากผลต่างของคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น	42
	การเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่ม	42
	การเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองจากการ	
	สอบถามก่อนและหลังการเรียน	42
	การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ	
	ความตั้งใจเรียนหลังการเรียน	44
	การหาอัตราความผิดพลาดของแบบเรียนโปรแกรม	46
	การหาเวลาที่ใช้ในการเรียนแบบเรียนโปรแกรม	47
	สิ่งที่ต้องปรับปรุงในแบบเรียนโปรแกรมภายหลัง	
	การทดลอง	50
5	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	51
	ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้	51
	กลุ่มตัวอย่าง	51
	เครื่องมือในการทดลอง	52
	วิธีการทดลอง	52
	ผลการวิจัย	53

บทที่

หน้า

อภิปรายผล 54

ข้อเสนอแนะ 59

บรรณานุกรม 61

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

ภาคผนวก ค.

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

- 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย
ผลสัมฤทธิ์ของการสอนแบบโปรแกรมและแบบปกติ 42
- 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความ
ตั้งใจเรียนของการสอนแบบโปรแกรมและแบบปกติ 43
- 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย
ความตั้งใจเรียน จากการสอบถามก่อนและหลัง
การเรียนของการสอนแบบโปรแกรม 44
- 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
กับคะแนนความตั้งใจเรียน 45
- 5 แสดงจำนวนคาบที่ใช้สอนในเนื้อหาแต่ละตอนของ
บทเรียน 47

ภูมิหลัง

ปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีประชากร 42.96 ล้านคน โดยมีอัตราการเกิด 34.5 คนต่อพัน และอัตราการตาย 9.0 ต่อพัน ซึ่งมีอัตราการเพิ่มประชากรร้อยละ 2.55 ต่อปี (คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงานแผนประชากรและกำลังคน, 2519 : 4) สำหรับแนวโน้มประชากรในอนาคตคาดว่า พ.ศ. 2524 ประชากรไทยจะเพิ่มเป็น 48 ล้านคน และเป็น 61 ล้านคน ใน พ.ศ. 2538 โดยมีอัตราการเพิ่มร้อยละ 2.1 และ 1.4 ตามลำดับ (เขาวลัทธิ ราชแพทยาคม, 2519 : 2) การเพิ่มของประชากรก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการจัดบริการทางการศึกษา รัฐไม่สามารถจัดงบประมาณให้เพียงพอกับความต้องการทางการศึกษาของประชาชนจึงเป็นเหตุให้เกิดปัญหาการขาดแคลนสถานที่เรียน วัสดุอุปกรณ์การสอนและจำนวนครู อันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพทางการศึกษาทั้งในค่านปริมาณและคุณภาพต่ำลง ด้วยเหตุนี้นักการศึกษาและนักวิชาการจึงพยายามคิดค้นนำวิทยาการใหม่ ๆ และเทคโนโลยีซึ่งถือว่าเป็นนวัตกรรมทางการศึกษา (innovation) เข้ามาใช้ แบบเรียนโปรแกรม (Programmed Instruction) เป็นตัวอย่างของนวัตกรรมทางการศึกษาอย่างหนึ่งที่นักการศึกษาเมืองไทยได้นำเข้ามาสู่วงการศึกษ (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2519 : 14)

แบบเรียนโปรแกรมคือ รายการบทเรียนที่จัดทำขึ้นเสมือนครูที่คอย ๆ สอนให้นักเรียนรู้ตามไปทีละน้อยเป็นขั้น ๆ มีทั้งซักถามให้นักเรียนตอบและบอกคำตอบที่ถูกต้อง (เป็รื่อง กุฎ, 2517 : 151) จนมีความเข้าใจในเนื้อหาเป็นอย่างดีถึงแล้วจึงเรียนเรื่องต่อไป (สมาน ชาติยานนท์ อ้างจากประมวลบทความเกี่ยวกับ

นวัตกรรมการศึกษา, 2517 : 138) นักเรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเองจะเรียนได้ช้าหรือเร็วก็แล้วแต่ความสามารถของผู้เรียน โดยครูมีหน้าที่เป็นผู้ดูแลและจัดบทเรียนให้ (บุญเสริม กุฑาภิรมย์, 2519 : 15) แบบเรียนโปรแกรมเป็นบทเรียนที่จัดทำไว้สำเร็จสมบูรณ์ อาจจะจัดในลักษณะของเครื่องสอนและมีชื่อเรียกแตกต่างกันทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษตามลักษณะการนำไปใช้ เช่น โปรแกรมการเรียนรู้ โปรแกรมการสอน เครื่องสอน Teaching Machine, Programmed learning, Programmed Instruction, Automated Instruction, Programmed Materials และ Programmed Textbooks เป็นต้น (คณะนิสิตปริญญาโท แผนกวิชาโสตทัศนศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อ้างจากประมวลบทความเกี่ยวกับนวัตกรรมการศึกษา, 2517 : 204)

ลักษณะเด่นของแบบเรียนโปรแกรม คือนักเรียนเรียนบทเรียนด้วยตนเองโดยไม่ต้องให้ครูสอนหรืออธิบายให้ฟัง เด็กอาศัยความสามารถของตนเองเรียนตามบทเรียนนั้น ๆ โดยไม่ต้องพึ่งครู (ประทีป สยามชัย, 2513 : 138) เป็นความพยายามที่จะจัดให้การสอนเหมาะสมกับความต้องการและความสามารถของแต่ละบุคคล (เจริญ วงศ์สายัณห์ อ้างจากประมวลบทความเกี่ยวกับนวัตกรรมการศึกษา, 2517 : 33) แบบเรียนโปรแกรมใช้วิธีการนำเนื้อหาวิชาตอนใดตอนหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งมาแบ่งย่อยเป็นหน่วย ข้อ หรือตอนย่อย ภาษาอังกฤษใช้คำว่า "frame" ซึ่งหมายถึงกรอบหรือข้อความที่อยู่ในกรอบ แบบเรียนโปรแกรมจะมีการจัดแบ่งเนื้อหาวิชาจากง่ายไปหายากต่อเนื่องกัน เนื้อหาในแต่ละหน่วย ข้อ หรือ frame มักจะสมบูรณ์หรือจบในตัวเอง มุ่งให้ความรู้หรือรายละเอียดในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง และส่วนประกอบที่สำคัญของแต่ละหน่วยหรือข้อคือ จะมีช่องว่างเว้นไว้สำหรับผู้เรียนเขียนคำตอบหรืออาจจะให้ตัวเลือกให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องและตอนท้ายของหน่วยจะมีคำตอบหรือเฉลยซ่อนไว้

เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสนใจทันที เมื่อเรียนตอบมีก็มีโอกาสแก้ตัวได้ทันทีเช่นกัน
(บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2519 : 14)

สนั่น สุมิตร (สนั่น สุมิตร อ้างจากคู่มือการสอนวิชาเคมีมัธยมศึกษา
ปีที่ 5, 2517 : คำนำ) กล่าวว่า วิชาเคมีเป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งซึ่งมีความ
เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการปรับปรุงการเรียนการสอนวิชาเคมี
เพื่อให้ทันกับความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการ สำหรับประเทศไทยได้มีการจัดตั้ง
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะส่งเสริม
การสอนและเทคโนโลยีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ
คือ การปรับปรุงหลักสูตร แบบเรียน คู่มือครู และวิธีสอน ตลอดจนการดำเนินการ
ปฏิบัติทดลองที่จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจ ช่างซึ่งถึงเนื้อหาและหัวข้อวิชาในหลักสูตร

นিকা สะเพียรชัย (นিকা สะเพียรชัย อ้างจากคู่มือการสอนวิชาเคมี
มัธยมศึกษาปีที่ 5, 2517 : คำนำ) กล่าวว่า การปรับปรุงหลักสูตรและแบบเรียน
วิชาเคมีนับเป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์การศึกษาของไทยที่ได้มีโครงการร่วมมือจัดทำโดย
อาศัยความร่วมมือของบุคลากรหลายฝ่าย นับตั้งแต่อาจารย์สอนวิชาเคมีระดับ
มหาวิทยาลัย วิทยาลัยวิชาการศึกษา วิทยาลัยครู ศึกษานิเทศก์ และครูผู้สอน
วิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้รับความ
ช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่ UNDP จัดส่งมาอีกด้วย จึงนับว่าเป็น
ครั้งแรกที่ได้มีการทุ่มเทกำลังคนและงบประมาณเพื่อปรับปรุงคุณภาพของการเรียน
การสอนวิชาเคมีให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์
การเรียนการสอนวิชาเคมีได้เน้นหนักการทดลองอันจะนำไปสู่การคิดสรุปเป็นกฎเกณฑ์
ต่าง ๆ ตามขบวนการทางวิทยาศาสตร์ การปรับปรุงเนื้อหาวิชาเพื่อให้ทันต่อความ
ก้าวหน้าของวิชาการเท่านั้น แต่ยังเป็นการเปลี่ยนในวิธีการสอน เพื่อให้นักเรียน
มีบทบาทในการเรียนตามแนวของนักวิทยาศาสตร์อีกด้วย

ในระบบการสอนปัจจุบันนี้ใช้ครูคนหนึ่งสอนนักเรียนประมาณ 45 คน ทำให้นักเรียนไม่ได้รับการส่งเสริมพัฒนาการทุกคนเท่าที่ควร เพราะครูเอาใจใส่นักเรียนเป็นรายบุคคลได้ไม่ทั่วถึงและคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลน้อยเกินไป อีกทั้งบทเรียนอาจจะยาวและยากเกินไป จึงเป็นสาเหตุทำให้เด็กเก่งเบื่อ และเด็กอ่อนทอดถอนใจไม่ตั้งใจเรียน ในการเรียนการสอนวิชาเคมีก็เช่นกันจะอยู่ในลักษณะกึ่งกล่าวข้างต้นด้วย ดังนั้นถ้าใ้คนำการเรียนการสอนแบบโปรแกรมเข้ามามีส่วนร่วมด้วย โดยมีการจัดแบ่งเนื้อหาวิชาจากง่ายไปหายากตามลำดับที่ที่ละกรอบ (frame) เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจและนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนอยู่ตลอดเวลาโดยตอบคำถามในกรอบปัญหา ซึ่งมีคำตอบที่ถูกต้องให้นักเรียนตรวจสอบได้ทันทีจนเป็นแรงเสริมที่ทำให้นักเรียนกระตือรือร้นที่จะเรียนอยู่เสมอ นอกจากนี้การสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมยังเหมือนกับการสอนนักเรียนเป็นรายบุคคลทำให้สามารถแก้ปัญหาเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคลได้เป็นอย่างดี พร้อมทั้งมีการทดลองควบคู่ไปด้วย อันจะนำไปสู่ความคิดสรุปเป็นกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ตามขอบข่ายวิทยาศาสตร์ก็จะทำให้ผลของการเรียนการสอนดียิ่งขึ้น

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกเรื่อง "สมมูลเคมี" มาสร้างและทดลองใช้เป็นแบบเรียนโปรแกรมสำหรับวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้เนื้อหาในหลักสูตรวิชาเคมีที่ทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ปรับปรุงขึ้น แล้วนำแบบเรียนโปรแกรมที่ได้อสร้างขึ้นใช้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนกับการสอนแบบปกติ

ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้

1. เพื่อสร้างแบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง "สมมูลเคมี"

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง "สมมูลเคมี" ของนักเรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของนักเรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียน

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ผลจากการศึกษาค้นคว้าเรื่องนี้จะทำให้ได้แบบเรียนโปรแกรมเรื่อง "สมมูลเคมี" สำหรับใช้ประกอบการสอนวิชาเคมีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
2. ผลของการศึกษาค้นคว้าเป็นการตรวจสอบคุณภาพของวิธีสอนแบบโปรแกรมให้ผลดีต่อการสอนวิชาเคมีเพียงใด อันจะเป็นแนวทางในการเผยแพร่วิธีสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมหรือเป็นแนวคิดในการเลือกสรรนวัตกรรมการศึกษาอื่น ๆ เพื่อนำไปใช้ในการสอนวิชาเคมี

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. แบบเรียนวิชาเคมีที่จะใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ใช้เนื้อหาตามหลักสูตรใหม่ เฉพาะเรื่อง "สมมูลเคมี" ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เท่านั้น
2. การศึกษาค้นคว้าทำการทดลองในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2520 ใช้เวลาในการสอนประมาณ 16 คาบ โดยจะพิจารณาเฉพาะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความตั้งใจในการเรียน ซึ่งมีตัวแปรที่จะศึกษาคือ

2.1 ตัวแปรต้น

- การสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม
- การสอนแบบปกติ

2.2 ตัวแปรตาม

- ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- ความตั้งใจในการเรียน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. แบบเรียนโปรแกรม หมายถึง แบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมีเรื่อง "สมดุลเคมี" โดยผู้วิจัยได้สร้างขึ้นรวมทั้งชุดอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลองด้วย
2. นักเรียน หมายถึง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประจำปีการศึกษา 2520 ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ
 - กลุ่มทดลอง หมายถึง นักเรียนที่เรียนจากแบบเรียนโปรแกรม
 - กลุ่มควบคุม หมายถึง นักเรียนที่เรียนจากการสอนโดยวิธีปกติของอาจารย์
3. อาจารย์ หมายถึง ผู้วิจัยและอาจารย์ที่สอนวิชาเคมีในกลุ่มควบคุม
4. วิธีสอนแบบโปรแกรม หมายถึง การสอนของผู้วิจัยต่อกลุ่มทดลองโดยให้นักเรียนเรียนด้วยตนเองจากแบบเรียนโปรแกรม
5. วิธีสอนตามปกติ หมายถึง การสอนของอาจารย์ที่สอนกลุ่มควบคุมโดยใช้วิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Method) ซึ่งยึดคู่มือครูและเนื้อหาเกี่ยวกับผู้วิจัยนำมาสร้างเป็นแบบเรียนโปรแกรม
6. ความตั้งใจเรียน หมายถึง แรงจูงใจอย่างหนึ่งที่มีอยู่ในตัวบุคคลเป็นตัวผลักดันให้ผู้เรียนพยายามประกอบกิจกรรมในทางที่ส่งเสริมการเรียน เช่น
 - การเสาะหาตำราเรียนหรือหนังสือตำราอื่นมาอ่านนอกเหนือไปจากที่เรียนในชั้น
 - การใช้เวลาว่างอ่านหนังสือหรือทบทวนการเรียน

- การทำการบ้านแทนการไปเที่ยวเตร่
- การไปเรียนทุกวันไม่ขาด

ในขณะที่เดียวกันก็พยายามงคประกอบกิจกรรมบางอย่างอันอาจจะเป็นอุปสรรคต่อการเรียน เช่น

- การไปโรงเรียนสาย
- การหนีโรงเรียน
- การนั่งใจลอยในห้องเรียน

ระดับความตั้งใจเรียนในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาจากคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามความตั้งใจเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ผลการเรียนเรื่อง "สมมูลเคมี" อันได้จากวิธีสอน โดยวิธีใช้แบบเรียนไปรแกรมกับการสอนแบบปกติ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาจากคะแนนของนักเรียนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

เอกสารและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบเรียนโปรแกรมนี้ความจริงแล้วมีใช้เป็นของใหม่นัก ผู้รู้บางท่าน
กล่าวว่าโสเครตีส (Socrates) ปราชญ์ชาวกรีกซึ่งมีชีวิตอยู่เมื่อประมาณ 400 ปี
ก่อนคริสตกาลได้ใช้วิธีสอนสาธุศิษย์โดยอาศัยวิธีการแบ่งเนื้อหาวิชาเป็นตอนย่อย ๆ
ให้ต่อเนื่องกัน สอนทีละชั้น มีการเฉลยคำตอบไว้ให้ (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์,
2519 : 17) ซึ่งวิธีของโสเครตีสนับเป็นจุดเริ่มต้นของแบบเรียนสำเร็จรูป ต่อมา
ในปี ค.ศ. 1872 ได้มีหนังสือสำหรับนักเรียนเรียนด้วยตนเองชุดหนึ่งชื่อหนังสือชุด
Putnam's Handbook Series โดยจัดทำเป็นบทเรียนต่าง ๆ สำหรับเรียนด้วยตนเอง
และมีหนังสืออ่านแนะนำประกอบชื่อ How to educate yourself (เอกสารการ
สัมมนาเรื่องความคิดใหม่และเทคโนโลยีการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาฯ, 2512,
อ้างจาก ประมวลความเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีทางการศึกษา 2517 :
220) ก่อนปี ค.ศ. 1920 เล็กน้อย ศาสตราจารย์วินนี่. เพรสซีย์ (Professor,
Sidney L. Pressey) แห่งมหาวิทยาลัยโอไฮโอ (Ohio State University)
ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประดิษฐ์เครื่องสอน (Teaching machine) และได้
เขียนบทความเกี่ยวกับเครื่องสอนของเขาลงในวารสารชื่อ School and Society
ในปี ค.ศ. 1926 (Fry, 1963 : 17) ได้มีการศึกษาวิจัยทดลองกันอย่างจริงจัง
ในเรื่องการเรียนรู้อย่างเด็ก นักจิตวิทยาชาวอเมริกันชื่อสกินเนอร์ (B.F. Skinner)
แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด (Harvard University) ได้นำทฤษฎีการเรียนรู้แบบ
การวางเงื่อนไขแบบการกระทำ (Operant Conditioning) เข้ามาเป็นหลัก
ในการสร้างบทเรียน ซึ่งเด็กย่อมมีความต้องการเป็นแรงขับภายใน การจัด
บทเรียนให้ก็คือการจัดสิ่งเร้า ตัวเสริมแรงให้แก่ผู้เรียนก็คือ ให้ความรู้ คำตอบถูก
รางวัล และจะต้องเป็นการเสริมแรงที่เป็นไปโดยทันที (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์,
2519 : 17) และสกินเนอร์ได้เขียนบทความชื่อ "The Science of Learning

and the Art of Teaching" ลงในวารสาร Harvard Education Review
ในปี ค.ศ.1954 (Smith, 1962 : V) ทำให้การสอนแบบโปรแกรมได้รับความสนใจ
และแพร่หลายมากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีสถาบันองค์การและบริษัทจำนวนน้อย ๆ แห่งในสหรัฐอเมริกา
และญี่ปุ่นได้ผลิตเครื่องสอนประเภทต่าง ๆ ตั้งแต่ประเภทง่าย ๆ ที่ไม่มีกลไกอะไร
ซับซ้อนจนกระทั่งถึงประเภทที่ใช้เครื่องคำนวณสมองกล (Computer) เข้ามาช่วย
ในการปฏิบัติงานที่เรียกว่า Computer Controlled Teaching Machines
ในสมัยแรกเริ่มของพัฒนาการทางค่านี้นี้ เครื่องสอนและแบบเรียนโปรแกรมก็มุ่งที่
จะใช้สอนเครื่องสอน จะใช้อย่างใดอย่างหนึ่งตามลำพังไม่ได้ ต่อมาเมื่อได้มีการ
ค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องการเรียนรู้แบบเรียนโปรแกรมมากขึ้น ก็พบว่าสามารถสร้าง
บทเรียนขึ้นใช้โดยอิสระจากเครื่องสอนได้ จึงได้มีการผลิตแบบเรียนโปรแกรมที่
ไม่ต้องใช้กับเครื่องสอนขึ้นมากมายหลายสาขาวิชา (วิจิตร ศรีสอาด อ้างจาก
ประมวลบทความเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีทางการศึกษา, 2517 : 125)
จนปัจจุบันมีการจัดบทเรียนที่เป็นรูปเล่มหนังสือเป็นอุตสาหกรรมการค้า

บีบี (Beane, 1965 : 319) กล่าวว่าแบบเรียนโปรแกรมมีวิธีการ
เรียนรู้ดังนี้

1. เนื้อหาวิชาได้ถูกแตกออกเป็นหน่วยเล็ก ๆ และเรียงลำดับ
เป็นขั้นต่อเนื่องกัน
2. นักเรียนจะได้รับการกระตุ้นโดยการได้รับการตอบสนองติดต่อกัน
ไปด้วยเนื้อหาวิชาที่อยู่ในแบบเรียนโปรแกรม
3. นักเรียนดำเนินการเรียนไปตามอัตราเร็วในการเรียนของตน
4. นักเรียนได้รับการตอบสนองโดยทันทีว่าคำตอบของตนถูกหรือผิด

สุภา สุจริตพงศ์ (สุภา สุจริตพงศ์ อ้างจากประมวลบทความเกี่ยวกับ
นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางการศึกษา 2517 : 194) กล่าวว่า หลักของแบบเรียน

โปรแกรมมี 3 ประการ คือ

1. อธิบายบทเรียนและให้นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับบทเรียนนั้น
หลาย ๆ ข้อ
2. มีวิธีทำให้นักเรียนทราบได้ทันทีว่าคำตอบของตนถูกหรือผิด
3. ให้นักเรียนมีโอกาสเรียนด้วยตนเองและเวลาเรียนสำหรับ
บทเรียนบทหนึ่งขึ้นอยู่กับสติปัญญาความสามารถของนักเรียนแต่ละคน

ลักษณะของแบบเรียนโปรแกรม

จาคอบส์, เมเออร์ และสโตลูโรว์ (Jacobs, Maier and Stolurow, 1966 : 11 - 18) ได้สรุปไว้ดังนี้

1. การจัดวางเนื้อหาให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายทำให้ผู้เรียนได้
เรียนรู้เหมาะสม
2. การเสนอบทเรียนโดยเรียบเรียงเนื้อหาเป็นขั้น ๆ ตามลำดับ
นั้นเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ศึกษาด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ
3. การเรียงลำดับหัวข้อเรื่องอย่างมีระเบียบแบบแผนทำให้ผู้เรียน
เกิดการเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วและได้ผลคุ้มค่า
4. ส่งเสริมให้ผู้เรียนแต่ละคนเข้าร่วมบทเรียนอย่างกระตือรือร้น
5. ในการเรียนผู้เรียนมีโอกาสก้าวไปข้างหน้าอย่างอิสระตาม
อัตราความสามารถและความถนัดของตน
6. ช่วยให้ผู้เรียนได้รับการเสริมแรงทันทีจากคำตอบที่ถูกต้องและ
ได้เรียนรู้จากจุดบกพร่องที่ตนเองเข้าใจผิดซึ่งสามารถแก้ไขได้ทันที
7. ในปัจจุบันการใช้แบบเรียนโปรแกรมมีความนิยมดังนี้

1. ใช้สำหรับสอนในห้องเรียนหรือเรียนที่บ้าน
2. ใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียนหรือบทเรียน
3. ใช้ในการสอนซ่อมเสริมหรือช่วยฝึกเด็กที่อ่อนในเนื้อหา

บางตอน

4. ใช้เป็นคู่มือช่วยฝึกวิชาชีพบางอย่าง
5. ใช้กับการเรียนการสอนของการศึกษานอกระบบ

สื่อที่ใช้กับแบบเรียนโปรแกรม

บุญเสริม ฤทธาภิรมย์ (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2519 : 15) กล่าวว่าแบบเรียนโปรแกรมจะใช้กับสื่อ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. เครื่องสอน (Teaching machine) บทเรียนที่ใช้สำหรับเครื่องสอนนี้เขียนขึ้นในรูปของแบบทดสอบประเภทให้เลือกคำตอบ (Multiple Choice) โดยกำหนดให้มีคำตอบให้เลือก 4 คำตอบ เครื่องสอนจะมีปุ่ม 4 ปุ่ม ถ้าผู้เรียนกดปุ่มที่เป็นคำตอบที่ถูกต้องปัญหาใหม่ของบทเรียนก็จะเลื่อนขึ้นมาแทนปัญหาเดิมโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าตอบผิดบทเรียนก็จะไม่เลื่อนผู้เรียนก็ต้องพยายามต่อไปจนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้อง วิธีการจะเป็นเช่นนี้ตลอดไปจนกระทั่งจบบทเรียนหนึ่ง ๆ

2. หนังสือเรียนสำเร็จรูป (Programmed Textbooks) คือแบบเรียนโปรแกรมที่เป็นรูปเล่มหนังสือ หลักการคือนำบทเรียนมาย่อเป็นหน่วยข้อหรือกรอบ เริ่มตนจากง่ายไปหายาก นักเรียนทราบคำตอบทันทีและข้ามไปเรียนหน่วยหรือข้อต่อไป บทเรียนที่ใช้กับหนังสืออาจจะใช้เรียนกันตามลำดับหน่วยหรืออาจจะเป็นหนังสือสลับหน้า (scrambled book) ก็ได้ คือเมื่ออ่านไปถึงหน่วยใดหน่วยหนึ่งแล้ว หนังสือจะมีคำสั่งให้ผู้เรียนข้ามไปเรียนหน้าใดหน้าหนึ่งโดยที่ไม่ต้องเรียงหน้ากัน

ประเภทของแบบเรียนโปรแกรม มี 2 แบบดังนี้ (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2519 : 16)

1. แบบเรียงลำดับ (linear program) ใช้การเรียงหน่วยให้เป็นไปโดยลำดับหมายเลขและเนื้อหา ผู้เรียนต้องเริ่มต้นเรียนจากหน่วยที่ 1, 2, 3... ตามลำดับจนจบบท บทเรียนแบบ linear เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากสร้างขึ้นได้ง่ายและไม่ยุ่งยากสลับซับซ้อนมากนัก

2. แบบแตกสาขา (branching program) บทเรียนเป็นหน่วยเช่นกัน แต่ผู้เรียนไม่จำเป็นต้องเรียนไปตามลำดับหน่วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคำตอบคำถามของผู้เรียนเอง แผนการเรียนแบบ branching มีลักษณะเหมือนแกนใหญ่ ถ้าบังเอิญผู้เรียนตอบผิดก็จะมีแผนการเรียนใหม่ คือออกไปหาถึงก้านเพื่อฝึกฝนแก้ไขหรือรับการซ่อมเสริมเสียก่อน (remedial teaching) แล้ววกกลับมาหาแกนใหญ่ แล้วจึงเรียนไปตามลำดับข้อหรือหน่วยต่อไป ผู้คิดคือ นอร์แมน เคอร์ว็เคอร์ ชาวอเมริกัน ลักษณะที่เห็นได้ชัดของบทเรียนแบบแตกสาขาคือหนังสือสลับหน้าบทเรียนมีคำสั่งให้เรียนหน้าใดหน้าหนึ่งโดยไม่ต้องเรียนตามลำดับหน้า

หลักการสร้างบทเรียนสำเร็จรูป

บุญเสริม ฤทธาภิรมย์ (บุญเสริม ฤทธาภิรมย์, 2519 : 17) กล่าวว่า ในการเขียนแบบเรียนโปรแกรมมีขั้นตอนที่ควรปฏิบัติอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นเตรียมการหรือวางแผน
2. ขั้นการเขียนบทเรียน
3. ขั้นทดลองและแก้ไขปรับปรุง

ขั้นเตรียมการหรือวางแผน จะต้องคำนึงเรื่องต่อไปนี้

1. เลือกบทเรียน ควรพิจารณาบทเรียนหรือวิชาที่เกิดประโยชน์ต่อผู้เรียน ใจแล้วได้ผลคุ้มค่ากับเวลาและแรงงานที่จัดทำ ต้องเลือกบทเรียนที่คิดว่าผู้เรียนมีความฉันทะพอจะทำได้ไม่ยากเกินไปและต้องคำนึงถึงความสิ้นเปลืองด้วย
2. เตรียมเอกสาร หนังสือค้นคว้า ประกอบการเรียน ผู้เขียนจะต้องอ่านค้นคว้ารวบรวมข้อมูล หลักวิชาแล้วนำมาเรียบเรียงต่อเนื่อง
3. กำหนดจุดมุ่งหมายในการเรียนรู้ นิยมกำหนดไว้ในแบบเชิงพฤติกรรม (behavioral objective) เพราะเป็นจุดมุ่งหมายที่เด่นชัด มองเห็นการกระทำของผู้เรียนได้ง่ายกว่า
4. สร้างข้อทดสอบเพื่อวัดพฤติกรรมเบื้องต้นของผู้เรียน ผู้เขียนบทเรียนจะต้องเขียนข้อทดสอบขึ้นมาชุดหนึ่ง เพื่อเป็นการวัดภูมิหลังความรู้เบื้องต้นของผู้เรียน
5. สร้างข้อทดสอบเพื่อวัดพฤติกรรมที่คาดหวังเมื่อเรียนจบ เป็นข้อทดสอบที่เขียนขึ้นเพื่อจะวัดว่าผู้เรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามที่ตั้งไว้หรือคาดหวังหรือไม่ อาจจะใช้ข้อทดสอบชุดเดียวกันกับตอนทดสอบครั้งแรกก่อนเรียนบทเรียนก็ได้

ขั้นการเขียนบทเรียน

ต้องกำหนดไว้แน่นอนว่าบทเรียนนี้ต้องแบ่งออกเป็นกี่หน่วย และแต่ละหน่วยสอนเรื่องอะไร สิ่งที่ต้องคำนึงในการเขียนบทเรียนแต่ละหน่วยมีดังนี้

1. ต้องคำนึงเสมอว่าบทเรียนแต่ละหน่วยมุ่งที่จะสอน ต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ
2. การเขียนบทเรียนต้องคำนึงถึงความยากง่ายของการใช้ภาษาเขียนให้อ่านง่าย คำอธิบายแจ่มชัด
3. การเขียนบทเรียนที่ดีจะต้องให้ผู้เรียนทำฝึกตนเอง

ผลการวิจัยที่เกี่ยวกับ การเรียนการสอนแบบเรียนโปรแกรม

วิลเลียม (William, 1968 : 11 - 13) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนเรื่อง "โครงสร้างของอะตอมและไฟฟ้าสถิต" ซึ่งแบ่งนักเรียนของ Aviation Mechanical Fundamentals School ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมแบบเรียงลำดับในกลุ่มทดลองและการสอนแบบปกติในเนื้อหาเดียวกันในกลุ่มควบคุม ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มอริเบอร์ (Moriber, 1969 : 214 - 216) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพเรื่อง "ทฤษฎีอะตอมและพันธเคมี" ในระดับวิทยาลัย โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมจำนวน 536 กรอบ ในกลุ่มทดลองจำนวน 120 คน กับการสอนแบบปกติในกลุ่มควบคุมจำนวน 120 คน ซึ่งใช้เวลาในการทดลอง 3 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แอนเดอร์สัน (Anderson, 1971 : 1935 - A) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับวิธีอภิปรายและซักถาม (the traditional lecture-discussion method) ในวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษา โดยแบ่งนักเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุมสอนโดยการอภิปรายและซักถาม ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สตรีกแลนด์ (Strickland, 1972 : 2510 - A) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียน โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับวิธีสอนแบบบรรยาย (the traditional lecture method) ในวิชาชีววิทยาทั่วไปที่วิทยาลัย Copiah - Lincoln Junior โดยแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มที่ 2 ใช้ standard textbooks ผลปรากฏว่า

กลุ่มที่ใช้แบบเรียนโปรแกรมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มที่สอนแบบบรรยาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บาร์ด (Bard, 1975 : 5947 - A) ² ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางด้านการสติปัญญา โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนแบบปกติ (the traditional textbook - lecture technique) ในวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ 100 ที่วิทยาลัย Southern Colorado State โดยแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมในกลุ่มทดลองจำนวน 22 คน และใช้วิธีสอนตามปกติในกลุ่มควบคุมจำนวน 48 คน ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางด้านการสติปัญญาของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

แทมมินเนน (Tamminen, 1976 : 7320 - A) ³ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนวิชาเคมีทั่วไปของนักศึกษาที่มีวิชาเอกวิทยาศาสตร์ ซึ่งแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมในกลุ่มทดลองจำนวน 97 คนกับการสอนโดยวิธีปกติในกลุ่มควบคุมจำนวน 120 คน ใช้เวลาในการทดลอง 14 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

มัวร์ (Moore, 1970 : 2206 - A) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการเรียนแบบโปรแกรม 2 แบบเรียน ในวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ ซึ่งแบบเรียนโปรแกรมมีชื่อว่า Modern Physical Science (Text A) โดย บรูคส์ (Brooks) เทรซี่ (Tracy) โทรพ (Tropp) และฟรีดล (Friedl) และแบบเรียนโปรแกรมชื่อ Physical Science - Its Principles and Applications (Text B) โดยมัวร์ (Moore) และสไตน์ (Stein) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนจำนวนทั้งสิ้น 286 คนที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพเกรดเอ ซึ่งนำมาจากโรงเรียน 6 แห่ง ในเมืองดีทรอยต์ (Detroit) ห้องเรียน 5 ห้องใช้แบบเรียนโปรแกรม Text A และอีก 5 ห้องใช้แบบเรียนโปรแกรม Text B

ผลปรากฏว่านักเรียนที่ใช้แบบเรียนโปรแกรม Text B มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ใช้แบบเรียนโปรแกรม Text A อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปรีชา คุณวัลลี (ปรีชา คุณวัลลี, 2515) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนยะลา จำนวน 70 คน กลุ่มทดลองจำนวน 35 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม และกลุ่มควบคุมจำนวน 35 คน สอนโดยวิธีสอนตามปกติ ผลปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความทรงจำของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

บรรชา รัตนวัย (บรรชา รัตนวัย, 2516) ได้สร้างและทดลองใช้แบบเรียนโปรแกรมเปรียบเทียบกับวิธีสอนตามปกติในวิชาเคมีเรื่อง สารและพลังงานระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยแบ่งนักเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองจำนวน 40 คน เป็นนักเรียนโรงเรียนสมาคมโรงเรียนราษฎร์สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุมจำนวน 43 คน เป็นนักเรียนสามเสนวิทยาลัยสอนโดยการสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ทวีพร เนียมมาลัย (ทวีพร เนียมมาลัย, 2518) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิชาเคมีในระดับชั้น ป.กศ. โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างใช้นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ของวิทยาลัยครูเพชรบุรี กลุ่มทดลองจำนวน 43 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุมจำนวน 39 คน สอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และคะแนนทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ภายหลังการเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

นิรันดร์ แบนซิด (นิรันดร์ แบนซิด, 2518) ได้ศึกษาเปรียบเทียบ ผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง งาน กำลัง และ เสี่ยง ในระดับชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 3 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน โรงเรียนสมุทรปราการ จำนวน 48 คน กลุ่มทดลองจำนวน 24 คน สอนโดยใช้ แบบเรียนโปรแกรมและกลุ่มควบคุมจำนวน 24 คน สอนโดยการสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนในกลุ่ม ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริกา เพชรมีศรี (ปริกา เพชรมีศรี, 2518) ได้ศึกษาเปรียบเทียบ ผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในหัวข้อพลังงาน มวลสารและ น้ำหนัก โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน โรงเรียนสมุทรปราการจำนวน 72 คน กลุ่มทดลองจำนวน 36 คน สอนโดยใช้ แบบเรียนโปรแกรมและกลุ่มควบคุมจำนวน 36 คน สอนโดยการสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนในกลุ่ม ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทักษะ และ ความสนใจทางวิทยาศาสตร์ของ นักเรียนที่ใช้แบบเรียนโปรแกรมและใช้วิธีสอนตามปกติก่อนและหลังการเรียนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สุชน ช่วยเกิด (สุชน ช่วยเกิด, 2518) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผล การสอนวิชาเคมี 1 ในระดับชั้น ป.กศ.สูง โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอน ตามปกติ กลุ่มตัวอย่างใช้นักศึกษา ป.กศ.สูง วิทยาลัยครูเทพสตรีจำนวน 32 คน กลุ่มทดลองจำนวน 15 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม และกลุ่มควบคุม 17 คน สอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า

1. นักศึกษากลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. คะแนนทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มสูงขึ้น
กว่าเดิมแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. นักศึกษากลุ่มทดลองมีความสนับสนุนต่อแบบเรียนโปรแกรมและ
การเรียนการสอนแบบโปรแกรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อรรณพ บุญถนอม (อรรณพ บุญถนอม, 2518) ได้ศึกษาเปรียบเทียบ
ผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องไฟและเชื้อเพลิงในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดย
ใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียน
ชลราษฎรอำรุงจำนวน 70 คน กลุ่มทดลองจำนวน 35 คน สอนโดยใช้แบบเรียน
โปรแกรม และกลุ่มควบคุมจำนวน 35 คนสอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า
นักเรียนทั้งสองกลุ่มมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
และคะแนนทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้งสองกลุ่มสูงกว่าเดิมแต่ไม่มีนัยสำคัญ
ทางสถิติ

ธานี จันทรา (ธานี จันทรา, 2519) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอน
วิชาวิทยาศาสตร์เบื้องต้น เรื่องสิ่งที่มีชีวิต ชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 โดยใช้บทเรียน
โปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนบ้านหัวป่าประชา-
บุญกุล จังหวัดขอนแก่น กลุ่มทดลองจำนวน 20 คนสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม
และกลุ่มควบคุมจำนวน 20 คนสอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า นักเรียน
กลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ และคะแนนทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จิตติมา เหมกิตติวัฒน์ (จิตติมา เหมกิตติวัฒน์, 2519) ได้ศึกษา
เปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องพืชและการขยายพันธุ์พืชในระดับ
ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่าง
เป็นนักเรียนโรงเรียนวัดบางกะพ้อม จังหวัดสมุทรสงครามจำนวน 60 คน

กลุ่มทดลองจำนวน 30 คนสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม และกลุ่มควบคุมจำนวน 30 คนสอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า

1. นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. นักเรียนทั้งสองกลุ่มมีทัศนคติทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

๕. ถนอม มุสิกะไชย (ถนอม มุสิกะไชย, 2519) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องสารเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้บทเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนกลางจังหวัดภูเก็ต จำนวน 70 คน กลุ่มทดลอง จำนวน 35 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุม จำนวน 35 คน สอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
2. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนทัศนคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. นักเรียนกลุ่มทดลองมีทัศนคติที่ดีต่อบทเรียนแบบโปรแกรมที่สร้างขึ้น

อุงเงิน ปานสำลี (อุงเงิน ปานสำลี, 2519) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาแสง ในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพการศึกษาระดับสูงโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ป.กศ.สูง ของวิทยาลัยครูนครสวรรค์ จำนวน 36 คน กลุ่มทดลองจำนวน 18 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุมจำนวน 18 คน สอนโดยการสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า

1. นักศึกษากลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. นักศึกษาที่เรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมมีการเปลี่ยนแปลงทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ในทางที่สูงขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนนักศึกษาที่เรียนจากการสอนตามปกติมีการเปลี่ยนแปลงทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ในทางต่ำลงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. นักศึกษาที่เรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมมีทัศนคติที่ดีต่อแบบเรียนโปรแกรม

วิวัฒน์ วัชรหิรัญ (วิวัฒน์ วัชรหิรัญ, 2519) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องทัศนอุปกรณ์อย่างง่ายชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 60 คน กลุ่มทดลองจำนวน 30 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม และกลุ่มควบคุมจำนวน 30 คน สอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า

1. นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. คะแนนทัศนคติของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนคะแนนทัศนคติของนักเรียนกลุ่มควบคุมต่ำลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. นักเรียนที่เรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมมีทัศนคติที่ดีต่อแบบเรียนโปรแกรม

สุภา อ่อนสกุล (สุภา อ่อนสกุล, 2519) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทัศนคติวิทยาศาสตร์ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องสิ่งแวคคูลัม ชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนวัดโพธิ์ผไท จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 60 คน กลุ่มทดลองจำนวน 30 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม กลุ่มควบคุมจำนวน 30 คน สอนโดยใช้การสอนแบบปกติ ผลปรากฏว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และนักเรียนกลุ่มทดลองมีทัศนคติที่ดีต่อแบบเรียนโปรแกรม

จากผลการวิจัยที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าการเรียนการสอนที่ใช้แบบ-
เรียนโปรแกรมกับการสอนโดยวิธีสอนตามปกติให้ผลการเรียนรู้แก่ผู้เรียนไม่แตกต่างกัน
แสดงว่าการสอนแบบโปรแกรมอาจสามารถใช้แทนการสอนแบบปกติได้ และพบว่า
การสอนแบบโปรแกรมมีข้อดี เช่น ทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นต่อการเรียน
มากขึ้น ฝึกนิสัยในการรับผิดชอบและข้อสัจย์ต่อตนเอง แก้ปัญหาความแตกต่าง
ระหว่างบุคคล ทำให้ง่ายต่อการควบคุมชั้นเรียน ซึ่งเป็นการช่วยแบ่งเบาภาระของ
ครู รวมทั้งสามารถใช้สอนกับผู้เรียนจำนวนมาก ๆ ได้เป็นต้น จึงควรสนับสนุนให้มี
การเผยแพร่การสร้าง การทดลองและวิธีการต่าง ๆ ของบทเรียนโปรแกรมและ
สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการจัดการศึกษาของชาติให้กว้างขวางขึ้นในอนาคตต่อไป

ความตั้งใจเรียน

บูเกลสกี (Bugelski, 2512 : 211) กล่าวว่า ความตั้งใจหมายถึง ความ
พร้อมที่จะแสดงปฏิกิริยาต่อสิ่งเร้าที่กำลังจะมาถึง การตั้งใจหรือความพร้อมเป็น
อาการตอบสนองอย่างหนึ่งซึ่งเป็นปฏิกิริยาอย่างหนึ่งที่มีต่อการเร้าและเป็นปฏิกิริยาที่
อาจเรียนรู้ได้ การเรียนรู้เกี่ยวกับความพร้อมนั้นย่อมอยู่ที่การเสริมแรงด้วย

คาแกน (Kagan, 1968 : 121 - 126) กล่าวว่า เมื่อใดที่เรามีความ
สนใจอย่างเอาใจจดจ่อการเรียนรู้ก็จะง่ายแต่เมื่อใดที่เราไม่มีความสนใจการเรียนรู้
ก็จะยากและสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจได้แก่

1. แรงจูงใจ (Motives) เราจะให้ความสนใจอย่างมากเมื่อ
สิ่งกระตุ้นการเรียนรู้เป็นสิ่งที่เรามีความพอใจโดยเฉพาะและเป็นสิ่งกระตุ้นค่อนข้าง
จะพิเศษ

2. ผลสะท้อนกลับ (Feedback) เป็นสิ่งที่บอกให้ทราบว่า การเรียน
รู้นั้นก้าวหน้าไปอย่างไร ผู้เรียนมีความก้าวหน้าอย่างไร เรียนได้มากน้อยเพียงไร
ตอบนิคมมากน้อยเพียงไรและเป็นชนิดไหน ตัวอย่างของผลสะท้อนกลับที่ดีคือการสอนโดย

ใช้เครื่องสอนเพราะผลสะท้อนกลับจะช่วยการเรียนรู้ให้ประสบความสำเร็จ เนื่องจากผู้เรียนสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว

3. รางวัล (Reward) ในการเรียนรู้นั้นควรให้รางวัลภายนอก เช่น คำชมเชย และได้รับรางวัลภายใน เช่นความพอใจจะช่วยให้เกิดความตั้งใจ

4. การลงโทษ (Punishment) ซึ่งจะมีผลมากเมื่อสิ่งที่ผิดได้ถูกลงโทษ และสิ่งที่ถูกได้รับรางวัล

5. ความแปลกใหม่ (Novelty) สิ่งใหม่ ๆ จะทำให้เกิดความตั้งใจ

ฮาลตัน (Halton, 1964 : 20 - 25) กล่าวว่า ความตั้งใจเรียนหรือการเอาใจใส่ คือความจดจ่อของจิตใจในสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ความตั้งใจเรียนจะทำให้บุคคลมีสมาธิ การศึกษาวิชาใดก็ตามถ้าเป็นการเรียนที่ตรงกับความสนใจและความตั้งใจเรียนของผู้เรียนแล้ว ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจะสูงกว่าผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนที่ไม่มีความตั้งใจเรียนหรือไม่สนใจเรียน

สตรอง (Strang, 1951 : 375) กล่าวว่า ความตั้งใจเรียนได้รับความสนับสนุนโดยความสนใจของผู้เรียน ความตั้งใจเรียนเป็นสิ่งที่บังคับไม่ได้เนื่องจากเป็นผลที่เกิดจากความสนใจและความพร้อมของแต่ละบุคคล ถ้าการเรียนการสอนได้มีการเปลี่ยนไปตามความเหมาะสมโดยให้ผู้เรียนแต่ละบุคคลสามารถที่จะสร้างหรืออ่านหรือเขียนเป็นเวลายาวนานเท่าที่ผู้เรียนมีความตั้งใจจะเป็นการฝึกให้ผู้เรียนมีความเคยชินในการทำกิจกรรมที่มีระยะเวลายาวนานได้

เอนกกุล กริแสง (เอนกกุล กริแสง, 2517 : 124) กล่าวว่า ความตั้งใจเรียนเป็นแรงจูงใจอย่างหนึ่งที่ทำให้คนเราเรียนได้ดียิ่งขึ้น และหมายถึงความสนใจและความตั้งใจในการศึกษาวิชาต่าง ๆ อันมีรากฐานมาจากทัศนคติและความต้องการเป็นสำคัญ

ซูชีพ อ่อนโคกสูง (ซูชีพ อ่อนโคกสูง, 2519 : 50 - 51) กล่าวว่า
พฤติกรรมที่นักเรียนไม่ตั้งใจเรียนมีสาเหตุมาจาก

1. สาเหตุจากเนื้อหาวิชาที่เรียน ได้แก่

- ก. บทเรียนยาวทำให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่าย
- ข. กิจกรรมที่ครูจัดให้ไม่เป็นที่สนใจของนักเรียน
- ค. บทเรียนยากเกินไปนักเรียนเรียนไม่เข้าใจ ทำให้

เกิดความขงคับใจและความวิตกกังวลไม่ชอบเรียน

2. สาเหตุจากครู ได้แก่

- ก. ครูอธิบายไม่ชัดเจน
- ข. น้ำเสียงของครูไม่ดีเสียงสั้นอู้อี้ เสียงอยู่ในระดับ

เดียวกันตลอดเวลา เด็กเกิดความเบื่อหน่าย

ค. ความไม่คงที่ของครู บางครั้งถึงบางครั้งหย่อน เด็กไม่-
ทราบจะยึดถือมาตรฐานอะไรเป็นหลักในการปฏิบัติ

ง. บรรยากาศของชั้นเรียนไม่ดี ครูมีหน้าหรือเคร่งเครียด
เกินไป

3. สาเหตุจากตัวนักเรียนเอง ได้แก่

ก. นักเรียนไม่รู้ว่าจะอะไรเป็นพฤติกรรมหรือการกระทำที่ถูก
ที่ควร อะไรเป็นการกระทำที่ไม่ถูกต้องไม่เหมาะสม

ข. นักเรียนชอบเลียนแบบสิ่งที่ไม่ดีจากคนอื่นโดยเฉพาะ
หัวหน้าชั้นหรือเพื่อนที่มีอิทธิพลต่อเขา

ค. นิสัยหรือความเคยชินซึ่งติดมาที่บ้าน

ง. ต้องการทดแทน เช่น เด็กที่ขาดความอบอุ่นจากครอบครัว

4. สาเหตุอื่น ๆ เหตุการณ์พิเศษ เช่น วันหยุด วันแข่งกีฬา หรือ
เหตุการณ์พิเศษอื่น ๆ จะมีผลให้เด็กไม่ใส่ใจหรือเอาใจใส่ต่อการเรียนได้

ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความตั้งใจเรียน

ลาฮาเดิร์น (Lahadern, 1968 : 320 - 324) แห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งได้จากผลการบันทึกการสังเกตต่อเนื่องกันเป็นเวลา 2 เดือน ของนักเรียนเกรด 6 จำนวน 125 คน ผลปรากฏว่า

ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการอ่าน .51 - .39

ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์วิชาเลขคณิต .53 - .39

ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางภาษา .48 - .37

เมเยอร์และคณะ (Meyers and Others, 1968 : 457 - 463) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเกรด 5 จำนวน 57 คน เป็นชาย 25 คน และหญิง 32 คน ซึ่งได้ถูกสอบตั้งแต่อยู่ชั้นอนุบาลด้วยแบบทดสอบความสามารถ 13 ชนิด และ 5 ปีต่อมาทดสอบนักเรียนกลุ่มนี้ด้วย California Test of Achievement (CTA) ผลปรากฏว่า ค่าความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระยะ 5 ปี มีค่าเท่ากับ .36

คอบบ์ (Cobb, 1972 : 74 - 80) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งใช้เวลาทดลอง 9 วัน ของ

โรงเรียน A ประกอบด้วยนักเรียน 60 คน เป็นชาย 26 คน และหญิง 34 คน

โรงเรียน B ประกอบด้วยนักเรียน 57 คน เป็นชาย 23 คน และหญิง 34 คน

ผลปรากฏว่า

โรงเรียน A ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์วิชา
คณิตศาสตร์มีค่า .40

โรงเรียน B ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์วิชา
คณิตศาสตร์มีค่า .25

เรมอนด์ (Raymond, 1972 : 6065 - A) ได้ศึกษาความตั้งใจ
เรียนและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการเรียน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนเกรด 2
และ 3 โดยเลือกจากนักเรียนไม่ตั้งใจเรียนจำนวน 6 คน ของโรงเรียน Tempe
Elementary School District ซึ่งมีลักษณะดังนี้ เป็นผู้ที่มีความตั้งใจในสิ่งหนึ่ง
สิ่งใดในระยะสั้น ๆ ไม่มีความสนใจในการทำงานเกี่ยวกับการเรียน เป็นผู้รบกวน
ผู้อื่นในเวลาเรียน และชอบแสดงตัวในห้องโดยก้าวร้าวคนอื่นในห้องเรียน ผลปรากฏว่า
นักเรียนทั้ง 6 คน ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 34% มีพิสัยระหว่าง 28 - 38% ส่วน
นักเรียนที่เหลือในห้องมีคะแนนเฉลี่ย 91% มีพิสัยระหว่าง 78 - 97% และคะแนน
รวมเฉลี่ยทั้งห้องเท่ากับ 60% มีพิสัยระหว่าง 47 - 71%

แซมวอลและเทอนอร์ (Samuels and Turnure, 1974 : 29 - 32) ได้
ศึกษาความแตกต่างของความตั้งใจเรียนระหว่างเพศ และความสัมพันธ์ระหว่างความ
ตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการอ่านของนักเรียนในสาขาของ Minneapolis school
ผลปรากฏว่า

1. นักเรียนหญิงมีความตั้งใจเรียนมากกว่านักเรียนชายอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ.
2. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการอ่านเท่ากับ

.44

วัลลภ กันทรพิทย์ (วัลลภ กันทรพิทย์, 2513) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง
ความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับประกาศนียบัตร วิชาการศึกษา

ชั้นปีที่ 1 ในวิทยาลัยครูและโรงเรียนฝึกหัดครูส่วนกลาง 4 แห่ง จำนวน 500 คน ผลปรากฏว่า

1. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับเกรดเฉลี่ยทุกวิชาเท่ากับ .0885 และสัมพันธ์กับเกรดเฉลี่ยภาษาไทยเท่ากับ .1340

2. นักเรียนหญิงมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความตั้งใจเรียนสูงกว่านักเรียนชาย

สุนันท์ สลโกสุม (สุนันท์ สลโกสุม, 2516) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ในการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 ของโรงเรียนในจังหวัดพระนคร จำนวน 753 คน ผลปรากฏว่า

1. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ทักษะเท่ากับ .09

2. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ปัญหาเท่ากับ .06

3. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เหตุผลเท่ากับ .11

4. ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์รวมเท่ากับ .11

สมชาย ธีฐธนกุล (สมชาย ธีฐธนกุล, 2516) ได้ศึกษาการสร้างสังกัดปณิธานประจำตัว ความตั้งใจเรียน และผลสัมฤทธิ์วิชาเลขคณิตของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2515 ในเขตภาคศึกษา 1 จำนวน 400 คน ผลปรากฏว่า ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเลขคณิตเท่ากับ .4229

สมพงษ์ รุจิรวรรณ (สมพงษ์ รุจิรวรรณ, 2516) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนใน

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2515 โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร
โรงเรียนปากช่อง และโรงเรียนรุ่งอรุณวิทยา จังหวัดนครราชสีมา รวม 417 คน
ผลปรากฏว่า ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา
วิทยาศาสตร์เท่ากับ .0882

จากแนวความคิดและผลการวิจัยดังกล่าวทำให้เชื่อได้ว่าความตั้งใจเรียน
เป็นองค์ประกอบทางจิตวิทยาที่มีความเกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนประการ-
หนึ่ง หมายความว่า ผู้ที่มีความตั้งใจเรียนสูงย่อมมีโอกาสได้รับความสำเร็จทางการ
เรียนดีกว่าผู้ที่มีความตั้งใจเรียนน้อย นั่นคือ ความตั้งใจเรียนมีความสัมพันธ์กับ
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในทางบวก

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ✓
2. คะแนนความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม
3. คะแนนความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองหลังจากเรียนแล้วสูงกว่า
ก่อนเรียน
4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับคะแนนความ
ตั้งใจเรียน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2520 ของโรงเรียนปทุมคงคา จำนวน 87 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มทดลองจำนวน 44 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุม
- กลุ่มควบคุมจำนวน 43 คน สอนโดยวิธีสอนปกติ ซึ่งมีอาจารย์เคมีของโรงเรียนเป็นผู้สอน

การดำเนินการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากโรงเรียนปทุมคงคาได้จัดแบ่งนักเรียนไว้แล้วเป็นห้องเรียนโดยใช้วิธี Simple Random Sampling ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มตามห้องเรียนที่จัดโดยการจับฉลาก คือกลุ่มทดลองจำนวน 44 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 43 คน

เครื่องมือในการทดลอง

ใช้แบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมี เนื้อหาตามหลักสูตรใหม่เรื่อง "สมดุลเคมี" ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเอง

1. การสร้างแบบเรียนโปรแกรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักและวิธีการเขียนแบบเรียนโปรแกรม และเลือกเนื้อหาในแบบเรียนวิชาเคมีชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เล่มสาม ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2517) เรื่อง "สมดุลเคมี" แล้วศึกษาความมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมและลำดับชั้นของการสอนในหัวข้อต่าง ๆ จากคู่มือครูของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2517) แล้วจึงเริ่มเขียนรายการสอนในรูปของโปรแกรมแบบเรียงลำดับ (linear program) ชนิดที่ผู้เรียนสร้างคำตอบเอง (Constructed Response) ลำดับชั้นการสอนในแต่ละตอนจะเป็นดังนี้

1. อภิปรายความรู้ที่ได้เรียนมาและนำเข้าสู่เรื่องการทดลอง
2. นักเรียนทำการทดลอง บันทึกผล และเขียนรายงานการทดลอง

ทดลอง

3. อภิปรายถึงผลการทดลองแล้วสรุป

ผู้วิจัยได้นำแบบเรียนโปรแกรมที่เขียนเสร็จแล้วส่งให้ผู้ชำนาญการได้ตรวจทั้งในแง่ความถูกต้องของเนื้อหาวิชาและวิธีการเขียนโปรแกรมแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ก่อนที่จะนำออกทดลองใช้

2. การทดลองใช้แบบเรียนโปรแกรม

ก่อนที่จะนำแบบเรียนโปรแกรมไปทดลองใช้จริง ผู้วิจัยได้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่เพิ่งจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี ซึ่งไม่เคยเรียนในเรื่อง "สมดุลเคมี" มาก่อน โดยแยกดำเนินการตามลำดับชั้นดังนี้

1. การทดลองแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ให้นักเรียนในการทดลองจำนวน 2 คน ซึ่งทดลองให้เรียนครั้งละหนึ่งคน โดยให้นักเรียนใช้กระดาษแข็งปึกส่วนที่เป็นคำตอบและเลื่อนอ่านได้ครั้งละ 1 กรอบ นักเรียนเรียนและทำการทดลองโดยใช้

ชุดอุปกรณ์ที่จัดไว้ให้แล้วด้วยตนเอง ผู้วิจัยใช้วิธีสังเกตเพื่อบันทึกตอนที่นักเรียนสงสัยหรือทำการทดลองผิดไปพร้อมทั้งให้คำชี้แจงเมื่อนักเรียนจบแต่ละตอนแล้วตรวจคำตอบและรายงานการทดลองของนักเรียนพร้อมทั้งซักถามนักเรียน เพื่อหาสาเหตุว่าส่วนที่เป็นปัญหาภายในแบบเรียนนี้เกิดจากอะไรแล้วทำการแก้ไขปรับปรุง

2. การทดลองแบบกลุ่มเล็ก จัดพิมพ์แบบเรียนโปรแกรมที่ได้แก้ไขปรับปรุงจากข้อ (1) จำนวน 9 ชุด นำไปทดลองใช้กับนักเรียนจำนวน 9 คน โดยดำเนินการพร้อมกัน ลักษณะของแบบเรียนโปรแกรมที่พิมพ์ครั้งนี้มีคำเฉลยอยู่ในหน้าถัดไป การทดลองนั้นได้แบ่งนักเรียนออกเป็น 3 คน ต่ออุปกรณ์ที่ได้จัดไว้ 1 ชุด ผู้วิจัยสังเกตและบันทึกเช่นเดียวกับวิธีการในข้อ (1) เมื่อเรียนจบตอนหนึ่ง ๆ ได้นำแบบเรียนมาตรวจแล้วสอบถามนักเรียนเกี่ยวกับข้อความในกรอบที่นักเรียนตอบผิดกันมากรวมทั้งข้อบกพร่องต่าง ๆ ขณะทำการทดลองแล้วนำแบบเรียนมาแก้ไขปรับปรุงอีกครั้งหนึ่ง

3. การทดสอบภาคสนาม จัดพิมพ์แบบเรียนโปรแกรมที่ได้ปรับปรุงจากข้อ (2) ขึ้นใหม่ ซึ่งแบบเรียนนี้ใช้สำหรับทดสอบภาคสนามโดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มทดลอง จำนวน 44 คน โดยดำเนินการคร่าวๆ เกี่ยวกับการสอนกลุ่ม-ควบคุม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการสอนแบบโปรแกรมกับการสอนแบบปกติ .

แบบเรียนโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบภาคสนามและการวิจัยครั้งนี้
เนื้อหาและจำนวนกรอบดังนี้

1.1	การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้	31	กรอบ
	การทดลองที่ 1.1		
1.2	ระบบเปิดและระบบปิด	16	กรอบ
	แบบฝึกหัดที่ 1.1	12	กรอบ
1.3	ภาวะสมดุล		
1.3.1	ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ	7	กรอบ

1.3.2	ภาวะสมดุลในสารละลายอิมัลชัน	24	กรอบ
	การทดลองที่ 1.2		
1.3.3	ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี	16	กรอบ
	การทดลองที่ 1.3		
	แบบฝึกหัดที่ 1.2	5	กรอบ
1.4	การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบ	15	กรอบ
	การทดลองที่ 1.4		
1.5	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและ		
	อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ	13	กรอบ
1.6	การเปลี่ยนภาวะสมดุล	38	กรอบ
	การทดลองที่ 1.5		
	การทดลองที่ 1.6		
	แบบฝึกหัดที่ 1.3	10	กรอบ
1.7	หลักของเลอชาเตอลิเยร์	26	กรอบ
1.7.1	การใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์		
	ในการอุตสาหกรรม	28	กรอบ
1.7.2	คะตะไลส์กับภาวะสมดุล	7	กรอบ
	แบบฝึกหัดที่ 1.4	10	กรอบ
1.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ		
	ณ ภาวะสมดุล	44	กรอบ
	การทดลองที่ 1.7		
	แบบฝึกหัดที่ 1.5	7	กรอบ

1.9 ประโยชน์ของค่าคงตัวของสมมูล

1.9.1 ค่าคงตัวของสมมูล ณ อุณหภูมิ 11 กรอบ

1.9.2 ค่าคงตัวของสมมูลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 20 กรอบ

รวมจำนวนกรอบทั้งหมด 342 กรอบ

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยได้สร้างคู่มือแบบเรียนโปรแกรมซึ่งประกอบด้วย

1. ชุดอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง โดยให้นักเรียนก่อนทำการทดลองเพื่อจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองไว้ให้พร้อม

2. ตัวอย่างรายงานการทดลองต่าง ๆ ให้นักเรียนหลังจากทำการทดลองบันทึกผลและเขียนรายงานการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อจะได้เปรียบเทียบรายงานการทดลองแต่ละการทดลองที่นักเรียนเขียนเสร็จแล้วกับตัวอย่างในคู่มือ ทั้งนี้ก็เพื่อนักเรียนจะได้พบข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการเขียนรายงานแล้วจะได้ปรับปรุงการเขียนรายงานในการทดลองครั้งต่อไป

เครื่องมือรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์และความตั้งใจในการเรียนของนักเรียนที่เรียนวิชาเคมีเรื่อง "สมมูลเคมี" โดยการสอนด้วยแบบเรียน-โปรแกรมและการสอนตามปกติ เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลมี 2 ชนิดด้วยกัน คือ

1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

1.1 ลักษณะแบบทดสอบ

เป็นแบบทดสอบเลือกตอบชนิด 5 ตัวเลือก โดยผู้วิจัยสร้างขึ้นให้ครอบคลุมเนื้อหาและจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมของการเรียนการสอน มีทั้งหมด

1.2 คุณภาพแบบทดสอบ

แบบทดสอบชุดนี้ได้นำไปทดลองสอบนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ปรับปรุง ปรากฏว่าค่าตามชุดนี้มีค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ .20 - .80 ค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ .20 - .73 และความเชื่อมั่นซึ่งหาโดยใช้สูตร K.R. 21 มีค่าเท่ากับ .9106

1.3 เกณฑ์การให้คะแนน

แบบทดสอบทั้ง 50 ข้อ แต่ละข้อให้คะแนน 0 - 1 คือ ตอบผิดหรือไม่ตอบให้เป็น 0 ตอบถูกให้ข้อละ 1 คะแนน

2. แบบสอบถามความตั้งใจเรียน

2.1 ลักษณะแบบสอบถาม

เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่าชนิด 5 ระดับ มีทั้งหมด 50 ข้อ โดยเก็บข้อมูลมาจากภาควิชาการวัดความตั้งใจเรียนของ วัดถก กันทรวิชัย (วัดถก กันทรวิชัย, 2513 : 34) แต่ละข้อจะให้ให้นักเรียนตอบระดับความตั้งใจในการเรียนตามข้อความหรือสถานการณ์ที่สร้างขึ้นเป็นระดับเคยเสมอ, เคยบ่อย ๆ, เคยบ้างปานกลาง, เคยบ้างเล็กน้อย, ไม่เคยเลย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

	เคยเสมอ	เคยบ่อย ๆ	เคยบ้างปานกลาง	เคยบ้างเล็กน้อย	ไม่เคยเลย
1. ท่านเคยใช้เวลาาน ๆ ในการทำงานโดยไม่สนใจปัญหาเคมีบ้างหรือไม่					
2. ท่านเคยมีความรู้สึกว่าการเรียนเคมีที่ท่านกำลังเรียนนั้นน้อยเกินไปหรือไม่					

2.2 คุณภาพแบบสอบถาม

แบบสอบถามนี้ได้ทำการทดลองใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพโดยนำไปทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตร วิชาการศึกษา วิทยาลัยครูเทพสตรี แล้วนำมาหาค่าอำนาจจำแนกเป็นรายข้อ ปรากฏว่ามีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 4.4868 - 12.4389 และค่าความเชื่อมั่นซึ่งหาโดยใช้สูตร K.R. 20 มีค่าเท่ากับ .9647

2.3 เกณฑ์การให้คะแนน

ในแต่ละข้อคำถาม ผู้ตอบจะประเมินระดับความตั้งใจออกเป็น 5 ระดับ โดยการให้คะแนนแทนระดับความตั้งใจเป็นดังนี้

เคยเสมอ ให้	4	คะแนน
เคยบ่อย ๆ ให้	3	คะแนน
เคยบ้างปานกลางให้	2	คะแนน
เคยบ้างเล็กน้อย ให้	1	คะแนน
ไม่เคยเลยให้	0	คะแนน

ในกรณีที่ข้อคำถามเป็นแบบนิเสธ (Negative Statement) การให้คะแนนจะให้กลับกันกับแบบนิมาน (Positive Statement) ดังกล่าวข้างต้น

การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1. แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมด้วยวิธีทั้งกล่าวมาแล้ว และทำการทดสอบครั้งแรก (Pre - test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ทั้งสองกลุ่มซึ่งใช้เวลา 50 นาที เพื่อศึกษาความรู้พื้นฐานและแบบสอบถามความตั้งใจเรียนเฉพาะกลุ่มทดลองซึ่งใช้เวลา 25 นาที

2. ดำเนินการสอนเมื่อเริ่มเปิดภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2520 ดังนี้

ก. กลุ่มควบคุม อาจารย์วิชาเคมีโรงเรียนปทุมคงคาเป็นผู้สอน ซึ่งอาจารย์ผู้สอนท่านนี้เป็นผู้ให้การอบรมเกี่ยวกับการสอนวิชาเคมีตามหลักสูตรใหม่ของ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยยึดแนวการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Method) ให้นักเรียนได้ทำการทดลองเพื่อการค้นพบและสรุปกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ได้มีการอภิปรายซักถามระหว่างครู - นักเรียน ส่วนในค่านเนื้อหา ลำดับชั้นการสอนและอุปกรณ์การทดลองยึดตามหลักสูตรแบบเรียนและคู่มือครู เช่น เกี่ยวกับการสอนนักเรียนในกลุ่มทดลองแต่ไม่ใช่แบบเรียนโปรแกรม

ข. กลุ่มทดลอง สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ซึ่งการทดลองในตอนนี้เป็นการทดสอบภาคสนามของแบบเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นด้วย ผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมโดยดำเนินการดังนี้

1. แจกคำอธิบายวิธีเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรมให้นักเรียนอ่านและให้นักเรียนทดลองเรียนในกรอบตัวอย่าง
2. เมื่อนักเรียนเข้าใจการใช้แบบเรียนโปรแกรมก็แล้วจึงให้นักเรียนเริ่มเรียนเนื้อหาเรื่อง "สมดุลเคมี" จากแบบเรียนโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น
3. ผู้วิจัยให้นักเรียนแต่ละคนบันทึกช่วงเวลาที่ใช้ในการเรียนของแต่ละหัวข้อไว้ในแบบเรียนโปรแกรม
4. ผู้วิจัยควบคุมชั้นเรียนอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ความช่วยเหลือนักเรียนที่มีปัญหาเป็นรายบุคคล
3. เมื่อเสร็จสิ้นการสอนแล้วทั้งสองกลุ่มทำการทดสอบครั้งสุดท้าย (Post - test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และแบบสอบถามความตั้งใจเรียน

วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของสองกลุ่ม โดยการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น
 2. เปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่มด้วยคะแนนเฉลี่ยจากการสอบถามครั้งที่สอง โดยใช้ $t - test$
 3. หากการเปลี่ยนแปลงความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองด้วยคะแนนจากแบบสอบถามความตั้งใจเรียนทั้งสองครั้งโดยการทดลองด้วย $t - test$
 4. หาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนจากคะแนนของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์และคะแนนของแบบสอบถามความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่มด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ดังนี้
 - 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
 - 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนเฉพาะกลุ่มทดลอง
 - 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนเฉพาะกลุ่มควบคุม
 5. วิเคราะห์การตอบสนองของนักเรียนในแบบเรียนโปรแกรม โดยนำแบบเรียนโปรแกรมของนักเรียนแต่ละคนมาตรวจดูเพื่อหาจำนวนกรอบที่นักเรียนแต่ละคนตอบผิด แล้วเทียบเป็นร้อยละของจำนวนกรอบทั้งหมดก็จะได้อัตราความผิดพลาดของนักเรียนแต่ละคน ต่อไปก็หาค่าเฉลี่ยอัตราความผิดพลาดของนักเรียนทั้งหมด ซึ่งก็คืออัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของบทเรียนนั่นเอง
- เพื่อจะดูว่ามีกรอบใบบางที่นักเรียนตอบผิดกันมากหรือเป็นกรอบที่ยากสำหรับนักเรียน จึงได้ทำการวิเคราะห์แต่ละกรอบด้วยว่ากรอบนั้น ๆ มีจำนวนนักเรียนตอบผิดร้อยละเท่าใด

6. สำนวนเวลาที่ใช้ในการสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรม ความสามารถของนักเรียนในการทำการทดลองและการเขียนรายงาน รวมทั้งสิ่งที่ควรปรับปรุงเพิ่มเติมในแบบเรียนโปรแกรม

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (Mean) ของคะแนนจากสูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา ทันติรัตนานนท์, 2515 : 51)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\bar{X} = \text{คะแนนเฉลี่ย}$$

$$X = \text{ผลรวมของคะแนนของกลุ่ม}$$

$$N = \text{จำนวนนักเรียนในกลุ่ม}$$

2. ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เป็นการบอกการกระจายของข้อมูล ว่าคะแนนมีค่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด หาได้จากสูตร (ล้วน สายยศ และอังคณา ทันติรัตนานนท์, 2515 : 100)

$$S = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

$$S = \text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน}$$

$$\sum X = \text{ผลรวมของคะแนน}$$

$$\sum X^2 = \text{ผลรวมทั้งหมดของคะแนนแต่ละค่าที่ยกกำลังสอง}$$

$$N = \text{จำนวนนักเรียนในกลุ่ม}$$

3. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มสองกลุ่ม โดยใช้ t - test (ล้วน สายยศ, และอังคณา ทันติรัตนานนท์, 2515 : 215) จากสูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

t = อำนาจในการจำแนก

$\bar{X}_1$ = คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$ = คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่ 2

S_1^2 = ความแปรปรวนของคะแนนกลุ่มที่ 1

S_2^2 = ความแปรปรวนของคะแนนกลุ่มที่ 2

n_1 = จำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ 1

n_2 = จำนวนนักเรียนในกลุ่มที่ 2

* * 4. เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้

t - test (Ferguson, 1966 : 170) จากสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N - 1}}}$$

t = อำนาจในการจำแนก

$\sum D$ = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบ
ทั้งสองครั้งที่น่ามาเปรียบเทียบเป็นรายบุคคล

$\sum D^2$ = ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบ
ทั้งสองครั้งที่น่ามาเปรียบเทียบเป็นรายบุคคลแต่ละ
รายกำลังสอง.

N = จำนวนนักเรียนในกลุ่ม

5. หาความสัมพันธ์ของตัวแปรด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ด่วน สายยศ
และอังคณา คันศิริทนานนท์, 2515 : 168) จากสูตร

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\{N \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$\sum X, \sum Y$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละกลุ่ม

$\sum X^2, \sum Y^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละคนยกกำลังสองในแต่ละกลุ่ม

$\sum XY$ = ผลรวมของผลคูณของคะแนนแต่ละคู่ของทั้งสองกลุ่ม

N = จำนวนนักเรียนในกลุ่ม

6. หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ (Reliability) คำนวณจากสูตรของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน สูตร 21 (Kuder - Richardson 21) มีสูตรดังนี้ (Richardson and Kuder, 1939 : 681 - 687)

$$r_{tt} = \frac{NS_t^2 - \bar{X}(N - \bar{X})}{S_t^2(N - 1)}$$

r_{tt} = ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

N = จำนวนข้อของข้อสอบ

S_t^2 = ความแปรปรวนของคะแนนจากการสอบด้วยแบบทดสอบ

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการสอบด้วยแบบทดสอบ

7. หาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความตั้งใจเรียน โดยวิธีสัมประสิทธิ์อัลฟ่า (α - Coefficient) โดยใช้สูตร (Ghiselli, 1964 : 286)

$$\alpha = \frac{n}{n - 1} \left\{ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_x^2} \right\}$$

α = ความเชื่อมั่นของมาตราวัด

S_i^2 = ความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ

S_x^2 = ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

n = จำนวนข้อ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองและการแปลความหมายของผลการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ได้เสนอเป็นลำดับดังนี้

1. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่ม โดยการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น
2. การเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่มด้วยคะแนนจากการสอบถามครั้งที่สองโดยใช้ค่าเฉลี่ยของคะแนนและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. การหาความเปลี่ยนแปลงความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองด้วยคะแนนจากแบบสอบถามความตั้งใจเรียนทั้งสองครั้ง
4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียน

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- N หมายถึง จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
- $\bar{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย
- T หมายถึง ค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยในการทดสอบครั้งหลังกับครั้งแรก
- s^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนน
- t หมายถึง คำนัยสำคัญทางสถิติ
- r หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่มจากผลต่างของคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น

ภายหลังจากทดลองสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้ทดสอบนักเรียนทั้งสองกลุ่มด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ และทำการวิเคราะห์หาความสำคัญทางสถิติทั้งแสดงไว้ในตาราง 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ของการสอนแบบโปรแกรมและแบบปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	N	$\bar{X}_1$	S_1^2	$\bar{X}_2$	S_2^2	$\bar{D}$	S_D^2	t
กลุ่มทดลอง	44	19.5227	25.5116	41.8636	25.3301	22.3409	44.1903	1.4785
กลุ่มควบคุม	43	18.2558	27.0520	38.6279	48.3818	20.3721	33.0587	

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยในกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมและความแปรปรวนของความแตกต่างของคะแนนในกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม แสดงว่าคะแนนความแตกต่างของกลุ่มทดลองมีการกระจายสูงกว่าของกลุ่มควบคุม และจากการทดสอบหาความสำคัญทางสถิติปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้พอ ๆ กัน

2. การเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่ม

หลังจากทดลองสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่มด้วยแบบสอบถามและเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่ม ปรากฏผลดังแสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความตั้งใจเรียนของการสอนแบบโปรแกรมและแบบปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	N	$\bar{X}$	S^2	t
กลุ่มทดลอง	44	118.0227	564.3483	1.9332
กลุ่มควบคุม	43	107.9070	625.8983	

จากตาราง 2 จะเห็นว่าคะแนนเฉลี่ยความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม และค่าความแปรปรวนของกลุ่มควบคุมสูงกว่ากลุ่มทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบหาความสำคัญทางสถิติปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่าการสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติทำให้ผู้เรียนมีความตั้งใจเรียนพอ ๆ กัน

3. การเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองจากการสอบถามก่อนและหลังการเรียน

ก่อนทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลอง และหลังจากการสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรมจบแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามความตั้งใจเรียนอีกครั้งหนึ่ง และนำคะแนนมาเปรียบเทียบกันปรากฏผลดังแสดงไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความตั้งใจ-
เรียน จากการสอบถามก่อนและหลังการเรียนของการสอน
แบบโปรแกรม

	N	$\bar{X}$	S^2	$\bar{D}$	t
ก่อนการเรียน	44	115.6818	575.1987	2.3182	1.0896
หลังการเรียน	44	118.0227	564.3475		

จากตาราง 3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของความเปลี่ยนแปลงความตั้งใจเรียน
ของภายหลังจากการสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรมมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบ
หาค่าสำคัญทางสถิติปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าความ
ตั้งใจเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น แต่ไม่เห็นเด่นชัดจนมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ

4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียน หลังการเรียน

เมื่อนำคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และความตั้งใจเรียน
มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ปรากฏผลดังแสดงไว้ในตาราง 4

ตาราง 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
คะแนนความตั้งใจเรียน

กลุ่มตัวอย่าง	ตัวแปร	N	ΣX	ΣX^2	XY	r
กลุ่มควบคุม	ผลสัมฤทธิ์	43	1,661	66,193	181,200	.3381*
	ความตั้งใจ	43	4,640	527,602		
กลุ่มทดลอง	ผลสัมฤทธิ์	44	1,842	78,202	218,327	.1807
	ความตั้งใจ	44	5,193	637,159		
ทั้งหมด	ผลสัมฤทธิ์	87	3,503	144,395	399,527	.2697*
	ความตั้งใจ	87	9,833	1,164,761		

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับ
ความตั้งใจเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมมีค่าเป็นบวก และเมื่อทดสอบนัยสำคัญ
ทางสถิติปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 แสดงว่า
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมมีความสัมพันธ์กันใน
ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความ
ตั้งใจเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองมีค่าเป็นบวก และเมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ
ปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและ
ความตั้งใจของนักเรียนกลุ่มทดลองมีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างไรไม่มีนัยสำคัญทาง
สถิติ

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนของนักเรียนทั้งหมดมีค่าเป็นบวก และเมื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติปรากฏว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียนของนักเรียนทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การหาอัตราความผิดพลาดของแบบเรียนโปรแกรม

ผู้วิจัยได้นำแบบเรียนโปรแกรมของนักเรียนแต่ละคนมาตรวจนับจำนวนกรอบที่นักเรียนแต่ละคนตอบผิด แล้วเทียบเป็นร้อยละก็จะได้อัตราความผิดพลาดของนักเรียนแต่ละคนดังนี้

$$\text{อัตราความผิดพลาดของนาย ก.} = \frac{\text{จำนวนกรอบที่นาย ก. ตอบผิด} \div 100}{\text{จำนวนกรอบทั้งหมดในแบบเรียน}}$$

$$\text{อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของแบบเรียน} = \frac{\text{ผลรวมของอัตราความผิดพลาด}}{\text{จำนวนนักเรียนทั้งหมด}}$$

ผลปรากฏว่าได้อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของแบบเรียนเท่ากับ 2.91% ช่วงของอัตราความผิดพลาดคือ 0.29 - 9.94 (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.)

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์กรอบในแบบเรียนโปรแกรม เพื่อเลือกกรอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูงมาแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติม ทำการวิเคราะห์โดยหาว่าในแต่ละกรอบมีจำนวนนักเรียนตอบผิดร้อยละเท่าใด (แสดงไว้ในภาคผนวก ก.) เมื่อวิเคราะห์หมดทุกกรอบแล้วก็เลือกกรอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบผิดเกินร้อยละ 15 เป็นกรอบที่จะต้องแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติม เนื่องจากกรอบเหล่านี้มีจำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูงกว่าในกรอบส่วนใหญ่

ผลการวิเคราะห์พบว่า กรอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูงมีอยู่จำนวน

9 กรอบ ดังนี้

กรอบที่ 1, 2, 4, 13 ในตอนที่ 1.1 เรื่องการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้
 กรอบที่ 16, 17, 31 ในการทดลองที่ 1.1 เรื่องการเปลี่ยนแปลงของสาร
 กรอบที่ 5 ในตอนที่ 1.2 เรื่องระบบเปิดและระบบปิด
 กรอบที่ 21 ในแบบฝึกหัดที่ 1.1
 กรอบที่ 19 ในแบบฝึกหัดที่ 1.2

การหาเวลาที่ใช้ในการเรียนแบบเรียนโปรแกรม

จากการสังเกตและบันทึกเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการเรียนในแต่ละตอนของ
 บทเรียนพบว่า นักเรียนใช้เวลาเร็วช้าต่างกันแล้วแต่ความสามารถของแต่ละบุคคล
 เมื่อคิดโดยเฉลี่ยแล้วปรากฏผลดังแสดงไว้ในตาราง 5

ตาราง 5 แสดงจำนวนคาบที่ใช้สอนในเนื้อหาแต่ละตอนของบทเรียน

	เนื้อหา	จำนวนคาบ
	แนะนำวิธีเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรม, ข้อแนะนำ ในการทำการทดลอง และให้นักเรียนทดลองเรียนใน กรอบตัวอย่าง	1
1.1	การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้	
	การทดลองที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงของสาร	1

ตาราง 5 (ต่อ)

เนื้อหา	จำนวนคาบ
1.7 หลักของเลอชาเตอลิเยร์ 1.7.1 การใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์ในการ อุตสาหกรรม	2
1.7.2 ค่ะตะไลส์กับภาวะสมดุล แบบฝึกหัดที่ 1.4	
1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล การทดลองที่ 1.7 การหาค่าคงตัวของสมดุลของ ไอโอไคน์ในตัวทำละลายที่ไม่ ผสมกัน แบบฝึกหัดที่ 1.5	1
1.9 ประโยชน์ของค่าคงตัวของสมดุล 1.9.1 ค่าคงตัวของสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่ง 1.9.2 ค่าคงตัวของสมดุลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	
รวม	16

จากตาราง 5 จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรม
เรื่องสมดุลเคมีรวมทั้งสิ้น 16 คาบ

สิ่งที่ต้องปรับปรุงในแบบเรียนโปรแกรมภายหลังการทดลอง

ผลจากการหาอัตราที่นักเรียนตอบผิดในแต่ละกรอบ พบกรอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูงกว่า 15% ซึ่งต้องการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้
นักเรียนตอบถูกมากขึ้น

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างแบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในเนื้อหาเรื่องสมมูลเคมี แล้วนำไปทดลองสอนเปรียบเทียบกับการสอนตามปกติ ซึ่งแบ่งลำดับขั้นของการวิจัยดังนี้

ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้

1. เพื่อสร้างแบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง "สมมูลเคมี"
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง "สมมูลเคมี" ของนักเรียนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความตั้งใจเรียนของนักเรียนที่ใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความตั้งใจเรียน

การดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประจำปีการศึกษา 2520 ของโรงเรียนปทุมคงคา จำนวน 87 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

- กลุ่มทดลองจำนวน 44 คน สอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุม

— กลุ่มควบคุมจำนวน 43 คน สอนโดยวิธีปกติมีอาจารย์วิชาเคมี
ของโรงเรียนเป็นผู้สอน

เครื่องมือในการทดลอง

ก. แบบเรียนโปรแกรม ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างโดยศึกษาหลักและ
วิธีการเขียนแบบโปรแกรม พร้อมทั้งเลือกเรื่อง "สมมูลเคมี" ในแบบเรียนวิชาเคมี
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็น
หัวข้อที่ใช้ในการทดลอง แล้วจึงเขียนรายการสอนในรูปแบบเรียนโปรแกรม
แบบเรียงลำดับ (Linear Programme) ชนิดผู้เรียนสร้างคำตอบเอง เสร็จแล้ว
ส่งให้ผู้อำนวยการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา หลังจากนั้นทำการทดสอบแบบเรียน
แบบ "หนึ่งต่อหนึ่ง" และแบบ "กลุ่มเล็ก" (ส่วนการทดสอบภาคสนามดำเนินการ
พร้อมกับการทดลองสอนเพื่อเปรียบเทียบการสอนแบบโปรแกรมกับการสอนตามปกติ)
โปรแกรมที่ได้รับการปรับปรุงหลังจากการทดสอบแบบกลุ่มเล็กมีจำนวนรอบทั้งสิ้น
342 รอบ พร้อมกันนี้ก็ได้สร้างคู่มือแบบเรียนโปรแกรมด้วย

ข. แบบทดสอบ เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเกี่ยวกับ
เรื่อง "สมมูลเคมี" โดยเป็นคำถามแบบตัวเลือกชนิด 5 ตัวเลือก จำนวน 50 ข้อ

ค. แบบสอบถามความตั้งใจเรียน ผู้วิจัยได้ดัดแปลงมาจากแบบสอบถาม
ความตั้งใจเรียนของ วัลลภ กันทรพย (วัลลภ กันทรพย, 2513 : 34) และได้
ดัดแปลงบางส่วนเพื่อให้เข้ากับเนื้อหาวิชาเคมี จำนวน 50 ข้อ เป็นแบบมาตราส่วน
ประมาณค่า 5 ระดับ

วิธีการทดลอง

ก่อนการทดลอง ผู้วิจัยทำการทดสอบครั้งแรก (pre - test) นักเรียน
ทั้งสองกลุ่มด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และสอบถามความตั้งใจเรียน

นักเรียนในกลุ่มทดลองด้วยแบบสอบถามความตั้งใจเรียน แล้วจึงดำเนินการสอนในกลุ่มทดลองด้วยแบบเรียนโปรแกรมตามเนื้อหาที่กำหนดไว้ เมื่อสอนจบแล้วก็ทำการทดสอบครั้งหลัง (post - test) นักเรียนทั้งสองกลุ่มด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและสอบถามความตั้งใจเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่มด้วยแบบสอบถามความตั้งใจเรียน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ต่อไป

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยออกมาปรากฏว่า

1. นักเรียนในกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นของนักเรียนในกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
2. นักเรียนในกลุ่มทดลองมีความตั้งใจเรียนสูงกว่านักเรียนในกลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
3. นักเรียนในกลุ่มทดลองมีความตั้งใจเรียนหลังจากการเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรมสูงกว่าความตั้งใจเรียนก่อนการเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มนักเรียนทั้งหมดมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความตั้งใจเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับนักเรียนในกลุ่มทดลองปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความตั้งใจเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และนักเรียนในกลุ่มควบคุมมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความตั้งใจเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
5. อัตราความผิดพลาดเฉลี่ย (error rate) ของแบบเรียนโปรแกรมคิดจากจำนวนกรอบที่นักเรียนแต่ละคนตอบผิดเท่ากับร้อยละ 2.91 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.29 - 9.94 ส่วนผลการวิเคราะห์พบว่ามียู่ 9 กรอบที่มีจำนวน

นักเรียนตอบผิดในอัตราสูง ซึ่งจะต้องทำการแก้ไขปรับปรุง

ผลที่ได้จากการสังเกตขณะที่นักเรียนเรียนจากแบบเรียนโปรแกรมพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ทำการทดลองและเขียนรายงานได้ถูกต้อง จำนวนชั่วโมงที่ต้องใช้ในการสอนด้วยแบบเรียนโปรแกรมทั้งหมด 16 คาบ สิ่งที่ต้องปรับปรุงเพิ่มเติมในแบบเรียนโปรแกรมคือการทดลองได้แก่ข้อความในกรณีที่จำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูง

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้สามารถนำมาอภิปรายได้ดังนี้

ผลในข้อที่ 1 ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า "ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม" แต่จากผลการวิจัยปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นก็คือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่มนี้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ

1. อาจารย์ที่สอนในกลุ่มควบคุมใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Method) ตามวิธีการสอนของสถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อาจารย์ท่านนี้ได้รับการฝึกอบรมวิธีการสอนมาแล้วเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังเป็นผู้เชี่ยวชาญของสถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาวิชาเคมี จึงสามารถสอนนักเรียนในกลุ่มนี้ได้เป็นอย่างดี

2. ในการทดลองครั้งนี้แม้ว่ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจะเรียนรู้โดยวิธีสอนที่แตกต่างกัน แต่ทั้งสองกลุ่มได้จัดทำคัมภีร์การเรียนรู้โดยมุ่งฝึกให้นักเรียน

รู้จักสังเกตทำการทดลอง บันทึกผล สรุปผล และเขียนรายงานได้ เพื่อให้นักเรียนได้คุ้นเคยกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งได้ฝึกแบบเรียนและคู่มือครูเล่มเดียวกันการสอนจึงดำเนินไปในแนวเดียวกัน

3. เนื้อหาที่เรียนมีน้อยซึ่งมีเวลาเรียนเพียง 16 คาบเท่านั้น จึงไม่อาจทำให้ผลการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างเด่นชัด

ผลในข้อที่ 2 ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า "คะแนนความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม" แต่จากผลการวิจัยปรากฏว่า ความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นก็คือ ความตั้งใจเรียนของทั้งสองกลุ่มนี้ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ

ก. นักเรียนในกลุ่มทดลองไม่คุ้นเคยกับวิธีการเรียนแบบใหม่ ที่นักเรียนจะต้องใช้สมาธิในการสร้างความเข้าใจและเรียนรู้ทุกอย่างด้วยตนเอง จึงอาจทำให้มีความตั้งใจเรียนไม่เต็มที่เท่าที่ควรในบางโอกาส และในขณะที่กลุ่มควบคุมได้รับการอธิบายชี้แจงจนเข้าใจจากอาจารย์ผู้สอน ซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้ที่นักเรียนเคยชินกว่า

2. การเรียนของนักเรียนในกลุ่มทดลองเป็นการเรียนในช่วงการเรียนภาคบ่ายสัปดาห์ละ 2 คาบ แต่นักเรียนในกลุ่มควบคุมเป็นการเรียนในช่วงการเรียนภาคเช้าทั้งหมด 4 คาบ จึงทำให้นักเรียนที่เรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรมนี้มีความตั้งใจเรียนไม่เต็มที่เท่าที่ควร

3. นักเรียนในกลุ่มควบคุมอาจจะมีความตั้งใจเรียนสูงมาแต่เดิมอยู่แล้ว

ผลในข้อที่ 3 ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า "คะแนนความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองหลังจากการเรียนแล้วสูงกว่าก่อนเรียน" แต่จากผลการวิจัยปรากฏว่า ความตั้งใจเรียนของกลุ่มทดลองหลังจากการเรียนแล้วสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นก็คือ นักเรียนในกลุ่มทดลองภายหลังจากการเรียนด้วยแบบเรียน

โปรแกรมมีความตั้งใจไม่แตกต่างจากก่อนเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรม แสดงว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ

1. คาบเวลาของการเรียนอยู่ในช่วงภาคบ่ายสัปดาห์ละ 2 คาบ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่นักเรียนมีความตั้งใจเรียนน้อยกว่าช่วงภาคเช้า เพราะฉะนั้นการเรียนด้วยแบบเรียนโปรแกรมจึงไม่สามารถทำให้ความตั้งใจเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้นได้

2. ความตั้งใจเรียนจัดว่าเป็นพฤติกรรมทางจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องทางด้านอารมณ์ (Affective Domain) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้ยาก การจะเปลี่ยนแปลงได้จะต้องใช้เวลาาน แต่การทดลองครั้งนี้ใช้เวลาเพียง 4 สัปดาห์เท่านั้น ทำให้การทดลองครั้งนี้ไม่สามารถไปเปลี่ยนแปลงความตั้งใจเรียนของนักเรียนให้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ผลในข้อ 4 ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า "ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับคะแนนความตั้งใจเรียน" ซึ่งผลการวิจัยได้ผลว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .2697 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลนี้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ลาฮาเดิร์น (Lahadern, 1968 : 320 - 324) และสมชาย ธีธรรณกุล (สมชาย ธีธรรณกุล, 2516 : 59) และสอดคล้องกับกฎของ ทิชเชเนอร์ (Titchener's Law) ที่ว่าผลของการกระทำอย่างมีความตั้งใจจะให้ผลได้ดีกว่าการกระทำอย่างไม่ตั้งใจ (Norman, 1969 : 12 - 13) ซึ่งจากผลการวิจัยแยกกลุ่มปรากฏว่า ในกลุ่มควบคุมนั้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความตั้งใจเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นในระดับ .05 แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ในกลุ่มทดลองนั้นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความตั้งใจเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลคือ แบบสอบถามความตั้งใจเรียนนั้นอาจจะยังไม่สมบูรณ์ เพราะมีการให้ผู้ตอบเขียนชื่อ ประกอบกับถ้อยคำสำนวนในการสอบถามเกี่ยวกับความตั้งใจเรียนตามตรงเกินไป จึงอาจทำให้ผู้ตอบไม่ยอมตอบตามสภาพความเป็นจริงของตนเอง

ผลในข้อที่ 5 พบว่า แบบเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นมีอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 2.91 และอยู่ในช่วงร้อยละ 0.29 - 9.94 ตามปกติอัตราที่ยอมรับกันสำหรับความผิดพลาดของกรอบจะอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 (เปรื่อง กุมุท, 2519 : 133) แสดงว่าแบบเรียนโปรแกรมที่สร้างขึ้นเป็นบทเรียนที่นักเรียนเรียนได้ไม่ยากลำบาก ส่วนผลการวิเคราะห์แต่ละกรอบเพื่อหาจำนวนนักเรียนที่ตอบผิด พบว่า มีจำนวน 9 กรอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบผิดในอัตราสูงกว่าปกติ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรอบแรก ๆ และแบบฝึกหัดของแบบเรียนโปรแกรมอาจจะเนื่องจากผู้วิจัยยังไม่มีประสบการณ์มากพอเมื่อเริ่มเขียนแบบเรียนโปรแกรม ส่วนกรอบที่ 19 ในแบบฝึกหัดที่ 1.2 ที่มีอัตราผิดพลาดสูงนั้น เนื่องจากค่าเฉลี่ยของแบบฝึกหัดในหนังสือคู่มือครูผิดจึงเป็นสาเหตุทำให้นักเรียนตอบผิดในอัตราสูง ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม เช่น แก้ไขคำภาษาไทยหรืออาศัยเครื่องหมาย (Cues) หรือการปูพื้น (Prompts) เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและสามารถตอบได้ถูกต้อง

ผลจากการสังเกตนักเรียนที่เรียนจากแบบเรียนโปรแกรม พบว่า เมื่อนักเรียนทำแบบฝึกหัดผิดหรือไม่เข้าใจในเนื้อหาวิชาบางตอน ก็จะซักถามผู้วิจัยทั้งในเวลาและนอกเวลาเรียนจนเป็นที่เข้าใจอย่างแจ่มชัด ส่วนการทดลองนั้นนักเรียนส่วนใหญ่ทำการทดลองและเขียนรายงานได้ถูกต้อง แต่เมื่อนักเรียนทำการทดลองแล้วเห็นผลการทดลองไม่เด่นชัดก็จะทำการทดลองใหม่อีกครั้งหนึ่ง แสดงว่าแบบเรียนโปรแกรมสามารถสอนให้นักเรียนให้ทำการทดลองและเขียนรายงานได้

เกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการสอนเรื่อง "สมดุลเคมี" นี้ เวลาที่ใช้ในการสอนตามวิธีปกติที่กำหนดไว้ในคู่มือครูประมาณ 14 คาบ และการสอนของอาจารย์ในกลุ่มควบคุมใช้เวลา 16 คาบ ส่วนการสอนแบบเรียนโปรแกรมครั้งนี้ปรากฏว่านักเรียนใช้เวลาในการเรียนอยู่ในช่วงเวลา 14 - 18 คาบ ซึ่งช่วงเวลา 14 - 18 คาบนี้ ได้รวมเวลาที่นักเรียนใช้ทำแบบฝึกหัดเป็นการบ้านด้วย โดยนักเรียนดำเนินการเรียนไปตามอัตราความสามารถสติปัญญาและความสามารถของตน คือ ผู้ที่มีความสามารถสูง ใช้เวลาเรียนประมาณ 14 คาบ และผู้เรียนที่มีความสามารถต่ำใช้เวลาเรียน

ประมาณ 18 คาบ

จากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าการสอนโดยใช้แบบเรียนโปรแกรม มีข้อดีดังต่อไปนี้

1. นักเรียนมีความกระตือรือร้นต่อการเรียนแบบนี้ สังเกตได้จากนักเรียนสนใจซักถามปัญหาต่าง ๆ เมื่อไม่เข้าใจ และนักเรียนไม่ขาดเรียนตลอดระยะเวลาของการทดลอง
2. นักเรียนใช้เวลาในการเรียนแตกต่างกันตามความสามารถของนักเรียนแต่ละบุคคล นักเรียนที่เรียนเก่งสามารถเรียนได้เร็วกว่านักเรียนที่เรียนอ่อน ประมาณคาบละ 10 - 15 นาที
3. นักเรียนมีโอกาสดำเนินการด้วยความเอาใจใส่จากครูเป็นรายบุคคลมากขึ้น
4. การเรียนแบบนี้ นักเรียนต้องรับผิดชอบในการเรียนของตนเอง และต้องปฏิบัติตามคำสั่งของแบบเรียน ซึ่งเป็นการฝึกนิสัยให้นักเรียนมีความรับผิดชอบต่อตนเองและมีความซื่อสัตย์ด้วย
5. แบบเรียนโปรแกรมสามารถทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ เช่นเดียวกับที่เรียนจากครู ดังนั้นจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่จะช่วยลดภาระของครู นอกจากนี้แบบเรียนโปรแกรมยังใช้สอนนักเรียนได้คราวละมาก ๆ โดยที่ประสิทธิภาพของการเรียนไม่เปลี่ยนแปลง จึงเป็นการช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนครูได้ทางหนึ่งด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มองเห็นประโยชน์และปัญหาบางประการในการวิจัยที่ได้ทำมา จึงขอเสนอแนะข้อสังเกตบางประการไว้ดังนี้

ก. ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากการวิจัยพบว่า แบบเรียนโปรแกรมสามารถสอนให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบกับการสอนตามปกติของครู และยังช่วยให้นักเรียนมีความตั้งใจเรียนสูงขึ้นบ้าง เพราะฉะนั้นจึงควรได้รับการส่งเสริมจากผู้บริหารการศึกษาและครูผู้สอนให้มีการผลิตและใช้แบบเรียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการเรียนการสอนให้กว้างขวางยิ่งขึ้น และเพื่อจะได้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการปรับปรุงการเรียนการสอน รวมทั้งแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนอัตราค่าจ้างครูผู้สอนได้ด้วย

ข. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

จากผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พบว่า มีปัญหาบางประการเกิดขึ้นดังนี้

1. คาบเวลาการเรียนของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมมีคาบเวลาการเรียนไม่พร้อมกัน ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมทางจิตวิทยาทางด้านอารมณ์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ก็คือ ความตั้งใจเรียน จึงทำให้ผลการวิจัยคลาดเคลื่อนไปบ้าง
2. ช่วงระยะเวลาของการทดลอง เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีเวลาจำกัด จึงอาจไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางจิตวิทยาที่เกี่ยวกับทางด้านอารมณ์ได้
3. แบบสอบถามความตั้งใจเรียนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ควรจะได้มีการปรับปรุงแก้ไขลดข้อคำถามใหม่ก่อนที่จะนำไปใช้ในคราวต่อไป
4. ควรศึกษาผลของการเรียนแบบเรียนโปรแกรมที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับพฤติกรรมทางจิตวิทยาด้านอื่น เช่น ความคิดสร้างสรรค์ แรงจูงใจ ไม่สัมฤทธิ์ ความวิตกกังวล ฯลฯ

5. ควรสร้างแบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในเนื้อหาที่เหลื้อแล้วทดลอง
ใช้สอนเปรียบเทียบกับการสอนตามปกติ

บรรณานุกรม

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ แบบเรียนวิชาเคมี เล่ม 1 ประโยชน์มัธยมศึกษา
ตอนปลาย โรงพิมพ์คุรุสภา 2519, 121 หน้า.

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ แบบเรียนวิชาเคมี เล่ม 2 ประโยชน์มัธยมศึกษา
ตอนปลาย โรงพิมพ์คุรุสภา 2519, 120 หน้า.

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ ประมวลบทความเกี่ยวกับนวัตกรรมและเทคโนโลยี
ทางการศึกษา โรงพิมพ์คุรุสภา 2517, 250 หน้า.

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน กอว.ร่างแผนประชากร
และกำลังคน ประชากรกำลังคน แรงงาน การมีงานทำ ค่าจ้าง และสวัสดิภาพ
แรงงาน ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2520-
2524, หน้า 4.

จิตติมา เหมกิตติวัฒน์ การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิทยาศาสตร์ เรื่องพืชและการ
ขยายพันธุ์พืช ในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับ
การสอนตามปกติ ปรียัญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2519, 44 หน้า.

ชูชีพ อ่อนโคกสูง "ปฏิบัติการสอนอาการของเด็กไม่ตั้งใจเรียน" วิทยาสาร
27(36) : 8 ตุลาคม 2519.

ณอม นุสละไชย การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องสารเคมี
ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้บทเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
ปรียัญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2519, 34 หน้า.

ลุงเงิน ปานสำลี การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาแสงในระดับประกาศนียบัตร
วิชาการศึกษาชั้นสูงโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ ปรียัญญา-
นิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2519, 33 หน้า.

ทวิพร เนียมมาลัย การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิชาเคมี ในระดับชั้น ป.กศ. โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2518, 43 หน้า.

ธานี จันทรา การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เบื้องต้นเรื่องสิ่งที่มีชีวิต ชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 โดยใช้บทเรียนโปรแกรมกับการสอนปกติ ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. 2519, 68 หน้า.

บรรชา รัตนวัย การสร้างและทดลองใช้แบบเรียนโปรแกรมสอนวิชาเคมีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา 2516, 68 หน้า.

บุญเสริม ฤทธาภิรมย์ "บทเรียนสำเร็จรูป นวัตกรรมที่น่าสนใจ" วิทยาสาร 27(37) : 15 ตุลาคม 2519.

บุญเสริม ฤทธาภิรมย์ "บทเรียนสำเร็จรูป นวัตกรรมที่น่าสนใจ" วิทยาสาร 27(39) : 22 ตุลาคม 2519

บุญเกลสกี, ปี. อาร์. จิตวิทยาการเรียนรู้กับการสอน สมควร อภัยพันธุ์ แปลและเรียบเรียง วิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตร 2512, 340 หน้า.

ประทีป สยามชัย "บทเรียนสำเร็จรูป" เอกสารประกอบการเรียนวิชามัธยมศึกษา วิทยาลัยวิชาการศึกษา โรงพิมพ์มิตรสยาม 2513, หน้า 137 - 141.

ปรีชา คุณวัลลี การศึกษาเปรียบเทียบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ประเภทปีที่ 5 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา 2515, 42 หน้า.

ปรีดา เพชรมีศรี การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในบางหัวข้อโดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ
 ปรินธิยานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2518, 37 หน้า.

เป็รื่อง กุมุท เทคนิคการเขียนแบบเรียนโปรแกรม ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
 2519, 134 หน้า.

เขาวลัดกษณ์ ราชแพทยาคม "เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับประเทศไทย" เศรษฐกิจและสังคม 13(3) : 2 - 7 พฤษภาคม - มิถุนายน 2519.

ลวน สายยศ และอังคณา กันธิรัตน์นันทน์ สถิติวิทยาทางการศึกษา วัฒนาพานิช
 2515, 276 หน้า.

วลลล กัณทรพย์ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจเรียนระดับความปรารถนาในการสอบและความวิตกกังวลในการเรียนกับความสำเร็จในการเรียน
 ปรินธิยานิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา 2513, 155 หน้า.

วิวัฒน์ วัชรหิรัญ การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องทัศนอุปกรณ์อย่างง่าย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ ปรินธิยานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2519,
 39 หน้า.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แบบเรียนวิชาเคมีมัธยมศึกษาตอนปลาย เล่ม 3 โครงการดำเนินการสอนวิชาเคมีมัธยมศึกษาตอนปลาย 2517 โรงพิมพ์คุรุสภา 2517, 166 หน้า.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คู่มือการสอนวิชาเคมีชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โครงการดำเนินการสอนวิชาเคมี มัธยมศึกษาตอนปลาย 2517 โรงพิมพ์คุรุสภา 2517, 328 หน้า.

- สุธน ช่วยเกิด การเปรียบเทียบผลการสอนวิชาเคมี 1 บางหัวข้อในระดับชั้น
ป.กศ.สูง โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอนตามปกติ ปรินิพนธ์
กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2518, 38 หน้า.
- สุนันท์ ศลโกสุม การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความฉันททางการเรียน การปรับตัว
ความตั้งใจเรียน ความวิตกกังวลในการเรียน ความมุ่งหวังของผู้ปกครอง
และฐานะทางเศรษฐกิจของผู้ปกครองกับผลสัมฤทธิ์ในการเรียนคณิตศาสตร์
ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 ปรินิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา
2516, 272 หน้า.
- สุภา อุ่นสกุล การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และทัศนคติวิทยาศาสตร์ในการสอน
วิชาวิทยาศาสตร์เรื่องสิ่งแวดล้อมชั้นประถมศึกษาปีที่ 7 โดยใช้แบบเรียน
โปรแกรมกับการสอนปกติ ปรินิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2519, 32 หน้า.
- สมชาย รัชชนกุล การสร้างสังกัดทัศนคติเชิงวิเคราะห์ลักษณะ ความตั้งใจเรียนและ
ผลสัมฤทธิ์วิชาเลขคณิต ปรินิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา
2516, 128 หน้า.
- สมพงษ์ รุจิรวรรณ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติทางวิทยาศาสตร์ความ-
คิดสร้างสรรค์ พฤติกรรมด้านความเป็นผู้นำ ความตั้งใจเรียน และผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปรินิพนธ์
กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา 2516, 83 หน้า.
- อรรณพ บุญนอม การศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องไฟและ
เชื้อเพลิงในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้แบบเรียนโปรแกรมกับการสอน
ตามปกติ ปรินิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2518,
42 หน้า.

เอนกกุล กริแสง จิตวิทยาการศึกษา พิมพ์ครั้งที่ 3 โรงพิมพ์กระตุไทย 2517,
244 หน้า.

Anderson, Carol Joy, "The Development and Evaluation of Programmed Learning for High School Chemistry," Dissertation Abstracts International, 32 : 1935 - A, October, 1971.

Bard, Eugene Dwight, "Development of a Variable-step Programmed System of Instruction for College Physical Science," Dissertation Abstracts International, 35 : 5947 - A, March, 1975.

Beane, Donald G, "A Comparison of Linear and Branching Techniques of Programmed Instruction in Plane Geometry," The Journal of Education Research, Vol. 58, No 7, March 1965, p. 319 -327.

Cobb, J.A., "Relationship of Discrete Classroom Behaviors to Fourth-Grade Academic Achievement," Journal of Education Psychology 63 : 74 - 80, 1972.

Doult, Sherman Sumpter, "An Experimental Study in the Programming of Science Instruction for the 4th Grade," Dissertation Abstracts International, 24 : 2382 - A, December, 1963.

Fan, Chung-Teh, Item Analysis Table, Educational Testing Service, Princeton, New Jersey, 1966, 32 pp.

Ferguson, George A., Statistical Analysis in Psychology and Education, 2 nd.ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, 446 pp.

Ghiselli, Edwin E., Theory of Psychological Measurement McGraw-Hill New York 1964, 408 pp.

Halton, Boyd, "Motivative and General Mathematics Students," Mathematic Teachers, 57 : 20 - 25, January, 1964.

Jacobs, Paul I., Maier, Milton H. and Stolurow, Lawrence M., A Guide to Evaluating Self-Instruction Programs, Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1966, 84 pp.

- Kagan, Jerome and Havemann, Ernest, Psychology An Introduction, Harcourt, Brace & World, Inc., 1968, 673 pp.
- ✓ Lahaderne, Henriette M., "Attitudinal and Intellectual Correlates of Attention : a study of four sixth-grade class room," Journal of Education Psychology, 59 : 320 - 324, 1968.
- Meyer, C.E., Attwell, A.A., & Orpet, R.E., "Prediction of fifth grade achievement from kindergarten test and rating data," Educational and Psychological Measurement, 28 : 457 - 463, 1968.
- Moore, Calvin Victor, "A Comparison of Two Physical Science Programs in Determining Student Understanding of Science," Dissertation Abstracts International, 31 : 2206 - A, November, 1970.
- ✓ Moriber George, "The Effects of Programmed Instruction in a College Physical Science Course for Non-Science Student," Journal of Research in Science Teaching, 6 : 214 - 216, 1969.
- Norman Donald A, "Memory & Attention," John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969, 201 pp.
- Raymon, Willian Ronald, "The Effect of an Engineered Classroom on Task Attention of Second and Third Grade Pupils, Who Display Poor Attending and Disruptive and Behaviors," Dissertation Abstracts International, 32 : 6065 - A, May, 1972.
- Richardson, M.W., and Kuder, C.F., "The Calculation of The Test Reliability Coefficients Based Upon the Method of Rational Equivalence," Journal of Educational Psychology, 30 : 681 - 687, 1939.
- Smith, Wendell I., and More, William J. editors, Programmed Learning : Theory and Research, D. Van Nostrand Company Inc., Princeton, Affiliated East - West Press Private Ltd, 1962, 240 pp.
- Strang, Ruth, An Introduction to Child Study, 3 nd.ed., The Macmillan Company, New York, 1951, 750 pp.

Strickland, Winfred Randolph, "A Comparison of a Programmed Course and a Traditional Lecture Course in General Biology," Dissertation Abstracts International, 32 : 2510 - A, November, 1971.

/ Tamminen Mildred, "The Effects of a Programmed Supplement of General Chemistry Problems on the Problem Solving Skill of College Chemistry Students," Dissertation Abstracts International 36 : 7320 - A, May, 1976.

Walker, Chales Noojin, "The Use of Programmed Chemistry Laboratory Experiments to Accomplish Selected Objectives Related to the Methods of Science," Dissertation Abstracts International, 31 : 1099 - A, September, 1970.

/ William C. ORR., "Retention as a Variable in Comparing Programmed and conventional Instructional Methods," Journal of Educational Research, 62 : 11 - 13, September, 1968.

15
83

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

หาค่าสำคัญของคะแนนความแตกต่างจากการทดสอบครั้งแรกกับการทดสอบ
ครั้งที่สองระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง

กลุ่มควบคุม				กลุ่มทดลอง			
เลขที่	X ₁	X ₂	D	เลขที่	X ₁	X ₂	D
1	15	40	25	1	12	38	26
2	26	40	14	2	21	47	26
3	16	37	21	3	14	48	34
4	18	28	10	4	21	45	24
5	22	40	18	5	20	47	27
6	6	17	11	6	20	48	28
7	28	42	14	7	19	38	19
8	17	37	20	8	23	43	20
9	14	31	17	9	24	46	22
10	23	46	23	10	19	34	15
11	22	44	22	11	29	43	14
12	24	42	18	12	21	37	16
13	17	43	26	13	15	45	30
14	21	42	21	14	28	47	19
15	14	47	33	15	28	48	20
16	32	45	13	16	10	40	30
17	22	45	23	17	21	48	27
18	20	43	23	18	19	48	29
19	19	42	24	19	23	35	12
20	23	42	19	20	12	42	30
21	19	40	21	21	22	38	16

กลุ่มควบคุม				กลุ่มทดลอง			
เลขที่	X ₁	X ₂	D	เลขที่	X ₁	X ₂	D
22	14	34	20	22	28	41	13
23	15	47	32	23	16	45	29
24	21	30	9	24	21	43	22
25	17	38	21	25	19	30	11
26	17	36	19	26	16	36	20
27	16	42	26	27	16	40	24
28	12	35	23	28	11	45	34
29	17	37	20	29	25	45	20
30	27	46	19	30	19	45	26
31	12	24	12	31	10	45	35
32	23	46	23	32	21	28	7
33	18	31	13	33	31	44	13
34	12	27	15	34	21	44	23
35	12	31	19	35	23	39	16
36	18	40	22	36	16	37	21
37	12	36	24	37	21	39	18
38	21	43	22	38	20	38	18
39	11	46	35	39	21	42	21
40	23	48	26	40	20	49	29
41	20	44	24	41	17	44	27
42	14	37	23	42	18	44	26
43	15	30	15	43	12	39	27
				44	16	35	20
43	$\bar{X}_1=18.2558$	$\bar{X}_2=38.6279$	$s_D^2=33.0587$	n=44	$\bar{X}_1=19.5227$	$\bar{X}_2=41.8636$	$s_D^2=44.1903$

ทนายสำคัญของการ เปลี่ยนแปลงความตั้งใจของนักเรียนกลุ่มทดลองจากคะแนนความตั้งใจ-
เรียนของการสอบถามครั้งแรกกับครั้งที่สอง

เลขที่	X_1	X_2	D	D^2
1	19	39	20	400
2	114	128	14	196
3	105	96	-9	81
4	118	144	26	676
5	136	125	-11	121
6	124	122	-2	4
7	103	113	10	100
8	96	107	11	121
9	125	127	2	4
10	98	85	-13	169
11	100	104	4	16
12	86	80	-6	36
13	136	148	12	144
14	88	87	-1	1
15	170	157	-13	169
16	99	92	-7	49
17	147	136	-11	121
18	113	111	-2	4
19	150	156	6	36
20	126	145	19	361
21	110	112	2	4
22	91	102	11	121
23	135	128	-7	49
24	122	125	3	9

Latm	X_1	X_2	D	D^2
25	141	118	-23	529
26	93	102	9	81
27	128	155	27	729
28	106	139	33	1089
29	117	114	-3	9
30	118	126	8	64
31	132	131	-1	1
32	119	138	19	361
33	110	107	-3	9
34	143	134	-9	81
35	107	116	9	81
36	126	141	15	225
37	142	138	-4	16
38	121	97	-24	576
39	89	107	18	324
40	115	138	22	529
41	102	81	-21	441
42	116	122	6	36
43	142	120	-22	484
44	112	100	-12	144
N = 44	$\bar{X}_1 = 115.6818$ $S_1^2 = 575.1987$	$\bar{X}_2 = 118.0227$ $S_2^2 = 564.3475$	$\bar{D} = 102$ $(\sum D)^2 = 10404$	$\sum D^2 = 8801$

หาค่าสำคัญของความตั้งใจเรียนระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลองภายหลังการทดลอง

กลุ่มควบคุม		กลุ่มทดลอง	
เลขที่	X	เลขที่	$\bar{X}$
1	117	1	39
2	78	2	128
3	137	3	96
4	103	4	144
5	95	5	125
6	97	6	122
7	121	7	113
8	81	8	107
9	109	9	127
10	92	10	85
11	80	11	104
12	183	12	80
13	106	13	148
14	93	14	87
15	101	15	157
16	127	16	92
17	114	17	136
18	100	18	111
19	115	19	156
20	112	20	145
21	83	21	112
22	153	22	102

กลุ่มควบคุม			กลุ่มทดลอง		
เลขที่	X	Y	เลขที่	X	Y
23	47	84	23	45	128
24	30	87	24	43	125
25	38	109	25	30	118
26	36	101	26	36	102
27	42	111	27	40	155
28	35	126	28	45	139
29	37	66	29	45	114
30	46	147	30	45	126
31	24	89	31	45	131
32	46	134	32	28	138
33	31	101	33	44	107
34	27	66	34	44	134
35	31	112	35	39	116
36	40	138	36	37	141
37	36	113	37	39	138
38	43	81	38	38	97
39	46	156	39	42	107
40	48	145	40	49	138
41	44	92	41	44	81
42	37	84	42	44	122
43	30	101	43	39	120
			44	35	100
Σ	1661	4640	Σ	1842	5193

หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับคะแนนความตั้งใจเรียน

กลุ่มควบคุม			กลุ่มทดลอง		
เลขที่	X	Y	เลขที่	X	Y
1	40	117	1	38	39
2	40	78	2	47	128
3	37	137	3	48	96
4	28	103	4	45	144
5	40	95	5	47	125
6	17	97	6	48	122
7	42	121	7	38	113
8	37	81	8	43	107
9	31	109	9	46	127
10	46	92	10	34	85
11	44	80	11	43	104
12	42	183	12	37	80
13	43	106	13	45	148
14	42	93	14	47	87
15	47	101	15	48	157
16	45	127	16	40	92
17	45	114	17	48	136
18	43	100	18	48	111
19	42	115	19	35	156
20	42	112	20	42	145
21	40	83	21	38	112
22	34	153	22	41	102

กลุ่มควบคุม		กลุ่มทดลอง	
เลขที่	X	เลขที่	X
23	84	23	128
24	87	24	125
25	109	25	118
26	101	26	102
27	111	27	155
28	126	28	139
29	66	29	114
30	147	30	126
31	89	31	131
32	134	32	138
33	101	33	107
34	66	34	134
35	112	35	116
36	138	36	141
37	113	37	138
38	81	38	97
39	156	39	107
40	145	40	138
41	92	41	81
42	84	42	122
43	101	43	120
		44	100
n= 43	$\bar{X} = 107.9070$ $S^2 = 625.8983$	n= 44	$\bar{X} = 118.0227$ $S^2 = 564.3483$

ค่าอัตราความผิดพลาด (error rate) คิดเป็นร้อยละของกรอบที่นักเรียน
คนหนึ่งตอบผิดและอัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของบทเรียน

เลขที่	จำนวนกรอบ ที่ตอบผิด	คิดเป็น ร้อยละ	เลขที่	จำนวนกรอบ ที่ตอบผิด	คิดเป็น ร้อยละ
1	17	4.47	23	9	2.63
2	1	0.29	24	4	1.17
3	16	4.68	25	21	6.14
4	7	2.05	26	26	7.60
5	8	2.34	27	9	2.63
6	19	5.56	28	20	5.85
7	12	3.51	29	3	0.88
8	9	2.63	30	5	1.46
9	7	2.05	31	15	4.36
10	9	2.63	32	1	0.29
11	4	1.17	33	6	1.75
12	18	5.26	34	2	0.58
13	5	1.46	35	21	6.14
14	2	0.58	36	5	1.46
15	15	4.36	37	9	2.63
16	6	1.75	38	12	3.51
17	12	3.51	39	8	2.34
18	34	9.94	40	6	1.75
19	3	0.88	41	5	1.46
20	9	2.63	42	7	2.05
21	7	2.05	43	2	0.58
22	24	7.02	44	1	0.29
				441	127.94

อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยของบทเรียน (คิดเป็นร้อยละ) = 2.91%
range = 0.29-9.94

จำนวนนักเรียนที่ตอบผิด (คิดเป็นร้อยละ) ของแต่ละกรอบในแบบเรียนโปรแกรม

$$\% \text{ error} = \frac{\text{จำนวนนักเรียนที่ตอบผิด}}{\text{จำนวนนักเรียนทั้งหมด}} \times 100$$

1.1 การเปลี่ยนแปลงที่บันทึกได้

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	20.45	25	4.55	18.18	11.36	9.09	9.09	0	13.64	2.27
กรอบที่	11	12	13							
% error	2.27	2.27	20.45							

การเปลี่ยนแปลงของสาร

กรอบที่	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
% error	2.27	11.36	15.91	18.18	11.36	4.55	0	2.27	0	2.27
กรอบที่	24	25	26	27	28	29	30	31		
% error	4.55	0	0	0	0	2.27	9.09	34.09		

1.2 ระบบเปิดและระบบปิด

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	0	13.64	4.55	15.91	0	4.45	4.45	0	0
กรอบที่	11	12	13	14	15	16				
% error	0	2.27	0	9.09	2.27	6.82				

แบบฝึกหัดที่ 1.1

กรอบที่	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
% error	11.36	11.36	13.64	6.82	22.73	0	6.82	0	9.09	9.09
กรอบที่	27	28								
% error	0	2.27								

1.3 ภาวะสมดุล

กรอบที่	1	2								
% error	6.82	13.14								

1.3.1 ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ

กรอบที่	3	4	5	6	7	8	9		
% error	0	0	11.36	0	2.27	0	2.27	...	

1.3.2 ภาวะสมดุลในสารละลายในตัว

กรอบที่	10	11	12	13	14	15	16	17	
% error	0	0	2.27	0	0	0	2.27	4.55	

ศึกษาการละลายของไอโอดีน

กรอบที่	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
% error	0	4.55	0	0	4.55	2.27	2.27	6.82	11.36	0
กรอบที่	28	29	30	31	32	32				
% error	9.09	4.55	9.09	0	0	0				

1.3.3 ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	4.55	2.27	0	4.55	4.55	4.55	0	2.27	0	2.27
กรอบที่	11	12	13	14	15	16				
% error	0	6.82	4.45	2.27	0	0				

แบบฝึกหัดที่ 1.2

กรอบที่	17	18	19	20	21					
% error	2.27	0	22.73	2.27	6.82					

1.4 การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบ

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	11.36	0	0	2.27	0	0	0	0	0
กรอบที่	11	12	13	14	15					
% error	9.09	0	0	0	11.36					

แบบฝึกหัดที่ 1.3

กรอบที่	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
% error	11.36	0	2.27	0	2.27	0	2.27	0	2.27	0

1.7 หลักของเลขอาเทอดิเบร

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	0	0	0	4.55	0	2.27	0	0	0
กรอบที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% error	2.27	4.55	0	13.64	6.82	4.55	13.64	4.55	4.55	0
กรอบที่	21	22	23	24	25	26				
% error	0	0	0	6.82	9.09	6.82				

1.7.1 การใช้หลักเลขอาเทอดิเบร

กรอบที่	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
% error	0	0	6.82	0	0	0	2.27	2.27	0	0
กรอบที่	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
% error	0	0	0	0	2.27	4.55	0	0	2.27	4.55
กรอบที่	47	48	49	50	51	52	53	54		
% error	4.55	0	2.27	0	2.27	6.82	9.09	0		

1.7.2 กะทะโล่กับภาวะสมดุล

กรอบที่	55	56	57	58	59	60	61			
% error	0	0	0	0	0	4.55	0			

แบบฝึกหัดที่ 1.4

กรอบที่	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
% error	0	0	0	0	0	0	2.27	2.27	4.55	0

1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	0	0	9.09	0	2.27	2.27	0	2.27	0
กรอบที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% error	0	0	2.27	0	2.27	0	2.27	0	0	0
กรอบที่	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
% error	0	0	0	0	6.82	0	0	0	0	0

การหาค่าคงตัวของสมดุลของไอโอไดน์

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	2.27	2.27	0	0	0	0	0	0	0
กรอบที่	11	12	13	14						
%error	0	0	0	0						

แบบฝึกหัดที่ 1.5

กรอบที่	15	16	17	18	19	20	21			
% error	0	0	0	0	0	0	0			

1.9 ประโยชน์ของการคำนวณของสมการ

1.9.1 การคำนวณของสมการ ณ จุดหนึ่ง

กรอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% error	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
กรอบที่	11									
% error	0									

1.9.2 การคำนวณของสมการเมื่อจุดหนึ่งเพิ่มขึ้น

กรอบที่	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
% error	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
กรอบที่	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
% error	0	0	0	0	0	2.27	0	0	0	0

ภาคผนวก ข.

แบบเรียนโปรแกรมที่ปรับปรุงแล้ว

แบบเรียนโปรแกรมวิชาเคมี

เรื่อง

สมมูลเคมี

ตามหลักสูตรใหม่ของสถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

คำชี้แจงสำหรับผู้เรียน

แบบเรียนเล่มนี้เรียกว่า แบบเรียนโปรแกรม (Programmed Text book).

เป็นแบบเรียนที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องใช้ครูสอน แบบเรียนโปรแกรมจะทำหน้าที่เสมือนเป็นผู้สอนประจำตัวผู้เรียน ฉะนั้นผู้เรียนจะต้องปฏิบัติตามคำสั่งของแบบเรียนอย่างเคร่งครัดจึงจะได้ผลดี

รายละเอียดเกี่ยวกับแบบเรียนมีดังนี้

1. แบบเรียนโปรแกรมเล่มนี้เขียนขึ้นตามเนื้อหาของวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลายตามหลักสูตรใหม่ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เฉพาะเนื้อหาในบทที่ 7 เรื่อง "สมดุลเคมี"

2. เนื้อหาในบทเรียนนี้แบ่งออกเป็นชั้นเล็ก ๆ เรียกว่า กรอบ เริ่มจากง่ายไปหายากตามลำดับ

3. ในแต่ละชั้นจะมีข้อความรู้ให้นักเรียนอ่านและมีคำถามนำให้คิด นักเรียนจะเรียนรู้ไปทีละชั้น และสามารถทดสอบความเข้าใจไปพร้อม ๆ กับการเรียนด้วยการตอบคำถามเป็นชั้น ๆ ไป

4. นักเรียนจะทราบทันทีว่า คำตอบของนักเรียนถูกหรือผิดเพราะจะมีคำเฉลยคำตอบไว้ในหน้าถัดไป

5. ในแต่ละกรอบแบ่งเป็น 3 ช่อง ดังนี้

(1) ของขวามือด้านบน เป็นข้อความรู้ที่จะให้นักเรียนอ่าน (หรือมีคำสั่งให้นักเรียนทำการทดลอง) พร้อมทั้งมีคำถามให้นักเรียนตอบ

(2) ของขวามือด้านล่าง เป็นช่องที่เว้นไว้ให้นักเรียนเขียนคำตอบ

(3) ของซ้ายมือ เป็นคำเฉลยของแต่ละกรอบในหน้าที่แล้วมา

ตัวอย่าง

(3) คำเฉลย	(1) ข้อความให้อ่านพร้อมกับคำถาม ----- (2) เขียนคำตอบ

วิธีเรียน

- ขั้นที่ 1 อ่านข้อความในช่องที่ (1)
ขั้นที่ 2 ตอบคำถามโดยเขียนคำตอบลงในช่องที่ (2) ซึ่งอยู่ใต้เส้นประลงมา
ขั้นที่ 3 เมื่อเขียนคำตอบเสร็จแล้วให้เปิดดูคำเฉลยในช่องที่ (3) ของหน้าถัดไป

6. เมื่อนักเรียนเปิดดูคำเฉลยแล้วให้เปรียบเทียบกับคำตอบของนักเรียน ถ้าตรงกันหรือเป็นไปในทำนองเดียวกันก็ทำกรอบต่อไปได้ แต่ถ้าผิดหรือไม่เป็นไปในทำนองเดียวกันให้กลับไปอ่านแล้วทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องราวในกรอบที่แล้ว ๆ มาอีกครั้งหนึ่ง แล้วตอบใหม่

7. นักเรียนจะต้องซื่อสัตย์ คือเรียนจากการอ่านและพยายามทำความเข้าใจในแต่ละชั้นให้ดี ถ้ายังเขียนคำตอบไม่เสร็จ ห้ามเปิดดูคำเฉลยที่ให้ไว้เพราะถ้าเปิดดูคำเฉลยที่ให้ไว้เพราะถ้าเปิดดูคำเฉลยเสียก่อนก็เท่ากับนักเรียนลอกคำตอบและจะไม่ได้ผลอะไร

8. ในการเรียนบางตอนนักเรียนจะต้องทำการทดลองด้วย

ข้อแนะนำในการทำการทดลอง

ในตอนที่เป็นทำการทดลองให้ปฏิบัติดังนี้

1. อ่านข้อความที่แนะนำถึงเรื่องที่จะทดลอง วิธีทดลอง และการบันทึกผลการทดลองให้ตลอดก่อนที่จะลงมือทดลอง

2. นักเรียนต้องมีสมุด 1 เล่มไว้สำหรับบันทึกผลการทดลอง
3. ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่ระบุไว้ในคู่มือแบบเรียนโปรแกรม
4. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ให้ตอบคำถามต่อไปจนจบเรื่องที่ได้ทำการทดลอง แล้วเขียนรายงานการทดลองตามแบบที่ได้แนะนำไว้ในแบบเรียน
5. เมื่อเขียนรายงานเสร็จแล้ว ให้นำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างรายงานการทดลอง ซึ่งมีอยู่ในคู่มือแบบเรียนโปรแกรม แล้วพยายามแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการเขียนรายงานสำหรับการทดลองครั้งต่อไป

กรอบตัวอย่างสำหรับให้ทดลองเรียน

1

ในวิชาพีชคณิต การเขียนตัวเลขและตัวอักษรเรียงกัน
ในรูปผลคูณ เราเขียนตัวเลขนำตัวอักษรเสมอ

เช่น $x \times 3$ เขียนว่า $3x$

ฉะนั้น $y \times 5$ เขียนว่า

(เขียนคำตอบตรงนี้)

(เสร็จแล้วเปิดคู่มือเฉลยในหน้าถัดไป)

2

ถ้ามีตัวเลขมากกว่าหนึ่งตัว ให้หาผลคูณของจำนวน
ที่เป็นตัวเลขเสียก่อน

$3 \times x \times 5$ เขียนว่า $15x$

ฉะนั้น $y \times 2 \times 4$ เขียนว่า

3

ก. $8 \times z$ เขียนว่า _____

ข. $\frac{1}{8} \times a \times 7$ เขียนว่า _____

ก. _____

ข. _____

4

เมื่อนักเรียนเข้าใจวิธีเรียนแล้ว ให้เปิดไปเรียนเรื่องสมมูลเคมีในหน้าต่อไป

1

5y

2

8y

3

8z

$\frac{7}{8}a$

1.1 การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

1

ในชีวิตประจำวันนักเรียนจะสังเกตเห็นได้ว่า น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อน หลังจากนั้นไอก็จะเปลี่ยนสถานะกลั่นตัวกลับมาเป็นน้ำได้อีกครั้งหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิลดลง การเปลี่ยนแปลงสถานะของสารเช่นนี้ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแล้วคืนสู่สภาพเดิมได้

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงแล้วคืนสู่สภาพเดิมได้ อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลง _____ ของสาร _____

2

การที่น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนเพียงทางเดียว หรือไอเปลี่ยนสถานะกลั่นตัวเป็นน้ำเมื่ออุณหภูมิลดลงเพียงทางเดียว ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแล้วคืนสู่สภาพเดิมได้หรือไม่ _____

3

การที่สารบางชนิดเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วคืนสู่สภาพเดิมได้จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ ดังนั้นการที่น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนแล้ว ไอก็เปลี่ยนสถานะกลั่นตัวกลับมาเป็นน้ำได้อีกเมื่ออุณหภูมิลดลง จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงอะไร?

1 สถานะ	4. การที่น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนเพียงทางเดียว <u>หรือ</u> ไอเปลี่ยนสถานะกลับตัวเป็นน้ำเมื่ออุณหภูมิลดลงเพียงทางเดียว' ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่ _____
2 ° ไม่ได้	5 ในปฏิกิริยาเคมีเมื่อสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาแล้วเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ เราเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และถ้าผลิตภัณฑ์นั้นเปลี่ยนกลับมาเป็นสารเดิมได้ เราเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยการที่น้ำระเหยเป็นไอแล้ว ไอกลั่นตัวเป็นน้ำอีก ฉะนั้นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาคือ _____ _____ ผลิตภัณฑ์คือ _____ _____
3 การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้	6 ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยไอกลั่นตัวเป็นน้ำแล้ว น้ำระเหยเป็นไออีก ฉะนั้นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาคือ _____ _____ ผลิตภัณฑ์คือ _____ _____

4 ไม่ได้	7 การที่น้ำระเหยเป็นไอ และไอก่ล้นตัวเป็นน้ำ เราเรียกการระเหยของน้ำว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และไอก่ล้นตัวเป็นน้ำว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ ก่ิงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงก่อย่าง คืออะไรบ้าง? -----
5 น้ำ ไอ	8 การที่น้ำระเหยเป็นไอและไอก่ล้นตัวเป็นน้ำ เราเรียกการระเหยของน้ำว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และไอก่ล้นตัวเป็นน้ำว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ การเรียกเช่นนี้เป็นการสมมติขึ้นจะเรียกกลับกันก็ได้ แล้วแต่ที่เราจะตั้งค่นอธิบายการเปลี่ยนแปลงอย่างใดก่ก่อน ถ้าเราเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงด้วยไอก่ล้นตัวเป็นน้ำ แล้วน้ำระเหยเป็นไอ อะไรจะเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และอะไรเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ -----

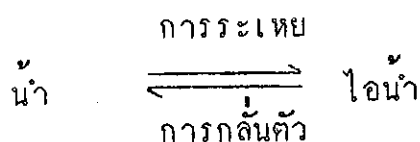
6 ไอน้ำ	9 ถ้าไอน้ำตาลเป็นตัวถูกละลาย และน้ำเป็นตัวทำละลาย จนกระทั่งเป็นสารละลายอิ่มตัว แล้วเคี่ยวให้น้ำค่อย ๆ ระเหยออกไปจำนวนหนึ่ง ตั้งทิ้งไว้จะได้น้ำตาลตกตะกอนออกมา การเปลี่ยนแปลงนี้จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงอะไร? -----
7 2 อย่าง คือ การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	10 จากกรอบที่ 9 การเปลี่ยนแปลงใดจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า -----
8 ไอน้ำเป็นตัวเป็นน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และน้ำระเหยเป็นไอน้ำ เป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	11 จากกรอบที่ 9 การเปลี่ยนแปลงใดจัดเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ -----

9

การเปลี่ยนแปลงที่
ผันกลับได้

12

ถ้าเราคิดว่าการระเหยของน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงไป
ข้างหน้า และการกลั่นตัวของน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับ
เขียนย่อโดยใช้ลูกศรแสดงได้ดังนี้



10

น้ำตาลเป็นตัวถูกละลาย
และน้ำเป็นตัวทำละลาย
จนกระทั่งเป็นสารละลายอิ่มตัว

แต่ถ้าเราคิดว่าการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงไป
ข้างหน้า การระเหยของน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับ
จึงเขียนย่อโดยใช้ลูกศรแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

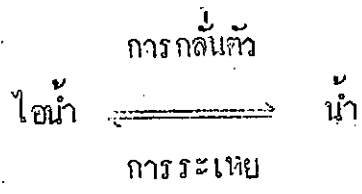
11

การตกผลึกออกมา

13

ถ้าเราคิดว่าการละลายของน้ำตาลในน้ำโดยการเพิ่ม
อุณหภูมิเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และการที่สารละลายอิ่มตัว
ตกผลึกออกมาได้น้ำตาลโดยการลดอุณหภูมิเป็นการเปลี่ยนแปลงที่
ย้อนกลับ จึงเขียนย่อโดยใช้ลูกศรแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับ
ได้

12



ต่อไปนี้เป็น การทดลอง จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้ ก็เพื่อให้ นักเรียน สังเกต การเปลี่ยนแปลง ของสารต่าง ๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลง ใด ที่ผันกลับได้

นักเรียน ควร สังเกต สภาพะ ชื้น ต้น ของ สาร ไว้ ก่อน เช่น สี การ ละลาย ของ สาร แล้ว ทดลอง ตาม วิธี ทำ ใน แบบ เรียน โปรแกรม สังเกต ผล หลังจาก ดำเนิน ตาม วิธี นั้น ๆ แล้ว บันทึก ผล

ขณะที่ การ ทดลอง นักเรียน จะต้อง มี สมุด เล่ม หนึ่ง ไว้ สำหรับ บันทึก ผล การ ทดลอง เมื่อ ทดลอง เสร็จ แล้ว ก็ เขียน รายงาน ผล การ ทดลอง เมื่อ เขียน เสร็จ แล้ว ให้นำ ไป เปรียบ-เทียบกับ ตัวอย่าง รายงาน การ ทดลอง ที่มี อยู่ใน หนังสือ คู่มือ แบบ เรียน โปรแกรม

13



ใน รายงาน การ ทดลอง ควร จะ แสดง สิ่ง ต่อไปนี้

1. วันที่ ทำ การ ทดลอง
2. ชื่อ การ ทดลอง และ วัตถุประสงค์
3. วิธี ทำ เขียน อย่าง ชัด พอ ให้ รู้ วิธี การ
4. ผล การ ทดลอง (ควร เสนอ ผล การ ทดลอง ใน รูป ตาราง)
5. สรุป ผล การ ทดลอง

การทดลองที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงของสาร

วิธีทำ ตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีน

1. ตัก ไอโอดีน 5-6 เกล็ด ใส่ ลง ใน ขวด รูป กรวย ขนาด 100 cm³ ใช้ กระดาษ นาฬิกา ปิด ปาก ขวด ไว้
2. จุ่ม ขวด นี้ ลง ใน ภาชนะ ที่ ใส่ น้ำ ร้อน จัก จน เกือบ เต็ม ตั้งทิ้งไว้ ราว 2-3 นาที

3. ยกชวคน้่ออกจากน้ำร้อน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล

หมายเหตุ

เมื่อนำชวคไอโอคีนไปจุ่มในน้ำร้อนเกือบเดือด ต้อง
ระวังอย่าให้ไอโอคีนหลอมเหลวได้ เพราะเราต้องการศึกษา
เรื่องการระเหิด ถ้าสังเกตเห็นว่าไอโอคีนเริ่มหลอมเหลว
ให้ยกชวคออกเสียก่อน เติมน้ำเย็นลงในน้ำร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ
แล้วจึงนำชวคไอโอคีนมาจุ่มต่อไป ระวังอย่าให้ไอของ
ไอโอคีนฟุ้งกระจายออกจากชวค อย่าสูดดมไอนี้เป็นอันขาด
และอย่าให้ไอโอคีนหกหรือกระเด็นถูกร่างกายด้วย

ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเลด (II)

ไอโอไดค์

1. ตักเลด (II) ไอโอไดค์ปริมาณขนาด
ครึ่งช้อนเบอร์ 1 ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลางที่มีน้ำ
อยู่ประมาณ 5 cm³
2. จุ่มสารในหลอดทดลองด้วยตะเกียงอัลกอฮอล์
ขณะจุ่ม ควรเขย่าเบา ๆ พร้อมทั้งสังเกตว่าเลด (II)
ไอโอไดค์ละลายหรือไม่
3. จุ่มหลอดทดลองนั้นลงในน้ำเย็น สังเกตผล
4. ทดลองซ้ำโดยใช้สารละลายเดิม จุ่มและทำ
ให้เย็นลงอีก สังเกตและบันทึกผลทั้งหมดไว้

ตอนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์

(II) คลอไรด์

1. รินสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ที่เตรียมไว้ลงในหลอดทดลองขนาดเล็กประมาณ 5 cm^3

2. อุ่นสารละลายให้เดือด สังเกตการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มอุ่นจนเดือด

3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น สังเกตผล

4. ทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยใช้สารละลายในหลอดเดิม สังเกตและบันทึกผลทั้งหมดไว้

การสรุปผลการทดลองให้สรุปว่า

1. เมื่อสารแต่ละชนิดได้รับความร้อนแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

2. เมื่ออุณหภูมิลดลงสารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

สำหรับรายงานการทดลองนี้ให้เขียนลงในกระดาษซึ่งได้จัดไว้ให้ในหน้าถัดไป เมื่อเขียนเสร็จแล้วให้นำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างรายงานการทดลอง ซึ่งมีอยู่ในคู่มือแบบเรียนโปรแกรม แล้วพยายามปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ในการเขียนรายงานครั้งต่อไปด้วย

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงของสาร

วัตถุประสงค์ เพื่อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลง
ใดบ้างที่ผันกลับได้

วิธีทำ ให้ความร้อนแก่สาร สังเกตการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มอุ่นจนเดือด
และทิ้งทิ้งไว้ให้เย็น สังเกตการเปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผล

ผลการทดลอง

ระบบที่ทดลอง	ผลที่สังเกตได้	
	เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	เมื่ออุณหภูมิลดลง
ไอโอไดน์		
เลก (II) ไอโอไดค์		
สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์		

สรุปผลการทดลอง

14

นักเรียนได้ศึกษาปฏิกิริยาเคมีมาบ้างแล้ว และทราบว่า การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ก็ตามมักจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานเกิดควบคู่ไปด้วยเสมอ

จากการทดลอง 1.1 ทั้ง 3 ตอน นักเรียนคิดว่าการเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ เหล่านี้มีพลังงานอะไรเกี่ยวข้องด้วย

15

การระเหิดหมายถึงการที่ของแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นไอเลย และเมื่อไอกะพี้กับด้านข้างของหลอดจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม แต่ถ้าได้รับความร้อนสูงบางส่วนจะหลอมเหลว ก่อนแล้วระเหิดไปเกาะที่ข้างหลอดกลับเป็นของแข็งตามเดิมเช่นกัน

จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีนเกิดการระเหิดหรือไม่ เพราะเหตุใด?

14 พลังงานความร้อน	16 นักเรียนได้ศึกษามาแล้วจากบทที่ 1 ว่าการเปลี่ยนสถานะ การละลายเป็นสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ<u>ระบบ</u> ดังนั้นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับร จำแนกออกได้เป็นกี่แบบ? ได้แก่การเปลี่ยนแปลงอะไรบ้าง? -----
15 เกิดการระเหิด เพราะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอโอดีนซึ่งเป็นของแข็งไปเป็นไอในสภาวะก๊าซเมื่อทำให้ร้อนขึ้น และเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของแข็งเมื่อทำให้เย็นลง	17 การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีนเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอโอดีนซึ่งเป็นของแข็งไปเป็นไอโอดีนในสภาวะก๊าซเมื่อทำให้ร้อนขึ้น และไอโอดีนเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของแข็งเมื่อทำให้เย็นลง การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีนเป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบแบบใด? -----

16 3 แบบใดแก่ การเปลี่ยนสถานะ การละลายเป็นสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยา	18 จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเลข (II) ไอโอไดค์เป็นการเกิดสารละลายโดยที่เลข (II) ไอโอไดค์ ซึ่งเป็นของแข็งละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อทำให้ร้อน และเมื่อเย็นลงจะตกผลึก การเปลี่ยนแปลงของเลข (II) ไอโอไดค์เป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบแบบใด? -----
17 การเปลี่ยนสถานะ	19 จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ เป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพราะมีการเปลี่ยนโครงสร้างจึงทำให้สีเปลี่ยนเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์เป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบแบบใด? -----

18

การเกิดสารละลาย

20

การเปลี่ยนสีของโคบอลต์ (II) คลอไรด์นั้น
จากการศึกษาโดยใช้รังสีเอกซ์ พบว่าโคบอลต์ (II)
อ็อกไซด์มีลิแกนด์ที่มีโครงสร้างเป็นลูกเต๋ายแปดหน้า (Octahedral)
ซึ่งมีสูตรเป็น $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ แต่สำหรับโคบอลต์ (II)
อ็อกไซด์ที่มีลิแกนด์มีโครงสร้างแตกต่างกัน อาจจะมีน้ำหรือ Cl^-
เกาะอยู่กับ Co^{2+} ยังไม่มีการยืนยันว่าอ็อกไซด์มี
โครงสร้างอย่างใดแน่ อย่างไรก็ตามการเพิ่ม Cl^- โดย
การเติมโซเดียมคลอไรด์ลงในสารละลาย ดังที่กล่าวไว้ใน
เตรียมสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์นั้นคงมีส่วนทำ
ให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงได้
(กรอบนี้ไม่ต้องตอบ)

19

การเกิดปฏิกิริยาเคมี

21

จากผลการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลง
ของไอโอดีนเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่

22

จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 ถ้าการเปลี่ยนแปลง
ของไอโอดีนเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ อะไรเป็นการ
เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และอะไรเป็นการเปลี่ยนแปลง
ย้อนกลับ

	23 จากผลการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 จงเขียนย่อโดย ใช้ลูกศรแสดงการเปลี่ยนแปลงที่มั่นคงได้ของการเปลี่ยนแปลง ของไอโอคีน -----
21 ได้	24 จากผลการทดลอง 1.1 ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลง ของเลข (II) ไอโอโคค เป็นารเปลี่ยนแปลงที่มั่นคง ได้หรือไม่ -----
22 . ไอโอคีนซึ่งเป็นของแข็ง เมื่อเปลี่ยนสถานะไปเป็น ไอโอคีนในภาวะก๊าซเมื่อทำ ให้อนเป็นการเปลี่ยนแปลง ไปข้างหน้า และไอโอคีน เปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็น ของแข็งเมื่อทำให้เย็นลงเป็น การเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	25 ถ้าการเปลี่ยนแปลงของเลข (II) ไอโอโคคเป็น การเปลี่ยนแปลงที่มั่นคงได้ อะไรเป็นการเปลี่ยนแปลงไป ข้างหน้า และอะไรเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ -----

23 เพิ่มอนุภูมิ ไอโอคิน (ของแข็ง) $\xrightarrow{\text{ลดอนุภูมิ}}$ ไอโอคิน (ก๊าซ)	26 จงเขียนย่อโดยใช้ลูกศรแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ของการเปลี่ยนแปลงของเลข (II) ไอโอโคต์
24 ได้	27 จากผลการทดลอง 1.1 ตอนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่
25 เลข (II) ไอโอโคต์ ซึ่งเป็นของแข็งละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่อทำให้ร้อน เป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และเมื่อเย็นลงเลข (II) ไอโอโคต์ตกผลึกออกมาเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	28 ถ้าการเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ อะไรเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และอะไรเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ

26 เพิ่ม อุณหภูมิ เลข (ไอไอโคค $\rightleftharpoons$ สาร + น้ำ ละลาย อุณหภูมิ	29 จงเขียนย่อโดยใช้ลูกศรแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับ ไคของการเปลี่ยนแปลงของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ -----
27 ไค	30 ในชีวิตประจำวัน เราคุ้นเคยกับการระเหิดของสาร บางชนิด เช่น ลูกเหม็นที่ทิ้งไว้ในตู้มานาน ๆ จะมีขนาดเล็กลงเรื่อย ปรากฏการณ์เช่นนี้ ทำให้เรารู้สึกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทาง เคียวโดยไม่ผันกลับหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าเกิด ----- ----- เท่านั้น -----
28 โคบอลต์ (II) อีออน สีชมพูเปลี่ยนเป็นโคบอลต์ (II) อีออนสีน้ำเงิน เมื่อได้รับความ ร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงไป ข้างหน้าและเมื่อโคบอลต์ (II) อีออนสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็น โคบอลต์ (II) สีชมพูเมื่อ ทิ้งทิ้งไว้ให้เย็นเป็นการ เปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	31 ถ้าใส่ลูกเหม็นไว้ในขวดแล้วปิดจุกให้สนิท นักเรียนจะ สังเกตเห็นว่าลูกเหม็นจะมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ เหมือนกับทิ้งไว้ ในตู้ แต่จะมีเกล็ดของสารบางส่วนเกาะตามส่วนบนของขวด เพราะเหตุใด? -----

1.2 ระบบเปิดและระบบปิด

29 $\begin{array}{ccc} & \xrightarrow{\text{เพิ่มอุณหภูมิ}} & \\ \text{โคบอลต์ (II)} & \rightleftharpoons & \text{โคบอลต์ (II)} \\ \text{ไอออน} & & \text{ไอออน} \\ \text{(สีชมพู)} & & \text{(สีน้ำเงิน)} \\ & \xleftarrow{\text{ลดอุณหภูมิ}} & \end{array}$	1 การศึกษามวลของสารในปฏิกิริยาเคมีในบทที่ 2 นั้น ได้มีการทดลองกับระบบที่ใช้สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ ทำปฏิกิริยากับสารละลายเลด (II) ไนเตรตได้ตะกอนสีเหลืองของเลด (II) ไอโอไดด์ ซึ่งในระบบนี้มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารหลังทำปฏิกิริยาไม่ว่าเราจะทดลองในภาชนะปิดหรือเปิด ระบบเช่นนี้เราจัดเป็น <u>ระบบปิด</u> เหตุที่เราจัดว่าการทดลองของสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายเลด (II) ไนเตรตได้ตะกอนสีเหลืองของเลด (II) ไอโอไดด์เป็น <u>ระบบปิด</u> เพราะ ----- -----
30 การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า	
31 เพราะลูกเห็บจะระเหิดเป็นไอสาร์ (ซึ่งไม่อาจฟุ้งกระจายไปจากขวดได้) คือเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และเมื่อถึงภาวะหนึ่งไอสาร์ก็ตกกลับกลายมาเป็นของแข็งคือเกิดการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	2 ในระบบที่มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารหลังทำปฏิกิริยา เราจัดเป็นระบบปิดเนื่องจากไม่มีการถ่ายเทมวลของสารในระบบให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้มวลของสารทั้งหมดในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนพลังงานมีการถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมได้ ในระบบที่ใช้สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายเลด (II) ไนเตรตได้ตะกอนสีเหลืองของเลด (II) ไอโอไดด์ ซึ่งมวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารหลังทำปฏิกิริยาเนื่องจาก ----- ----- -----

1 มวลของสารก่อนทำ ปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสาร หลังทำปฏิกิริยา	3 ปฏิกิริยาที่จะจัดเป็นระบบปิดได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้ 1. _____ 2. _____ -----
2 ไม่มีการถ่ายเทมวลของ สารในระบบให้กับสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้มวลของสารทั้งหมด ในระบบไม่เปลี่ยนแปลง	4 การทดลองบางระบบ เช่น เมื่อใช้สารละลายกรด ไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับหินปูนซึ่งบรรจุอยู่ในขวดรูปกรวย ถ้าเราไม่ได้ปิดจุกขวด เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วมวลของสารในระบบ จะเปลี่ยนไป เนื่องจากถ่ายเทมวลให้กับสิ่งแวดล้อม เพราะ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นกระจายออกไปได้ ระบบเช่นนี้ เราจัดเป็น<u>ระบบเปิด</u> ซึ่งหมายถึงระบบที่มีการถ่ายเททั้งมวลของ สารและพลังงานให้แก่สิ่งแวดล้อมได้ เมื่อใช้โลหะทองแดงทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้น ได้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดรูปกรวย ถ้า ไม่ได้ปิดจุกขวดเป็นระบบเปิดเพราะ _____ -----
	5 จากกรอบที่ 4 ระบบเปิดหมายถึงระบบที่มีการถ่ายเท ทั้งมวลของสารและพลังงานให้แก่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นปฏิกิริยาที่จะจัดเป็นระบบเปิดได้นั้นจะต้องมีสมบัติ ต่อไปนี้ 1. _____ 2. _____ -----

3 1. ไม่มีการถ่ายเทมวลสารในระบบให้กับสิ่งแวดล้อม 2. พลังงานมีการถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม	6 ถ้าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับหินปูนซึ่งบรรจุอยู่ในขวดรูปกรวยและปิดจุกขวดเพื่อมิให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ฟุ้งกระจายออกไป ซึ่งมวลของสารรวมทั้งหมกในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ระบบนี้จัดเป็นระบบอะไร? เพราะเหตุใด? -----
4 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดฟุ้งกระจายออกไป	7 สรุปได้ว่า ระบบปิดต่างกับระบบเปิดในแง่ใด? -----
5 1. ระบบถ่ายเทมวลให้แก่สิ่งแวดล้อมได้ 2. ระบบถ่ายเทพลังงานให้แก่สิ่งแวดล้อมได้	8 สรุปได้ว่าระบบปิดเหมือนกับระบบเปิดในแง่ใด? -----

6

ระบบปิดเพราะมวลของ
สารรวมทั้งหมดในระบบไม่
เปลี่ยนแปลง

9

จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 เมื่อให้ความร้อนแก่
ไอโอดีนในภาชนะที่มีกระจกนาฬิกาปิด นักเรียนจะสังเกต
เห็นว่าเมื่อมีการระเหิดเกิดขึ้นไอของไอโอดีนไม่อาจพุ่งกระจาย
ออกไปจากภาชนะได้ ไอของไอโอดีนในภาชนะมีสีเข้มขึ้น
เรื่อย ๆ จนในที่สุดจะมีสีคงที่และมีเกล็ดไอโอดีนเกาะอยู่ข้าง
ภาชนะทั้งนี้เพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ เมื่อยก
ภาชนะบรรจุไอโอดีนออกจากน้ำร้อนแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
ปรากฏว่าภาชนะเย็นลง

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ของไอโอดีนเมื่อมีการระเหิด
เกิดขึ้น ไอของไอโอดีนไม่อาจพุ่งกระจายออกไปจากภาชนะ
ได้เพราะเหตุใด?

7

ในแง่ที่ว่าระบบปิดไม่
ถ่ายเทมวลสารให้แกสิ่ง
แวดล้อม ส่วนระบบเปิด
ถ่ายเทมวลสารให้กับสิ่ง
แวดล้อม

10

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ของไอโอดีนในภาชนะที่มี
กระจกนาฬิกาปิดจะทำให้มวลของไอโอดีนเป็นอย่างไร?

8

ในแง่ที่ว่าทั้งสองระบบ
ถ่ายเทพลังงานระหว่างระบบ
กับสิ่งแวดล้อมได้

11

เมื่อยกภาชนะบรรจุไอโอดีนออกจากน้ำร้อนแล้วตั้งทิ้งไว้
ที่อุณหภูมิห้อง ปรากฏว่าภาชนะเย็นลง แสดงว่ามีการถ่ายเท
ความร้อนระหว่าง ----- กับ -----

9 การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในภาวะที่มีกระจกนาฬิกาปิด	12 การเปลี่ยนแปลงที่ฉันทลับของไอโอคีนเกิดขึ้นในภาวะ ปิด เป็นการทดลองในระบบปิดหรือระบบเปิดเพราะเหตุใด? -----
10 มวลของไอโอคีนรวม ทั้งหมดในระบบไม่เปลี่ยน- แปลง	13 ถ้าทำการทดลองนี้ในภาวะเปิด ไอของไอโอคีนจะ พุ่งกระจายออกไปจากภาชนะจนในที่สุดไอโอคีนจะระเหิดไปหมด เป็นการทดลองในระบบปิดหรือเปิดเพราะเหตุใด? -----
11 ระบบกับสิ่งแวดล้อม	14 การระเหิดของไอโอคีนในระบบปิดและระบบเปิด ให้ผลเหมือนกันหรือแตกต่างกัน -----
12	15 จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 2 การเปลี่ยนแปลงที่ ฉันทลับไคของเลก (II) ไอโอโคคเกิดขึ้นในภาวะเปิด ถือเป็นระบบปิดหรือระบบเปิดเพราะเหตุใด? -----

12 ระบบปิดเพราะมีเฉพาะ การถ่ายเทพลังงานระหว่าง ระบบกับสิ่งแวดล้อม มิได้มี การถ่ายเทมวลของ ไอโอคีนเลย	16 จากการทดลอง 1.1 ตอนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงที่ ผันกลับได้ของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ นั้น เกิดขึ้นในภาวะเปิด ถือว่าเป็นระบบปิดหรือระบบเปิด -----
13 ระบบเปิดเพราะมีการ ถ่ายเทมวลของไอโอคีนให้ กับสิ่งแวดล้อม	17 จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในระบบของ <u>ถ้วยแก้วใส่น้ำแข็งทิ้งทิ้งไว้ในห้อง</u> ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ ผันกลับได้หรือไม่ เพราะเหตุใด? -----
14 แตกต่างกัน	18 จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในระบบของ<u>การใส่น้ำ</u> <u>เค็มหกลงในกระทิกแล้วปิดฝาให้แน่น</u> ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง ที่ผันกลับได้หรือไม่ เพราะเหตุใด? -----
15 ระบบปิดเพราะมิได้มี การถ่ายเทมวลของเลด (II) ไอโอไดด์ให้กับสิ่งแวดล้อม	-----

16 ระบบปิด (เพราะการอุ้มนั้นใช้ระยะเวลาสั้น ๆ จึงถือว่ามวลสารไม่หายไปคือน้ำไม่ระเหยไป)	19 จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบของ <u>ชาวใต้</u> <u>น้ำเชื่อมข้น ๆ ปิดฝาสนิทและมีเมล็ดน้ำตาลนอนก้นขวด</u> ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่ เพราะเหตุใด? -----
17 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับเพราะน้ำแข็งจะละลาย มีการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเพียงอย่างเดียว	20 จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบของ <u>การขมิ้นน้ำ</u> <u>กากจนเคี้ยว</u> ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่ เพราะเหตุใด? -----
18 เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้เพราะมีทั้งการกลายเป็นไอซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและเมื่อไอน้ำเย็นลงจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	21 จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบของ <u>การนึ่งข้าวเหนียวจนสุก</u> ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่ เพราะเหตุใด? (อธิบายในแง่ของข้าวเหนียว และน้ำที่ไอน้ำนึ่งข้าวเหนียวให้สุก) -----

19 เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ ผันกลับได้เพราะมีทั้งการ ละลายซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลง ไปข้างหน้าและการตกผลึกซึ่ง เป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	22 นักเรียนเคยพบตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้มา ก่อนแล้วมากมาย จงบอกมาสัก 1 อย่าง และอธิบายโดยย่อ -----
20 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ ผันกลับได้ เพราะน้ำจะ ระเหยไปเรื่อย ๆ เป็นการ เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเพียง อย่างเดียว	23 นักเรียนเคยทดลองการหลอมแอมพลีนในซามกระบือ เคลือบในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มาแล้ว การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้น ในระบบปิดหรือระบบเปิด เพราะเหตุใด? -----
21 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่ผันกลับเพราะน้ำเปลี่ยน สถานะเป็นไอพุ่งกระจาย ออกไปจากระบบได้	24 การทดลองใส่ชิ้นโลหะทองแดงลงในสารละลายกรด- ไนตริกเจือจางเป็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระบบปิดหรือระบบ เปิดเพราะเหตุใด? -----

22 ตัวอย่างเช่น

ในขบวนการน้ำอัมมที่ยังไม่เปิด มีการระเหยของน้ำอยู่ภายในขบวนการและกาซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนหนีออกไปอยู่ในที่ว่างเหนือระดับน้ำอัมมในขบวนการ เรียกว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า ในขณะที่เดียวกันจะมีไอน้ำกลั่นตัวและกาซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายลงไปใต้น้ำอัมมอีกจึงเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ นอกจากนี้ถ้าหาตัวอย่างสารละลายต่าง ๆ ที่อยู่ในขบวนการผลิต ประสิทธิภาพของเครื่องหรือในเทอร์โมมิเตอร์มีการระเหยและการกลั่นตัวของของเหลวเกิดขึ้นตลอดเวลา

25

การทดลองผสมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลงในปิกเกอร์ที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์บรรจุอยู่ จะได้เกลือโซเดียมคลอไรด์กับน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบปิด หรือระบบเปิดเพราะเหตุใด?

23

ระบบเปิดเพราะแอมพลีนาบางส่วนอาจเปลี่ยนสถานะเป็นไอฟุ้งกระจายออกไปจากระบบได้

26

การทดลองตั้งปิกเกอร์ใส่น้ำปูนใสไว้บนโต๊ะ 2-3 วัน จะมีฝ้าลอยอยู่บนผิวน้ำปูน เพราะกาซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำปูนใส เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบปิดหรือเปิดเพราะเหตุใด?

24

ระบบเปิดเพราะไอกาซในโถเจมนอนออกไอฟุ้งกระจายออกไปจากระบบได้

27

นักเรียนเคยต้มน้ำในกาให้เดือดในครัวประจำวันมา การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในระบบปิดหรือระบบเปิดเพราะเหตุใด?

25

ระบบปิดเพราะเมื่อผสมสาร-
ละลายกรดไฮโดรคลอริกในปิกเกอร์
ที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
บรรจุอยู่นั้นไม่มีการถ่ายเทมวลสาร
ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมเลย

28

การหุงข้าวเป็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในระบบปิดหรือ
ระบบเปิดเพราะเหตุใด? (อธิบายในแง่ของน้ำที่ใช้ในการ
หุงข้าว)

26

ระบบเปิดเพราะก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ
เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำปูนใส
ใต้นั้นคือ มีมวลสารถ่ายเท
เข้าสู่ระบบ

27

ระบบเปิด เพราะน้ำเปลี่ยน
สถานะเป็นไอพุ่งกระจายออกไปจาก
ระบบได้

28

ระบบเปิดเพราะน้ำ
เปลี่ยนสถานะเป็นไอฟุ้งกระจาย
ออกไปจากระบบได้

1.3 ภาวะสมดุล

1

ในบทที่ 2 เราได้เคยอภิปรายเกี่ยวกับการระเหยของของเหลว ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดแล้วตั้งทิ้งไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง ปรากฏว่าระดับของของเหลวลดลงเล็กน้อย เนื่องจากระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปอยู่เหนือระดับของของเหลวนั้น ขณะเดียวกันถ้าไอนี้จำนวนมากขึ้นก็จะเกิดการกลั่นตัวกลับมาเป็นของเหลวอีก

การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลง _____

2

การระเหยของของเหลวซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดแล้วตั้งทิ้งไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ฉับพลันได้จนกระทั่งระดับของของเหลวไม่ลดลงอีกต่อไปไม่ว่าจะตั้งทิ้งไว้นานเท่าใดก็ตาม เรากล่าวว่าของเหลวและไออยู่ในภาวะสมดุลแล้ว ณ อุณหภูมินั้น

เรากล่าวว่าของเหลวและไออยู่ในภาวะสมดุล แล้ว ณ อุณหภูมินั้น เนื่องจาก _____

1 ที่ฉันกลับได้	
2 เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ฉันกลับ ได้ และระดับของของเหลวไม่ลดลง อีก ต่อไปไม่ว่าจะตั้งทิ้งไว้นานเท่าใด ก็ตาม	

1.3.1 ภาวะสมคระหว่างสถานะ

3

เมื่อใส่เกล็ดไอโอดีนลงในขวดรูปกรวยแล้ว ใช้กระจก
นาฬิกาปิดไว้ให้ระเหิด ณ อุณหภูมิห้อง สักครู่หนึ่งจะพบว่าไอ
สีม่วงของไอโอดีนค่อย ๆ เข้มขึ้นจนในที่สุดสีจะคงที่ แสดงว่า
ไอของไอโอดีนมีความเข้มข้นคงที่แล้ว แม้ว่าตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ
ห้องนานเท่าใดก็ตาม สีก็จะไม่เปลี่ยนแปลง เรากล่าวว่า
ขณะนี้เกิด ----- ระหว่างไอโอดีนที่มี
สถานะ ----- กับไอโอดีนที่มีสถานะ
----- ในระบบปิด ณ อุณหภูมินั้น

4

สรุปได้ว่า เมื่อระบบปิดมีสมบัติต่าง ๆ คงที่แล้ว เรา
กล่าวว่าระบบอยู่ใน -----

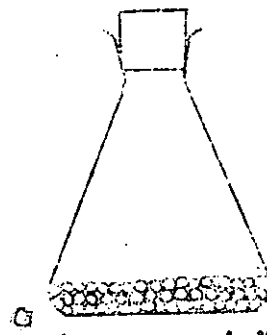
3

ภาวะสมดุล

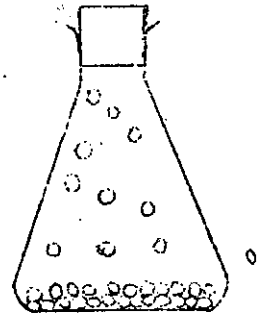
ก๊าซ

ของแข็ง

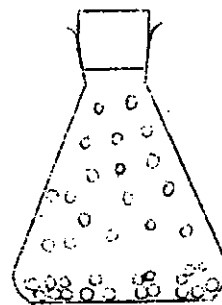
5



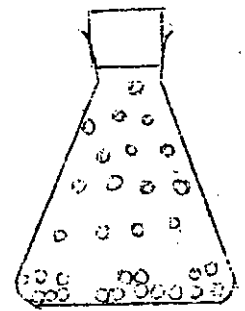
เมื่อไอไอคั้นเริ่มต้น



ในเวลาต่อมา



ณ ภาวะสมดุล



หลังภาวะสมดุล

รูปนี้แสดงอะไร?

4

ภาวะสมดุล

6

ถ้าลูกเหม็นที่มีสถานะก๊าซกับลูกเหม็นที่มีสถานะของแข็ง อยู่ในภาชนะปิด ณ อุณหภูมิที่ในภาวะสมดุลนาน ๆ จะเห็นว่า ลูกเหม็นจะมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ และมีเกล็ดของสารบางส่วนไถ่เกาะตามส่วนบนของภาชนะ อธิบายได้ว่า ณ ภาวะสมดุลมี โมเลกุลของไอบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และโมเลกุล ของของแข็งบางส่วนเปลี่ยนสถานะเป็นไอออกมาแทนที่ด้วยปริมาณ เท่า ๆ กัน

ถ้าไอโอดีนที่มีสถานะก๊าซกับไอโอดีนที่มีสถานะของแข็ง อยู่ในภาชนะปิด ณ อุณหภูมินั้นอยู่ในภาวะสมดุลนาน ๆ จะเป็นเช่นไร และอธิบายได้ว่าอย่างไร?

5

การเข้าสู่ภาวะสมดุลในการระเหิดของไอโอดีน

7

ถ้าไอโอดีนที่มีสถานะก๊าซกับไอโอดีนที่มีสถานะของแข็ง ในระบบปิด ณ อุณหภูมินั้นอยู่ในภาวะสมดุลนาน จะเห็นว่าเกล็ดไอโอดีนบางส่วนหายไป และบางส่วนเกิดใหม่โดยที่สีหรือความเข้มข้นของไอโอดีนคงที่ตลอดเวลาอาจกล่าวได้ว่าระบบมีทั้งการระเหิดและการตกผลึกเกิดขึ้นในขณะเดียวกันตลอดเวลา เมื่ออัตราการระเหิดเท่ากับอัตราการตกผลึก ระบบจึงอยู่ในภาวะสมดุล

ถ้าการระเหิดเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และการตกผลึกเป็นการเปลี่ยนแปลงอะไร?

6 เกล็ดไอโอคินบางส่วน หายไปและบางส่วนเกิดขึ้นใหม่ ซึ่งอธิบายได้ว่า ณ ภาวะสมดุล มีโมเลกุลของไอบางส่วนเปลี่ยน สถานะ เป็นของแข็งและโมเลกุล ของของแข็งบางส่วนเปลี่ยน สถานะ เป็นไอออกมาแทนที่ด้วย ปริมาณเท่า ๆ กัน	8 สรุปได้ว่า ในภาวะสมดุลระหว่างสถานะอัตราการ เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า ----- อัตราการ เปลี่ยนแปลงย้อนกลับ -----
7 การเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ	9 ในการทดลอง 1.1 ตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของ ไอโอคินนั้น เราทำให้ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเห็นไอของ ไอโอคินมีสีเข้มขึ้นแล้วสีจะคงที่อีก แสดงว่าระบบเข้าสู่ สภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง ณ อุณหภูมินั้น ดังนั้นเรา กล่าวได้ว่า ----- มีผลต่อภาวะสมดุล ระหว่างสถานะ ----- -----

8

เท่ากับ

9

อุณหภูมิ

1.3.2 ภาวะสมดุลในสารละลายอิ่มตัว

10

เมื่อของแข็งละลายอยู่ในของเหลวเราเรียกของแข็ง
ว่า ตัวถูกละลาย เรียกของเหลวว่า ตัวทำละลาย
ในกรณีของสารละลายน้ำตาล ตัวถูกละลายคือ
ตัวทำละลายคือ

11

ในสารละลายนั้น เมื่อตัวถูกละลายละลายได้มากขึ้น
ความเข้มข้นของสารละลายก็มากขึ้นตามลำดับ

สารละลาย ก. มีน้ำตาล 10 กรัม ละลายในน้ำ 100 กรัม
สารละลาย ข. มีน้ำตาล 20 กรัม ละลายในน้ำ 100 กรัม
สารละลายใดมีความเข้มข้นมากกว่า

10 น้ำตาล น้ำ	12 สารละลาย ก. มีของแข็งชนิดหนึ่ง 20 กรัม ในน้ำ 100 cm³ เมื่อเติมของแข็งลงไปอีก 10 กรัม ปรากฏว่าของแข็งละลายหมด สารละลาย ข. มีของแข็งชนิดเดียวกับสารละลาย ก. 20 กรัม ในน้ำ 100 cm³ เมื่อเติมของแข็งลงไปอีก 20 กรัม ปรากฏว่ามีของแข็งที่ไม่ละลายเหลืออยู่ สารละลายใดเป็นสารละลายอิ่มตัว? สารละลายใดเป็นสารละลายไม่อิ่มตัว? -----
11 สารละลาย ข.	13 ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นได้สูงถึงขีดหนึ่งเท่านั้น เมื่ออุณหภูมิคงที่ คือเพิ่มขึ้นจนสารละลายอิ่มตัว เมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้วเราใส่ตัวถูกละลายลงไปอีกก็จะไม่ละลาย สมมติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในน้ำ 100 cm³ ของแข็งชนิดหนึ่งละลายได้เต็มที่ 40 กรัม เมื่อเติมของแข็งนี้ลงไปอีกจะไม่ละลาย สารละลายนี้เป็นสารละลายอิ่มตัวที่อุณหภูมิใด? -----

12

สารละลาย ข.

สารละลาย ก.

14

ที่อุณหภูมิหนึ่ง เราไม่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายให้เกินระดับอิ่มตัวได้ แต่ถ้าเราเปลี่ยนอุณหภูมิสารนั้น จะละลายได้อีก

สารละลายอิ่มตัวของน้ำตาลที่อุณหภูมิของห้องนั้น ถ้าเราต้องการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายนี้อีก เราจะทำได้ โดยการ _____ ให้กับสารละลาย

13

25 องศาเซลเซียส

15

เมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้วหากเราลดปริมาณของตัวทำละลายลงเล็กน้อยโดยการระเหย ตัวถูกละลายก็จะแยกออกมา

ถ้ามีสารละลายอิ่มตัวของเกลือ และต้องการแยกเกลือออกมาเราจะทำได้อย่างไร?

16

ในสารละลายอิ่มตัวที่มีของแข็งเป็นตัวถูกละลาย เมื่อลดปริมาณของตัวทำละลายจะมีของแข็งเป็นผลึกแยกจากสารละลายซึ่งเราเรียกว่า เกิดการตกผลึก

เมื่อเรานำสารละลายอิ่มตัวของเกลือไปให้ความร้อนเพื่อให้มันระเหยออกไปแล้วทิ้งทิ้งไว้จะได้อีก -----

----- แยกออกจากสารละลาย

14 เพิ่มอุณหภูมิ	17 จงอธิบายวิธีการทดลองสังเกตของน้ำตาลอย่างย่อ
15 ลดปริมาณของน้ำตาล โดยการระเหย	นักเรียนได้เคยทดลองมาแล้วจากการทดลอง 1.1 และพบว่าไอของไอโอดีนอยู่ในภาวะสมดุลกับเกล็ดไอโอดีน ถ้าเราจะใส่เกล็ดไอโอดีนลงไปในตัวทำละลายบ้าง นักเรียนคิดว่าจะมีสมดุลเกิดขึ้นหรือไม่ และระบบจะมีสมบัติอย่างไรที่ภาวะสมดุล เราจะได้ศึกษาระบบเช่นนี้ในการทดลองต่อไป
16 ผลึกของเกลือ	ในการทดลองนักเรียนควรปฏิบัติดังนี้ นักเรียนควรเลือกไอโอดีนเกล็ดใหญ่ ๆ เพื่อจะได้มีปริมาณมากพอมีฉะนั้นไอโอดีนจะละลายหมด ถ้าละลายหมดให้เติมเกล็ดไอโอดีนลงไปอีกจนไอโอดีนไม่ละลายอีกต่อไป คือได้สารละลายอิ่มตัว
	<u>การทดลองที่ 1.2</u> ศึกษาการละลายของไอโอดีน <u>วิธีทำ</u> 1. ผสมเอทานอลกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร 2. แบ่งสารละลายนี้มาประมาณ 5 cm^3 ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3. ตักไอโอดีนเกล็ดใหญ่ ๆ ใส่ลงไป 3-4 เกล็ด ปิดจุกให้แน่นเขย่าแรง ๆ สังเกตรูปร่างและการเปลี่ยนแปลง แล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ สังเกตต่อไปอีก บันทึกผลทั้งหมดไว้

17

นำสารละลายอิมัลชันของ
น้ำตาลไปให้ความร้อนแล้ว
ตั้งทิ้งไว้ จะได้ผลึกของน้ำตาล
แยกออกจากสารละลาย

เมื่อนักเรียนบันทึกผลการทดลองลงในสมุดเสร็จแล้ว
ให้เขียนรายงานการทดลองตามแบบที่เคยทำมาแล้ว สรุปผล
การทดลองว่า เมื่อสารละลายอิมัลชันแล้วสีของสารละลายเป็น
เช่นไร และเกล็ดของไอโอดีนเหลืออยู่ในสารละลายหรือไม่

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.2 ศึกษาการละลายของไอโอดีน

วัตถุประสงค์ เพื่อสังเกตและพิจารณาว่าเมื่อมีสารละลายอิ่มตัวของสารชนิดหนึ่ง
จะเกิดภาวะสมดุลขึ้นหรือไม่

วิธีทำ ตักไอโอดีนใส่ลงในหลอดทดลอง ซึ่งมีสารละลายของเอทานอลใน
น้ำกลั่น ปิดจุกให้แน่นเขย่าแรง ๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลง
แล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ สังเกตต่อไปอีก บันทึกผลทั้งหมดไว้

ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

18

จากการทดลองเมื่อละลายเกล็ดไอโอไดน์ลงในสารละลายเอทานอลในน้ำกลั่น เกล็ดไอโอไดน์จำนวนหนึ่งจะละลาย ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นคือ สีของสารละลายจะค่อย ๆ เข้มขึ้น จนกระทั่งสีของสารละลายคงที่และเกล็ดไอโอไดน์ไม่ละลายอีกต่อไป

ขณะนี้สารละลายนี้เป็นสารละลายอิ่มตัว และมีความเข้มข้นคงที่แล้วหรือยัง เพราะเหตุใด?

19

จากการทดลองเมื่อสีของสารละลายคงที่ และเกล็ดของไอโอไดน์ไม่ละลายอีกต่อไป ขณะนี้สารละลายอิ่มตัวแล้วและความเข้มข้นคงที่ สมบัติเช่นนี้แสดงว่าสารละลายอิ่มตัวของไอโอไดน์อยู่ในภาวะสมดุลแล้วหรือยัง

20

ณ ภาวะสมดุลของสารละลายอิ่มตัวของไอโอไดน์ นักเรียนสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงใด ๆ หรือไม่

18

เป็นสารละลายอิมตัวและมี
ความเข้มข้นคงที่แล้วเพราะสี
ของสารละลายคงที่และเกล็ด
ไอโอดีนไม่ละลายอีกต่อไป

21

ณ ภาวะสมดุลของสารละลายอิมตัวของไอโอดีน นักเรียน
ไม่อาจสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ได้มีผู้ทำการทดลองเติม
เกล็ดไอโอดีนกับมันตรังสีลงในสารละลายอิมตัวนั้น และตั้งทิ้งไว้
สักพักหนึ่ง ซึ่งผู้ทดลองทราบว่าจะต้องมีการละลายเกิดขึ้นเนื่อง
จากตรวจพบไอโอดีนกับมันตรังสีในสารละลาย
----- (กรอบนี้ไม่ต้องตอบ) -----

19

อยู่ในภาวะสมดุลแล้ว

22

เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนคงที่ระบบมีไค
หุคหนึ่ง แต่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมีไอโอดีน
ที่ตกผลึกออกมา มีปริมาณเท่ากับปริมาณของไอโอดีนที่ละลาย
เข้าสู่สารละลายอยู่ตลอดเวลา
ระบบของสารละลายอิมตัวของไอโอดีนมีไคหุคหนึ่ง แต่
มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากอะไร?

20

ไม่สามารถสังเกตเห็น

23

สมดุลไดนามิก เป็นสมดุลที่ไม่เลวของสารในระบบ
ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา
ดังนั้นสมดุลของสารละลายอิมตัวของไอโอดีนจึงเป็น
สมดุลอะไร?

	24 สมมูลของสารละลายอื่นตัวของไอโอดีนเป็นสมมูล ไคนามิก เพราะ _____ _____
22 มีไอโอดีนที่ตกผลึกออกมา มีปริมาณเท่ากับปริมาณของ ไอโอดีนที่ละลายเข้าสู่ สารละลายอยู่ตลอดเวลา	25 จากการทดลอง การละลายไอโอดีนจนได้สารละลาย อื่นตัว ณ ภาวะสมมูลนั้น การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าคือ _____ การเปลี่ยนแปลงย้อนกลับคือ _____ _____
23 สมมูลไคนามิก	26 สารละลายอื่นตัวของไอโอดีนเกิดสมมูลขึ้น เพราะ _____ _____

24

มีการเปลี่ยนแปลงที่
ฉับกลับได้เกิดขึ้นตลอดเวลา

27

ในบทที่ 1 เราทราบมาแล้วว่าเราไม่สามารถเพิ่ม
ความเข้มข้นของสารละลายให้เกินระดับอิ่มตัวได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง
เว้นเสียแต่ว่าเปลี่ยนอุณหภูมิสารนั้นจึงจะละลายได้อีก

ถ้าต้องการให้ไอโอดีนละลายได้อีกในภาวะอิ่มตัวเรา
จะต้องเพิ่ม _____ ให้แก่ระบบ

25

การละลายของไอโอดีน
ในสารละลายเอทานอลกับ-
น้ำกลั่น
การตกผลึก

28

การละลายของสารที่ภาวะอิ่มตัวนั้น อุณหภูมิมีส่วน
เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารที่ละลายอยู่ ถ้าเราเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิปริมาณของสารที่ใช้ในการทำให้สารละลายนั้นอิ่มตัวก็จะ
ตามไปด้วย

26

ระบบมีการเปลี่ยนแปลง
ที่ฉับกลับได้เกิดขึ้นตลอดเวลา
โดยมีอัตราการละลายเท่ากับ
อัตราการตกผลึก

29

การละลายของสารที่ภาวะสมดุลของสารละลายอิ่มตัวนั้น
ถ้าเราเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปริมาณของสารที่ใช้ในการทำให้สาร
ละลายอิ่มตัวก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นอุณหภูมิเป็น
แฟกเตอร์ที่สำคัญประการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับ _____

27

อุณหภูมิ

30

จากการศึกษาภาวะที่สมดุลของสารละลายอิ่มตัวของ
ไอโอไดน์ สมบัติของระบบเช่น สีของสารละลายจะคงที่ ซึ่งเรา
ไม่สามารถมองเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้นทั้ง ๆ ที่
ระบบมีไคหยุคหนึ่ง แสดงว่า ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ สมบัติของระบบ
ณ ภาวะสมดุลจะต้องคงที่

ดังนั้นสมบัติของระบบ ณ ภาวะสมดุลจะต้องเป็น
อย่างไร?

28

เปลี่ยนแปลง

31

จากการศึกษาภาวะที่สมดุลของสารละลายอิ่มตัวของ
ไอโอไดน์ อัตราการละลายซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า
เท่ากับอัตราการตกผลึกซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ แสดงว่า
สมบัติของระบบ ณ ภาวะสมดุลจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอะไร
เกิดขึ้นตลอดเวลา

29

การละลายของสาร
ที่ภาวะสมดุลของสารละลาย
อิ่มตัว

32

จากการศึกษาภาวะที่สมดุลของสารละลายอิ่มตัวของ
ไอโอไดน์ มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้โดยอัตราการละลายเท่ากับ
อัตราการตกผลึก แสดงว่าสมบัติของระบบ ณ ภาวะสมดุลจะ
ต้องเกิดขึ้นในระบบปิดหรือระบบเปิด

30

กองที่

33

จากการศึกษา ณ ภาวะที่สมดุลของสารละลายอินทรีย์
ของไอโอดีน เราจึงสรุปได้ว่า สมบัติของระบบ ณ ภาวะสมดุล
จะต้องมีสมบัติดังนี้ คือ

1. -----

2. -----

3. -----

31

ที่ผันกลับได้

32

ระบบปิด

1.3.3 ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี

33

1. ระบบมีสมบัติคงที่
2. มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้เกิดขึ้นตลอดเวลา
3. เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบ

ในปฏิกิริยาเคมีที่นักเรียนได้เคยทำการทดลองมาแล้ว ยังไม่เคยพิจารณาว่ามีภาวะสมดุลเกิดขึ้นหรือไม่ ในตอนนี้เราจะทำการทดลองเพื่อหาข้อมูลสำหรับพิจารณาเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมีว่าเกิดขึ้นอย่างไร และถ้ามีสมดุลเกิดขึ้นจะมีข้อสรุปทางองเกี่ยวกับภาวะสมดุลระหว่างสถานะ และภาวะสมดุลในสารละลายอื่นตัวหรือไม่

ปฏิกิริยาที่จะศึกษาต่อไป เป็นปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออน กับซิลเวอร์อีออน ซึ่งเกิดจากการผสมสารละลายที่มีอีออนทั้งสองเข้าด้วยกัน เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



เราจะทำการทดลองเพื่อหาข้อมูลมาประกอบการวินิจฉัยว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนสมบูรณ์ สารตั้งต้นชนิดหนึ่งชนิดใดคงจะหมดไป แต่ถ้าปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ ก็เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ก็คงจะมีสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทุกชนิดอยู่รวมกันในระบบตลอดเวลา

การทดลองที่ 1.3 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอร์ออน (II)

อีออนกับซิลเวอร์อีออน การทดลองนี้แบ่งได้เป็น

3 ตอน

ตอนที่ 1 เป็นการทดสอบสมบัติของ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ เพื่อนำไปใช้ตอนต่อไป

ตอนที่ 2 ทดสอบไอออนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ว่ามี $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ เกิดขึ้นหรือไม่ และยังมี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ เหลืออยู่หรือไม่ โดยใช้วิธี ทดสอบดังตอนที่ 1

ตอนที่ 3 ทดสอบปฏิกิริยาย้อนกลับโดยถือว่า $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ทำปฏิกิริยากับโลหะเงินได้จริงในปฏิกิริยา ก็ควรจะมี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ เกิด ซึ่งควร ทดสอบได้ดังตอนที่ 1

วิธีทำ ตอนที่ 1 การทดสอบไอร่อน (II) อีออนและ ไอร่อน (III) อีออน

1. นำหลอดทดลองขนาดกลาง 2 หลอด หลอดหนึ่ง บรรจุสารละลายไอร่อน (II) ซัลเฟต 0.1 mol/l 5 cm^3 อีกหลอดหนึ่งบรรจุสารละลายไอร่อน (III) ในเทรต 0.1 mol/l 5 cm^3 แล้วหยดสารละลายอัมโมเนียม ไธโอไซยาเนต 0.2 mol/l ประมาณ 2 - 3 หยด ลงในสารละลายแต่ละหลอด เปรียบเทียบผลที่ได้ และบันทึกไว้

2. นำหลอดทดลองขนาดกลางมาอีก 2 หลอด หลอดหนึ่งบรรจุสารละลายไอร่อน (II) ซัลเฟต อีกหลอดหนึ่งบรรจุสารละลายไอร่อน (III) ในเทรต ใช้ ชนิดละ 5 cm^3 แล้วหยดสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) 0.2 mol/l ลงในสารละลายทั้งสองหลอด หลอดละ 2 - 3 หยด เปรียบเทียบผลที่ได้และบันทึกไว้

นักเรียนบันทึกผลการทดลองลงในสมุดแล้วเขียนรายงาน การทดลองในช่องสรุปนั้น ให้เขียนเฉพาะผลการทดลองของ

ปฏิกิริยาที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนซึ่งได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสารละลายไอร็อน (II) ซัลเฟต กับสารละลายไอร็อน (III) ในเตรต โดยใช้สารละลายอัมโมเนียม-ไซโอไซยาเนต และสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III)

การสรุปผลการทดลองให้สรุปเป็นข้อดังนี้

1. ถ้าจะทดสอบว่าสารละลายมี $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ อยู่ให้เติมสารละลายอะไร? ซึ่งจะได้ผลเป็นอย่างไร?
2. ถ้าจะทดสอบว่าสารละลายมี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ อยู่ให้เติมสารละลายอะไร? ซึ่งจะได้ผลเป็นอย่างไร?

ตอนที่ 2 ทดสอบไอออนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไอร็อน

(II) อีออนกับซิลเวอร์อีออน

1. ใช้หลอดทดลองขนาดกลางบรรจุสารละลายไอร็อน

(II) ซัลเฟตประมาณ 5 cm^3 แล้วเติมสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 0.1 mol/l ประมาณ 5 cm^3 ลงไปคนหรือเขย่าเบา ๆ สังเกตและบันทึกผลตั้งแต่เริ่มต้น

2. กรองตะกอนที่เกิดขึ้น (เก็บตะกอนแช่น้ำไว้ในหลอดทดลองขนาดกลาง เพื่อนำไปใช้ในกรรทดลองตอนที่ 3) แล้วแบ่งสารละลายที่กรองได้ออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ใส่หลอดทดลองขนาดเล็ก 2 หลอดและเขียนหมายเลขกำกับไว้

3. หยดสารละลายอัมโมเนียมไซโอไซยาเนตประมาณ 2 - 3 หยดลงในสารละลายหลอดที่ 1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้

4. หยดสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) ประมาณ 2-3 หยดลงในสารละลายหลอดที่ 2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้

นักเรียนบันทึกผลการทดลองลงในสมุดแล้วเขียนรายงาน
การทดลอง การสรุปผลการทดลองให้สรุปว่า เมื่อผสมสารละลาย
ที่มี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ เข้าด้วยกันจะ
ตะกอนของโลหะอะไรและอ็อกซิเดชันรีดักชันเกิดขึ้น และนอกจากนี้
ยังพบอ็อกซิเดชันรีดักชันในสารละลายด้วย

ตอนที่ 3 การทดสอบปฏิกิริยาย้อนกลับ

- นำตะกอนที่เก็บไว้จากตอนที่ 2 รินน้ำออกแล้ว
เติมสารละลายไฮดรอกไซด์ (III) ในเตรตลงประมาณ
 5 cm^3 ปิดจุกให้แน่น เขย่าแรง ๆ สังเกตและเปรียบเทียบ
ปริมาณของตะกอนที่มีอยู่เดิมกับที่มีอยู่หลังจากเขย่า บันทึกผล
- แบ่งสารละลายจากข้อ 1 มาประมาณ 2 cm^3
แล้วเติมสารละลายโพตัสเซียมเฮกซะไซยาไนด์ในเฟอร์เรต (III)
ลงไปประมาณ 2 - 3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล

นักเรียนบันทึกผลการทดลองลงในสมุดแล้วเขียนรายงาน
การทดลอง การสรุปผลการทดลองให้สรุปว่า $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
ทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะเงินหรือไม่ และทดสอบได้ว่าสารละลาย
นั้นมีอ็อกซิเดชันรีดักชันเกิดขึ้น

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.3 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์อีออน
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีบางชนิด ณ ภาวะสมดุล

วิธีทำ ตอนที่ 1 การทดสอบไอร์ออน (II) อีออนและไอร์ออน (III) อีออน

1. หยดสารละลายโมเนียมไซโอไซยาเนตลงในหลอดสารละลาย
 ไอร์ออน (II.) ซัลเฟตและหลอดสารละลายไอร์ออน (III) ในเทรต
 เปรียบเทียบผลที่ได้และบันทึกไว้

2. หยดสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (II)
 ลงในหลอดสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตและหลอดสารละลายไอร์ออน
 (III) ในเทรตเปรียบเทียบผลที่ได้และบันทึกไว้

ผลการทดลอง

สารละลายที่ใช้	ผลที่สังเกตได้		สรุป
	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	
อัมโมเนียมไซโอไซยาเนต			
โปตัสเซียมเฮกซาไซยาโน เฟอร์เรต (III)			

สรุปผลการทดลอง

วิธีทำ ตอนที่ 2 ทดสอบไอออนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไอร้ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์ไอออน

1. เติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตลงในสารละลายไอร้ออน (II) ชัลเฟต คนหรือเขย่าเบา ๆ สังเกตและบันทึกผลตั้งแต่เริ่มต้น
2. กรองตะกอนที่เกิดขึ้น แบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ใส่หลอดทดลอง 2 หลอด
3. หยดสารละลายแอมโมเนียมไซโอไซยาเนตลงในสารละลายหลอดที่ 1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้
4. หยดสารละลายโป คัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) ลงในสารละลายหลอดที่ 2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้

ผลการทดลอง

การทดลอง	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้	อธิบายผลที่เกิดขึ้น
1. เมื่อผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตกับสารละลายไอร้ออน (II) ชัลเฟต		
2. เมื่อทดสอบสารละลายได้จากข้อ 1 โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมไซโอไซยาเนต		
3. เมื่อทดสอบสารละลายได้จากข้อ 1 โดยใช้โปคัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III)		

สรุปผลการทดลอง

วิธีทำ ตอนที่ 3 การทดสอบปฏิกิริยาย้อนกลับ

1. นำตะกอนที่เก็บไว้จากตอนที่ 2 มาเติมสารละลายไอโอรอน (III) ในกรดปิกริกให้แน่นเขย่าแรง ๆ สังเกตและเปรียบเทียบปริมาณของตะกอนที่มีอยู่เดิมกับที่มีอยู่หลังจากเขย่า บันทึกผล
2. แบ่งสารละลายจากข้อ 1 เติมสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล

ผลการทดลอง

1.

2.

สรุปผลการทดลอง

1

ในการทดสอบอ็อนในปฏิกิริยาเคมีนั้น สารที่นำมาทดสอบ จะต้องให้ปฏิกิริยาที่เห็นเด่นชัด ซึ่งอาจจะเป็นสีที่เราสังเกตได้ อย่างชัดเจน จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อสารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอร็อน (II) อ็อนและไอร็อน (III) อ็อน ได้สารละลายสีเหลืองและสีแดงตามลำดับ

ฉะนั้น สารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ควรจะใช้ทดสอบสารละลายอะไร? และได้สารละลายสีอะไร?

2

ในการทดสอบอ็อนในปฏิกิริยาเคมีนั้น สารที่นำมาทดสอบ จะต้องให้ปฏิกิริยาที่เห็นเด่นชัด ซึ่งอาจจะเป็นสีของตะกอน ที่เราสังเกตได้อย่างชัดเจน จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอร็อน (II) อ็อนได้สารละลายไม่มีสีและตะกอนสีน้ำเงิน ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอร็อน (III) อ็อนได้สารละลายและตะกอนสีเขียวปนน้ำตาล

ฉะนั้น สารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) ควรจะใช้ทดสอบสารละลายอะไร? และได้ตะกอนสีอะไร?

1 สารละลายไอร่อน (III) อีออน สว้รละลาย สีแดงสก	3 เมื่อสาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B จะได้สาร C และ สาร D เกิดขึ้น ซึ่งเขียนสมการเคมีแทนปฏิกิริยาได้ดังนี้ $A + B \longrightarrow C + D$ จากการทดลองตอนที่ 2 เมื่อผสมสารละลายที่มี $Fe^{2+}(aq)$ และ $Ag^+(aq)$ เข้าด้วยกัน จะสังเกตเห็นว่ามีตะกอนสีเทา คือโลหะเงิน $Ag(s)$ และ $Fe^{3+}(aq)$ เกิดขึ้น จงเขียน สมการเคมีแทนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น -----
2 สารละลายไอร่อน (II) อีออนตะกอน สีน้ำเงิน	4 จากการทดลองตอนที่ 2 ในขณะที่เดียวกันก็ยังคง พบว่ามี $Fe^{2+}(aq)$ อยู่ในสารละลายด้วย จึงอาจจะคิดได้ว่า ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยา ----- -----
	5 จากสมมุติฐานที่ว่าปฏิกิริยาระหว่างไอร่อน (II) อีออน กับซิลเวอร์อีออนเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ถ้าเรานำ $Fe^{3+}(aq)$ มาทำปฏิกิริยากับตะกอนเงิน ควรมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นและให้ $Fe^{2+}(aq)$ และ $Ag^+(aq)$ ซึ่งจากการทดลองตอนที่ 3 เราได้ทดสอบสมมุติฐาน ผลที่ได้แสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่าง ----- กับ ----- -----

3 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$	6 จากการทดลองตอนที่ 3 แสดงว่ามีปฏิกิริยาเคมีระหว่าง $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ กับตะกอนของโลหะเงินและทดสอบได้ว่า สารละลายนั้นมี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ เกิดขึ้น จึงเป็นการยืนยันได้ว่าปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ เป็นปฏิกิริยา _____
4 ที่ผันกลับได้	7 ปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์อีออน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ เมื่อเริ่มด้วยไอร์ออน (II) อีออน ทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์อีออนเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นคืออะไร? พร้อมทั้งเขียนสมการเคมีแทนปฏิกิริยาไปข้างหน้าที่เกิดขึ้น _____
5 $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ตะกอนของโลหะเงิน	8 ปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์อีออน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไอร์ออน (III) อีออนและตะกอนโลหะเงิน เมื่อผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากันจะกลับคืนมาเป็นสารตั้งต้นอีกจะได้สารอะไร? พร้อมทั้งเขียนสมการเคมีแทนปฏิกิริยาย้อนกลับที่เกิดขึ้น _____

6

ที่ผันกลับได้

9

สาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B ได้สาร C และสาร D ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ เมื่อใดที่ระบบอยู่ในภาวะสมดุลที่เรียกว่า สมดุลไดนามิก จะเขียนสมการได้ดังนี้

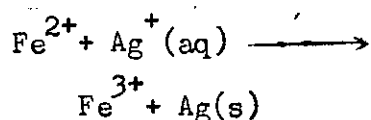


เครื่องหมาย $\rightleftharpoons$ แสดงว่ามีปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าและย้อนกลับด้วยอัตราการเกิดเท่า ๆ กัน และระบบอยู่ในสมดุล

จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าและย้อนกลับด้วยอัตราการเกิดเท่า ๆ กัน และระบบอยู่ในสมดุลของปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออน และซิลเวอร์อีออน

7 ไอร์ออน (III)

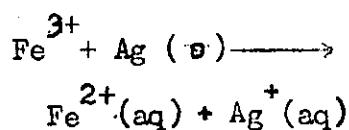
ไอออนกับตะกอนของโลหะเงิน



8

ไอร์ออน (II)

อีออนและซิลเวอร์อีออน



10

เมื่อมีภาวะสมดุลเกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี เราสามารถทดสอบว่ามีสารตั้งต้นทุกชนิดปนอยู่กับผลิตภัณฑ์

จากการทดลองที่ I.3 เมื่อมีภาวะสมดุลเกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอร์ออน (II) อีออนและซิลเวอร์อีออน เราจะสามารถทดสอบว่ามีสารและอีออนบวกอะไรบ้างในปฏิกิริยา

	11	ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่งไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะ การเกิดสารละลายหรือการเกิดปฏิกิริยาเคมี จะต้องเป็นระบบปิด ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับ ----- -----
9 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^{+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$	12	ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่งโมเลกุลต่าง ๆ ในระบบมีได้หยุดนิ่งมีการเปลี่ยนแปลงผันกลับได้เกิดขึ้นตลอดเวลา แต่สมบัติที่สังเกตได้จากระบบจะคงที่ เช่น สีของก๊าซ หรือสีของสารละลายมีความเข้มคงที่ เนื่องจากระบบมีสมบัติ ----- -----
10 ไอร์ออน (II) อ็อกไซด์ ซิลเวอร์อ็อกไซด์ ไอร์ออน (III) อ็อกไซด์ ตะกอนของโลหะเงิน	13	ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่งไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะ การเกิดสารละลายหรือการเกิดปฏิกิริยาเคมี สรุปได้ว่าจะต้องเป็นระบบปิดที่มีคุณสมบัติดังนี้ 1. ----- 2. ----- -----

11

อัตราการเกิดปฏิกิริยา
ย้อนกลับ

14

ถ้าบรรจุน้ำเกลือที่ยังไม่อิ่มตัวในภาชนะใบหนึ่งตั้งทิ้งไว้
สักครู่แล้ว สังเกตดูจะเห็นว่าไม่มีเกลือตกผลึกออกมาหรือระดับน้ำ
ไม่ลดลง แสดงว่าสมบัติของระบบยังคงที่ แต่เราไม่เรียกระบบ
เช่นนี้ว่าอยู่ในภาวะสมดุลเพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้
แต่ถ้าบรรจุน้ำตาลละลายของน้ำตาลที่ไม่อิ่มตัวแทนน้ำเกลือ
ระบบจะอยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่ เพราะเหตุใดและสมบัติของ
ระบบยังคงที่หรือไม่

12

คงที่

15

ถ้าน้ำเกลือนั้นเป็นน้ำเกลืออิ่มตัวซึ่งมีผลึกของเกลือตกอยู่
ก็จะเห็นว่าระบบมีสมบัติคงที่เช่นกัน เรากล่าวว่าน้ำเกลืออิ่มตัวนี้อยู่
ในภาวะสมดุล เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ระหว่างการ
ตกผลึกกับการละลายของเกลือ เกิดขึ้นด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง
เท่า ๆ กัน

แต่ถ้าบรรจุน้ำตาลอิ่มตัวของน้ำตาลแทนน้ำเกลืออิ่มตัว
และมีผลึกของน้ำตาลอยู่ด้วย ระบบจะอยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่
เพราะเหตุใด และสมบัติของระบบคงที่หรือไม่

13 1. อัตราการเกิด ปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่าอัตรา เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ 2. ระบบมีสมบัติคงที่	16 เราสรุปได้ว่าระบบที่มีสมบัติคงที่ อาจจะ _____ ในภาวะสมดุลหรือ _____ ในภาวะส ก็ได้ _____
14 ระบบไม่อยู่ในภาวะ สมดุลเพราะไม่มีการ เปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้และ สมบัติของระบบยังคงที่	17 นำถ้วยแก้วขนาดเดียวกันมา 2 ใบ รินน้ำใส่ใบละครึ่งแ ใช้แผ่นกระจกปิดถ้วยใบหนึ่งไว้ ส่วนอีกใบหนึ่งไม่ต้องปิด ตั้งน้ำ ทั้งสองถ้วยไว้สัก 3 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด?
15 ระบบอยู่ในภาวะสมดุล เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่ ผันกลับได้เกิดขึ้นด้วย อัตราการเปลี่ยนแปลง เท่า ๆ กันและสมบัติของ ระบบคงที่	18 ปรอทและไอปรอทในเทอร์โมมิเตอร์ มีอุณหภูมิคงที่เป็น ระบบมีสมบัติคงที่ ระบบนี้อยู่ในภาวะสมดุลทางเคมีหรือไม่ เพราะเหตุใด? (ให้ตอบว่าเพราะเป็นระบบปิดหรือเปิด)

16 อยู่ ไม่อยู่	19 จุ่มหลอดตะปัดลงไปในน้ำ น้ำจะเข้าไปในหลอด เนื่องจากความตึงผิว ทำให้ระดับน้ำในหลอดสูงกว่าน้ำภายนอก และระดับน้ำในหลอดคงที่เพราะ แรงความตึงผิวของน้ำเท่ากับ แรงโน้มถ่วงของโลก ระบบนี้อยู่ในภาวะสมดุลทางเคมีหรือไม่ เพราะเหตุใด? (ให้ตอบว่าเพราะเป็นระบบปิดหรือระบบเปิด)
17 ทางกัน คือ น้ำในถ้วยแก้ว ใบที่ไม่มีแผ่นกระจกปิดน้ำจะลดลง จากระดับเดิมมากกว่า เพราะ น้ำ ระเหยออกไม่ได้ตลอดเวลา ส่วน ใบที่ปิดด้วยแผ่นกระจกจะเกิด ปฏิกิริยาผันกลับระหว่างน้ำกับ ไอน้ำ เมื่อการ ระเหยและการ กลั่นตัวในขณะเดียวกันในถ้วยแก้ว ปิดนี้ถึงสมดุลระดับน้ำในถ้วยแก้ว จึงคงที่ไม่ลดลงอีก	20 ห่อผ้าไม่ล่อน้ำ ระบบนี้อยู่ในภาวะสมดุลทางเคมีหรือไม่ เพราะเหตุใด? (ให้ตอบว่าเพราะเป็นระบบปิดหรือระบบเปิด)
18 ระบบนี้อยู่ในภาวะสมดุล เพราะเป็นระบบปิด (มีการ เปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้เกิดขึ้น)	21 คนที่มีสุขภาพปกติ มีอุณหภูมิในร่างกายคงที่ ระบบนี้ อยู่ในภาวะสมดุลทางเคมีหรือไม่ เพราะเหตุใด? (ให้ตอบว่าเพราะเป็นระบบปิดหรือระบบเปิด)

19

ระบบนี้เมื่อพิจารณาที่พื้นที่ในอากาศ
ถือว่าเป็นระบบเปิด เพราะน้ำในหลอด
จะเปิดโล่งไปยังไม่ระเหยออกไป และเมื่อ
เลื่อนหลอดขึ้นลง ความสูงของระดับน้ำ
ในหลอดเหนือผิวน้ำในภาชนะจะคงที่
ดังนั้นระบบนี้จึงไม่อยู่ในภาวะสมดุล แต่
อาจกล่าวได้ว่าระบบนี้อยู่ในภาวะสมดุล
ทางฟิสิกส์ เพราะแรงดึงดูดของน้ำ
เท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก

20

ระบบนี้ไม่อยู่ในภาวะสมดุล เพราะ
เป็นระบบเปิด (ที่มีสมบัติคงที่ คืออุณหภูมิ
ของน้ำ ตลอดเวลาโดยมีส่วนที่สัมผัสกับน้ำ
และส่วนที่จมน้ำคงที่)

21

ระบบนี้ไม่อยู่ในภาวะสมดุล เพราะ
ร่างกายคนเป็นระบบเปิด (ที่มีสมบัติคงที่
คือมีอุณหภูมิคงที่)

1.4 การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบ

ในการทดลองที่ 1.3 นักเรียนได้เห็นแล้วว่าเมื่อมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างไอร่อน (II) อีออนและซิลเวอร์อีออนนั้น ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ค่อนข้างเร็ว ถ้านักเรียนทำการทดลองมากขึ้น ก็จะพบว่าระบบต่าง ๆ เข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วช้าต่างกัน บางระบบอาจจะใช้เวลามาก บางระบบใช้เวลาน้อยในการที่จะเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะแต่ละระบบมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็ว และช้าแตกต่างกัน เราจะทราบว่าระบบอยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่ โดยดูจากสมบัติของระบบดังกล่าวมาแล้ว

ในการทดลองต่อไปนี้นักเรียนจะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ในระบบต่าง ๆ โดยเริ่มด้วยการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า หรือเริ่มการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อติดตามสังเกตว่าระบบนั้นดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยเริ่มจากทิศทางใด

การทดลองที่ 1.4 การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของการเปลี่ยนแปลง

ต่าง ๆ การทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ระบบที่ทดลองเป็นสารละลายของไอโอดีนใน ตัวทำละลายต่างกัน สารละลายมีสีเข้มมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลายนั้น

ตอนที่ 2 นักเรียนได้เคยทดลองและทราบมาแล้วว่า การเปลี่ยนสีของสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์เมื่ออุณหภูมิ เปลี่ยนแปลง เป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ในตอนนี้ต้องการจะศึกษาปฏิกิริยานี้เข้าสู่ภาวะสมดุลในทิศทางใด

วิธีทำ ตอนที่ 1 การละลายของไอโอดีน

1. บรรจุเฮกเซน 5 cm^3 ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง หยดสารละลายไอโอดีน 5 หยดแล้วเขย่า สังเกตและบันทึกผล

2. บรรจุสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์ 0.1 mol/l 5 c ลงในหลอดทดลองขนาดกลางอีกหลอดหนึ่ง หยดสารละลายไอโอดีน 5 หยด แล้วเขย่าสังเกตและบันทึกผล

3. เติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์ 0.1 mol/l 5 cm ลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 1 และเติมเฮกเซน 5 cm^3 ลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 2

4. เอาจุกปิดหลอดทั้งสองให้แน่นเขย่าพร้อม ๆ กัน เปรียบเทียบสีของสารละลายในหลอดทดลองทั้งสอง บันทึกผลไว้

รวบรวมหลอดบรรจุสารละลายที่ได้จากการทดลองทั้งสอง หลอดของนักเรียนทุกกลุ่มเก็บไว้ไม่ให้ถูกแสงเพื่อใช้ในการทดลองที่

1.7

นักเรียนบันทึกผลการทดลอง แล้วเขียนรายงานการ

ทดลอง

สรุปผลการทดลองครั้งนี้

1. สีของสารละลายไอโอดีนในเฮกเซนและในโพตัสเซียมไอโอไดค์เหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร

2. เมื่อเติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์ลงในสารละลายไอโอดีนในเฮกเซน สารละลายที่ได้จะมีลักษณะเหมือนหรือต่างกับ สารละลายที่ได้จากการเติมสารละลายไอโอดีนในโพตัสเซียมไอโอไดค์

ตอนที่ 2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์

1. รินสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ใส่หลอดทดลองขนาด เล็ก สองหลอด หลอดละประมาณ 2 cm^3 บันทึกสีของสารละลายไว้
2. นำหลอดที่บรรจุสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์มาหลอดหนึ่ง อุ่นจนเกือบเดือด สังเกตและบันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงไป
3. จุ่มสารละลายทั้งสองหลอดลงในปีกเกอร์ที่บรรจุ น้ำอุ่นประมาณ 50°C ให้พอดีกับระดับของสารละลายในหลอด สังเกตสีของสารในหลอดทั้งสอง เปรียบเทียบผลและบันทึกไว้
นักเรียนบันทึกผลการทดลองแล้วเขียนรายงานการทดลอง
สรุปผลการทดลองดังนี้

เมื่อนำสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์หลอดที่มีอุณหภูมิเท่ากับห้องทดลองซึ่งมีสีชมพู และหลอดที่มีอุณหภูมิสูงจนเกือบเดือดซึ่งมีสีน้ำเงินมาจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 50°C องศาเซลเซียส ควบคู่กัน จะได้สารละลายที่มีสีเหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.4 การคำนวณเข้าสู่ภาวะสมดุลของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาว่าระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้นั้น จะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ ไม่ว่าจะเริ่มการเปลี่ยนแปลงที่ไปข้างหน้าหรือเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ

วิธีทำ ตอนที่ 1 การละลายของไอโอไดน์

1. บรรจุเฮกเซนลงในหลอดทดลอง หยดสารละลายไอโอไดน์แล้วเขย่า สังเกตและบันทึกผล

2. บรรจุสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงในหลอดทดลอง หยดสารละลายไอโอไดน์แล้วเขย่า สังเกตและบันทึกผล

3. เติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 1 และเติมเฮกเซนลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 2

4. ตาจุกบิคหลอดทั้งสองให้แน่นเขย่าพร้อม ๆ กัน เปรียบเทียบสีของสารละลายในหลอดทดลองทั้งสอง บันทึกผลไว้

ผลการทดลอง

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

สรุปผลการทดลอง

- 1.
- 2.

วิธีทำ ตอนที่ 2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์

1. รินสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ใส่หลอดทดลอง 2 หลอด บันทึกสีของสารละลายไว้
2. นำหลอดที่บรรจุสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์มาหยดหนึ่ง
อุณจนเกือบเหือด สังเกตและบันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงไป
3. รินสารละลายทั้งสองหลอดลงในปิอกเกอร์ที่บรรจุน้ำอุ่นประมาณ
50 องศาเซลเซียส สังเกตสีของสารในหลอดทั้งสอง เปรียบเทียบผลและบันทึกไว้

ผลการทดลอง

1.

2.

3.

สรุปผลการทดลอง

1

จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อเติมสารละลายโปแตสเซียม
ไอโอไดค์ ลงในสารละลายไอโอดีนในเฮกเซนจะเห็นสารละลาย
แยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนมีสีชมพูเหมือนสารละลายไอโอดีนในเฮกเซน
ชั้นล่างมีสีน้ำตาลปนเหลืองเหมือนสารละลายไอโอดีนในโปแตสเซียม
ไอโอไดค์ แสดงว่าไอโอดีนในสารละลาย _____
บางส่วนเคลื่อนที่ไปอยู่ในสารละลาย _____

2

เมื่อทดลองกลับกันโดยเติมเฮกเซนลงในสารละลายไอโอดีน
ในโปแตสเซียมไอโอไดค์ ก็จะมีสารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ให้ผล
เหมือนการทดลองตอนแรก ทั้งลักษณะและความเข้มข้นของแต่ละชั้น
แสดงว่า _____

1 เฮกเซน ปฏิกิริยาไอโอไดด์	3 การที่ไอโอดีนบางส่วนจากชั้นเฮกเซนเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในชั้นของสารละลายปฏิกิริยาไอโอไดด์ ถ้าถือว่าการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เป็น การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า ฉะนั้นการที่ไอโอดีนบางส่วนในสารละลายปฏิกิริยาไอโอไดด์เคลื่อนที่กลับมาอยู่ในสารละลายเฮกเซนก็จะเป็น _____
2 ไอโอดีนในสารละลายปฏิกิริยาไอโอไดด์บางส่วนเคลื่อนที่ไปอยู่ในสารละลายเฮกเซน	4 การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าของปฏิกิริยานี้เขียนแสดงได้ดังนี้ $I_2(\text{Hexane}) \longrightarrow I_2(\text{KI(aq)})$ จงเขียนแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ย้อนกลับ
	5 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ เกิดขึ้นในระบบปิดแล้ว ระบบมีสมบัติคงที่คือสารละลายแยกตัวออกเป็นสองชั้น และมีความเข้มข้นของสปีในแต่ละชั้นเหมือนกันทุกประการ ระบบนี้จึงอยู่ใน _____

3 การเปลี่ยนแปลง ย้อนกลับ	6 จากการทดลองตอนที่ 1 เราจะเห็นได้ว่าการดำเนินเข้าสู่ ภาวะสมดุลของระบบนี้ ไม่ว่าจะเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า หรือเริ่มจากการ เปลี่ยนแปลงย้อนกลับอย่างไรก็อย่างหนึ่งจะไ้ผลหรือไม่ ไ้ผลเช่นเดียวกัน -----
4 $I_2(KI(aq)) \longrightarrow I_2(Hexane)$	7 จงเขียนสมการแสดงการ เปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ ของระบบนี้ -----
5 ภาวะสมดุล	8 นักเรียนเคยทดลองมาแล้วในการทดลองที่ 1.1 ว่าสารละลาย โคบอลต์ (II) คลอไรด์เปลี่ยนสีได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงซึ่ง การที่สาร ละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์สีชมพูเปลี่ยนไปเป็น สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์สีน้ำเงิน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถือว่า เป็นการ เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า และการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจะเป็น เช่นไร? -----

6 ได้ผลเช่นเดียวกัน	9 จงเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าของระบบนี้ -----
7 $\text{I}_2(\text{Hexane}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{KI(aq)})$	10 จงเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับของระบบนี้ -----
8 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ สีน้ำเงิน เปลี่ยนมาเป็นสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ สีชมพูเมื่อลดอุณหภูมิ	11 จากการทดลองที่ 2 เมื่อนำสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์สีชมพูและน้ำเงินทั้งสองหลอดมาจุ่มในภาชนะที่มีน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เคียวกันแล้วได้สีม่วงทั้งสองหลอด แสดงว่าระบบทั้งสองมีสมบัติ ----- -----

9 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ → (สีชมพู) สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ (สีน้ำเงิน)	12 การที่ระบบทั้งสองมีสมบัติคงที่คือสีม่วงเหมือนกันแสดงว่า ระบบได้เข้าอยู่ใน _____ แล้ว -----
10 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ → (สีน้ำเงิน) สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ (สีชมพู)	13 จากการทดลองตอนที่ 2 ทิศทางที่เข้าสู่ภาวะสมดุล ถ้าเริ่มต้น จากการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าหรือจากการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับได้ผล หรือไม่ได้ผลเช่นเดียวกัน -----
11 คงที่	14 จงเขียนการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ของระบบนี้ -----

12 ภาวะสมมูล	15 จงสรุปการดำเนินการเข้าสู่ภาวะสมมูลของระบบ
13 ไคเนติกส์	
14 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ (สีชมพู) สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ (สีน้ำเงิน)	เพิ่มอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ

15

การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล
ของระบบไม่ว่าจะเริ่มจากการ
เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าหรือเริ่ม
จากการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ
อย่างไรก็อย่างหนึ่งก็จะได้ผล
เช่นเดียวกัน

1.5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

16

นักเรียนเคยทดลองมาแล้วว่า เมื่อใส่หินมักเนซีลงใน
สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเรื่อย ๆ และ
ก๊าซไฮโดรเจนหนีออกไปจากระบบ จนกระทั่งสารตั้งต้นชนิดใดชนิดหนึ่ง
หมดไปและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไม่มีโอกาสทำปฏิกิริยากลับมาเป็นสาร
ตั้งต้นอีก คือไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ในกรณีเช่นนี้เรากล่าวว่าปฏิกิริยา
เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์นั้นเนื่องจากอะไร?

16

สารทั้งชนิดโคชนิกหนึ่ง
พบไปและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น
ไม่ทำปฏิกิริยาย้อนกลับ
เป็นสารทั้งชนิดอีก คือไม่เกิด
ปฏิกิริยาย้อนกลับ

17

ในการทดลอง 1.3 ปฏิกิริยาระหว่างไอออน (II)
ไอออนกับซิลเวอร์ไอออน พบว่าที่ภาวะสมดุลมี Fe^{2+} ซึ่งเป็น
สารตั้งต้นเหลืออยู่ปนกัน Fe^{3+} ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แสดงว่ามีการ
เปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ ในกรณีเช่นนี้ เราคาดว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
โดยสมบูรณ์

ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นโดยไม่สมบูรณ์เนื่องจากอะไร?

18

การผสมน้ำในกาให้เดือดเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์
หรือไม่ เพราะเหตุใด?

19

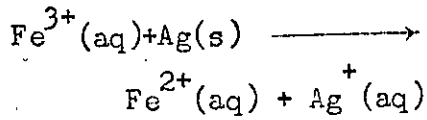
ปฏิกิริยาระหว่าง Cu(s) กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ พบว่า
ที่ภาวะสมดุลมี Ag^+ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นเหลืออยู่กับ $\text{Cu}^{2+}(\text{g})$ ซึ่ง
เป็นผลิตภัณฑ์แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์หรือไม่
เพราะเหตุใด?

17 มีการเปลี่ยนแปลงที่ ฉันทกลับได้	20 นักเรียนเคยทราบมาแล้วว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสาร ทั้งตัวอักษร การเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ฉะนั้นความเข้มข้นของสาร ทั้งตัวจะมีความสัมพันธ์กับ ----- -----
18 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดย สมบูรณ์เพราะไม่เกิด ปฏิกิริยาย้อนกลับ	21 เมื่อเริ่มปฏิกิริยาความเข้มข้นของสารทั้งตัวยังมากอยู่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจึงเร็ว แต่เมื่อสารทั้งตัวถูกใช้ไป ความเข้มข้นของสารทั้งตัวจะลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดคงที่ ขณะนี้ ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุล จงอธิบายอัตรา การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกไซด์ (II) ไอออนกับซิลเวอร์ ไอออนตั้งแต่เริ่มปฏิกิริยาจนถึงเข้าสู่สมดุล -----
19 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดย ไม่สมบูรณ์เพราะเกิดปฏิกิริยา ที่ฉันทกลับได้	

20	อัตราการเกิดปฏิกิริยา	22	จงเขียนสมการแสดงไปข้างหน้าของปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์ อีออน -----
21	เมื่อเริ่มปฏิกิริยาความเข้มข้นของ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ยั้พากอยู่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจึงเร็ว เมื่อ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ถูกใช้ไปความเข้มข้นของ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ จะลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะลดลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดคงที่ ขณะนี้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลแล้ว	23	ถ้าพิจารณาปฏิกิริยาย้อนกลับซึ่งเกิดควบคู่กับปฏิกิริยาไปข้างหน้า เมื่อสารตั้งต้นเริ่มทำปฏิกิริยากันอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจะเป็นศูนย์เพราะยังไม่มีผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์ อีออน เมื่อไอร์ออน (II) อีออนและซิลเวอร์ อีออนเริ่มทำปฏิกิริยากัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นเช่นไร เพราะเหตุใด? -----
		24	ปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์ อีออน เมื่อเริ่มเกิดไอร์ออน (II) อีออนและตะกอนเงินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาย้อนกลับคือไอร์ออน (III) อีออนทำปฏิกิริยากับเงินกลับมาเป็นสารตั้งต้น ฉะนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนคงที่ ขณะนี้ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วหรือยัง? -----

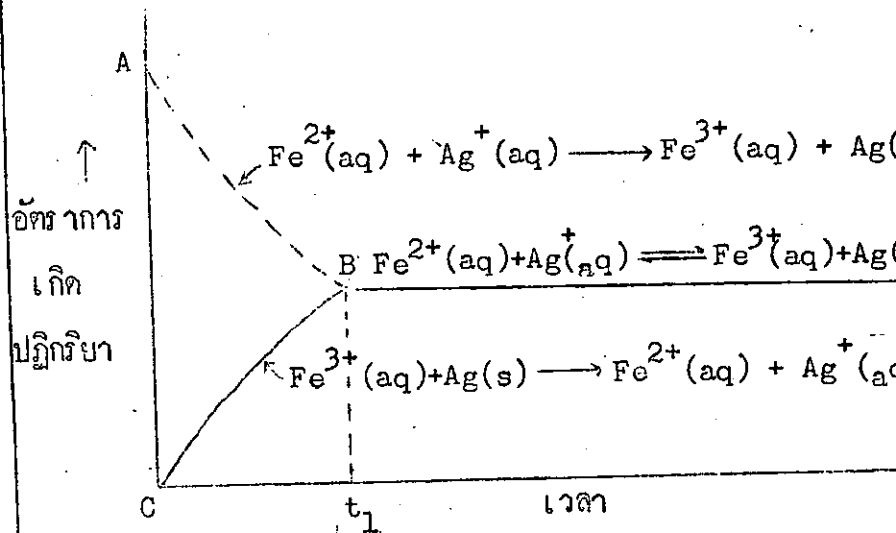
22 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$	25 จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาระหว่าง ไฮดรอกไซด์ (II) อีออนกับซิลเวอร์ อีออน -----
23 อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เป็นศูนย์เพราะยังไม่มีไฮดรอกไซด์ (III) อีออน	26 เมื่อใดที่ความเข้มข้นของสารทุกชนิดในปฏิกิริยาระหว่าง ไฮดรอกไซด์ (II) อีออนกับซิลเวอร์ อีออนคงที่ อัตราการเกิดปฏิกิริยา ไปข้างหน้าจะเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จงเขียนสมการ รวมของปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับของปฏิกิริยานี้ -----
24 ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว	

25

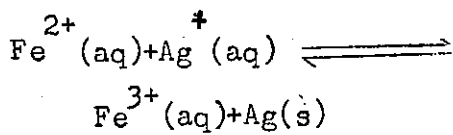


27

ถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับเวลาของปฏิกิริยาระหว่างไอออน (II) ซิออน กับ ซิลเวอร์ไอออนได้ดังนี้



26



เส้น AB แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าซึ่งลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา t_1 จะคงที่

เส้น BC แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับซึ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเวลา t_1 จะคงที่

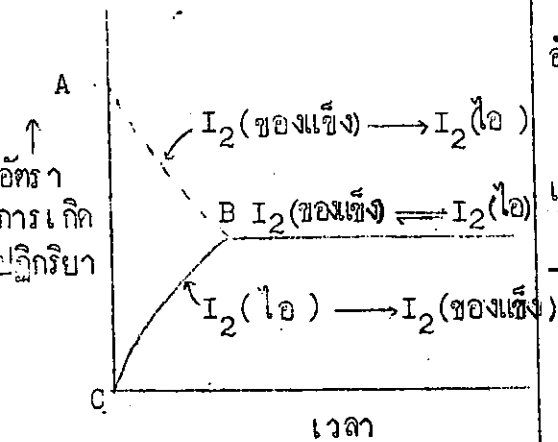
จากกราฟ เมื่อเวลา t_1 ภาวะของปฏิกิริยาเป็นอย่างไร?

27 ปฏิกิริยาเข้าสู่ สมดุล	28 จงเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับเวลาของปฏิกิริยาการระเหิดของไอโอไดน์

1.6 การเปลี่ยนภาวะสมดุล

	29 ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่นั้น เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของสารที่เราทำปฏิกิริยาให้มากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้น ถ้าต้องการให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเร็วขึ้น เราจะทำได้อย่างไร?

28



30

เมื่อเราลดความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาให้ลดลง
อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดช้าลง

ถ้าต้องการให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโดรคลอริก
และโซเดียมไฮโอไซด์เฟตเกิดช้าลง เราจะทำได้อย่างไร?

29

เพิ่มความเข้มข้นของ
กรดไฮโดรคลอริกและ
โซเดียมไฮโอไซด์เฟต

31

เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุที่สารเข้าทำปฏิกิริยากันจะทำ
ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น

ถ้าต้องการให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดออกซาลิกกับ
โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตเกิดเร็วขึ้น เราจะทำได้อย่างไร?

32

เมื่อเราลดอุณหภูมิให้แก่วัสดุที่สารเข้าทำปฏิกิริยา จะทำ
ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดช้าลง

ถ้าต้องการให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดออกซาลิก
กับโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตเกิดช้าลง เราจะทำได้อย่างไร?

30

ลดความเข้มข้นของกรรท
ไฮโดรคลอริกและโซเดียม
ไฮดรอกไซด์

33

ณภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมีใด ๆ สมบัติต่าง ๆ เช่น ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือจะมีค่าคงที่ แต่ถ้ามมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนความเข้มข้น อุณหภูมิ หรือความดัน จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดการ

31

เพิ่มอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น อุณหภูมิหรือความดันจะทำให้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลต่อสมดุลอย่างไร ปฏิกิริยาจะดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่หรือไม่ ถ้ามีสมดุลใหม่เกิดขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือจะคงที่เท่ากับปริมาณที่มีอยู่ ณ ภาวะสมดุลเดิมหรือไม่ เราจะได้ทดลองต่อไปว่าการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าว ณ ภาวะสมดุลจะมีผลต่อระบบอย่างไรหรือไม่

การทดลองที่ 1.5 การเปลี่ยนความเข้มข้นกับภาวะสมดุล

32

ลดอุณหภูมิ

วิธีทำ

1. นำหลอดทดลองขนาดกลางมา 2 หลอด รินน้ำกลั่น ใส่ลงไปประมาณหลอดละ 10 cm³ แล้วหยดสารละลายไฮดรอกไซด์ (III) ในหลอด 0.2 mol/l ลงในหลอดหนึ่ง 6 หยด แล้วหยดสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในหลอดที่เหลือ 0.2 mol/l ลงในอีกหลอดหนึ่ง 3 หยด

เปลี่ยนแปลง

2. นำสารละลายในหลอดทดลองทั้งสองมาผสมลงใน ปีกเกอร์ คนหรือ เขย่าให้เข้ากัน แล้วแบ่งสารละลายนั้นออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน บรรจุไว้ในหลอดทดสอบขนาดกลาง 4 หลอด และเขียนหมายเลขกำกับหลอดทั้ง 4 ไว้ เก็บหลอดที่ 1 ไว้สำหรับ เทียบสี

3. หยดสารละลายไฮดรอน (III) ในกรด 0.2 mol / l 2 - 3 หยด ลงในสารละลายหลอดที่ 2 สังเกตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างใดหรือไม่ บันทึกไว้โดยละเอียด

4. หยดสารละลายซิมโมเนียมไฮโอไซยาเนต 0.2 mol / l 2 - 3 หยด ลงในสารละลายหลอดที่ 3 สังเกตผลและบันทึกไว้ทำนองเดียวกัน

5. หยดสารละลายโคโซเคียมไฮโครเจนฟอสเฟต 0.2 mol / l 3 - 6 หยด ลงในสารละลายหลอดที่ 4 สังเกตผลและบันทึกไว้เช่นเดียวกัน

นักเรียนบันทึกผลการทดลอง ให้สรุปผลการทดลองดังนี้

1. สารละลายหลอดที่ 1 สารละลายไฮดรอน (III) อีออน เมื่อเติมสารละลายซิมโมเนียมไฮโอไซยาเนตลงไป ผลสารละลายจะมีสีอะไร และสีจะคงที่เมื่อทิ้งทิ้งไว้สักครู่หรือไม่

2. สารละลายหลอดที่ 2, 3, 4 เมื่อเติมสารละลายไฮดรอนลงไป ผลสีของสารละลายจะเข้มขึ้นหรือจางลง และสีจะคงที่หรือไม่ โดยเฉพาะสารละลายหลอดที่ 4 มีตะกอนเกิดขึ้นหรือไม่ ให้แยกสรุปสารละลายแต่ละข้อ

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.5

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับภาวะสมดุล

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอีออนชนิดใดชนิดหนึ่งในระบบที่อยู่นิภาวะสมดุลแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงแล้วมีสมดุลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่ภาวะสมดุลใหม่กับจะเปลี่ยนแปลง

วิธีทำ

1.

2.

3.

4.

5.

ผลการทดลอง

หลอดที่	สารละลายที่เติมลงไป	ผลที่สังเกตเห็นได้
1		
2		
3		
4		

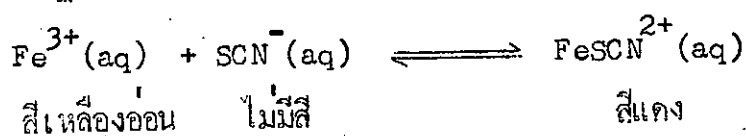
สรุปผลการทดลอง

34

สารละลายที่มี Fe^{3+} เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลาย
 โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายจะเป็นสีส้ม และสีทองที่ไม่
 เปลี่ยนแปลง แสดงว่าสารละลายนี้เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วหรือยัง
 เพราะเหตุใด?

35

สารละลายที่มี Fe^{3+} ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียม
 ไฮดรอกไซด์ เมื่อสารละลายนี้เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้วเขียนสมการ
 แสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



ซึ่งสมการแสดงปฏิกิริยาไปข้างหน้าคือ

และสมการแสดงปฏิกิริยาย้อนกลับคือ

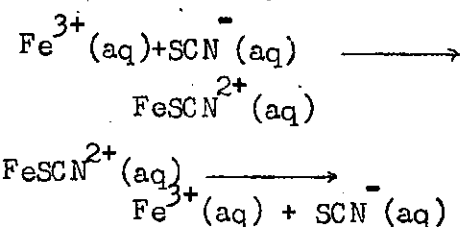
34

เข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว
เพราะสีของสารละลายคงที่

36

เมื่อแบ่งสารละลายที่ทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายที่มี
กับสารละลายซีโมเนียมไฮโอไซมาเนตและอยู่ในภาวะสมดุลแล้วใส่
หลอดที่ 2, 3 และ 4 สารละลายเหล่านี้ก็ยังคงอยู่
เช่นเดิม

35



37

สารละลายหลอดที่ 2 เนื่องจากไฮดรอกไซด์ (III) อีออนเป็น
สารตั้งต้นชนิดหนึ่ง เมื่อเติมสารละลายไฮดรอกไซด์ (III) ในหลอด
เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ

38

เมื่อเติม $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ลงไปเป็นการเพิ่มความเข้มข้น
ของ Fe^{3+} ทำให้ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ เข้าทำปฏิกิริยากับ $\text{SCN}^{-}(\text{aq})$
จึงมี $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$ เกิดมากขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลง
ไปข้างหน้ามากขึ้นหรือเท่าเดิม

36 ในภาวะสมดุล	39 สารละลายหลอดที่ 3 เนื่องจากไฮโอไฮยาเนตไอออนเป็นสาร กึ่งพันธะชนิดหนึ่ง เมื่อเพิ่มสารละลายซัลโมเนียมไฮโอไฮยาเนตลงไป เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ _____
37 สารตั้งต้น	40 สารละลายหลอดที่ 3 เมื่อเติม $\text{SCN}^-(\text{aq})$ ลงไป ทำให้ $\text{SCN}^-(\text{aq})$ เข้าทำปฏิกิริยากับ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ มากขึ้น จึงมี $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$ เกิดมากขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดการ เปลี่ยนแปลงไปข้างหน้ามากขึ้นหรือเท่าเดิม
38 มากขึ้น	41 สารละลายหลอดที่ 2 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าอีกทำให้สารละลายมีสีเข้มขึ้น และในที่สุดสีจะคงที่ แสดงว่าระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง สารละลายหลอดที่ 3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $\text{SCN}^-(\text{aq})$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าอีก ทำให้สารละลายมีสีเข้มขึ้น ในที่สุดสีจะคงที่ แสดงว่าระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เกิดขึ้น

39

สารตั้งต้น

42

สารละลายหลอดที่ 4 เมื่อเติมสารละลายโคบอลต์แอมโมเนียมเฟอสเฟตลงไป จะทำปฏิกิริยากับ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ได้ตะกอนสีขาวของไฮดรอกไซด์ (III) ฟอสเฟต $[\text{Fe}(\text{PO}_4)_3]$ ซึ่งเป็นการทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

40

มากขึ้น

43

นอกจากนี้ $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เกิดสลายตัวให้ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ มาอีก ทำให้สารละลายมีสีจางลงจนไม่มีสี ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แล้วระบบจะเข้าสู่

ใหม่อีกครั้งหนึ่ง

41

ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล
ใหม่อีกครั้งหนึ่ง

44

สารละลายทุกหลอดเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงและเข้าสู่ภาวะสมดุลในแต่ละครั้ง นักเรียนใช้อะไรเป็นเกณฑ์ตัดสิน
เช่นนั้น

42 ลดลง	45 จากการทดลอง 1.5 นักเรียนจะสรุปได้หรือไม่? เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไนโตรเจนใน ภาวะสมดุล
43 ภาวะสมดุล	
44 สีของสารละลายที่ (สมบัติของระบบคงที่)	

45

เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาเคมีที่อยู่ในภาวะสมดุล จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอีก โดยที่ความเข้มข้นของทั้งผลิตภัณฑ์ และสารตั้งต้น จะเปลี่ยนแปลงไป จนในที่สุดระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง

ต่อไปนี้จะศึกษาระบบระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซไอน์โตรเจนเตตรอกไซด์ว่า การ เปลี่ยนภาวะสมดุลของ ระบบที่เป็นก๊าซขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิอย่างไร

ในระบบที่จะทดลองนี้ มีก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สีส้มแดงปนอยู่กับก๊าซไอน์โตรเจนเตตรอกไซด์ซึ่งไม่มีสี เราจะใช้สีของกาบบอกความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และทิศทางของการ เปลี่ยนแปลงหรือภาวะสมดุลของระบบ

การทดลองที่ 1.6 การ เปลี่ยนความดันหรืออุณหภูมิกับภาวะสมดุล . การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

วิธีทำ ตอนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนความดัน

1. เติมน้ำไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใส่ลงในหลอดทดลองประมาณ 1 กรัม ไว้ในหลอดทดลองที่มีแขนข้าง เติมน้ำในตลับเพิ่มชั้นลงไปประมาณ 5 ซม²

2. เก็บก๊าซใส่หลอดทดลองขนาด เล็กสองหลอด แล้วปิดจุกยางให้แน่น เก็บไว้ทดลองในตอนที่ 2

3. เก็บก๊าซต่อไปอีก แต่คราวนี้ใส่กระบอกฉีดยาพลาสติก ที่เชื่อมคานที่ต่อกับเข็มฉีดยาให้มีสนิท หรือใช้จุกพลาสติกหรือคินน้ำมันอุดไว้

4. เมื่อได้กาชเพิ่มกระบอกให้หลอดคิดยากดเข้าไป เพื่ออัตรากาชจนได้ปริมาตรกำหนดหนึ่ง แล้วสังเกตจุดสีและเปรียบเทียบกับสีเดิม ปล่อยมือเพื่อลดแรงอัดแล้วก่น้ำหลาย ๆ ครั้ง สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีของการทุครั้งที่เกิด และปล่อยหลอดคิดยาก

5. นำกระบอกคิดยากที่เก็บการในข้อ 4 มาทำการทดลองซ้ำ แต่ให้ก่น้ำหรืออัดหลอดคิดยากให้กาชมีปริมาตรแตกต่างจากข้อ 4 และอยู่ที่ตำแหน่งนั้นประมาณ 1 นาที สังเกตสีของการในกระบอกคิดยากนั้น บันทึกผลการรายงานการทดลองนี้ผลการทดลองให้รายงานดังนี้

เมื่อเพิ่มความดันให้แกระบบโดยการกดหลอดคิดยาก ตอนแรกกาชจะมีสีอะไร แล้วสักครู่หนึ่งสีของการจะเป็นเช่นไร และในที่สุดกาชจะมีสีอะไร หลังจากการทดลองซ้ำอีกโดยเปลี่ยนตำแหน่งที่เกิดหลอดคิดยากใหม่ จะไ้ผลการเปลี่ยนแปลงพลาของเคียวกับกับการทดลองครั้งแรกหรือไม่ และมีสิ่งใดที่ไ้ผลไม่เท่ากัน

สำหรับการสรุปผลการทดลองให้สรุปดังนี้

เมื่อเพิ่มความดันโดยการกดหลอดคิดยากให้อยู่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งนานพอสมควร สีของการภายในกระบอกคิดยากจะคงที่หรือไม่ แต่ถาเปลี่ยนตำแหน่งของหลอดคิดยาก หรือเปลี่ยนความดันความเข้มของสีจะเปลี่ยนไปหรือไม่

วิธีทำ ตอนที่ 2 เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

1. นำกาชทั้งสองหลอดที่เก็บไว้ในตอนที่ 1 มา จุ่มหลอดหนึ่งลงในอ่างน้ำแข็ง และจุ่มอีกหลอดหนึ่งลงในอ่างน้ำร้อน ทั้งไว้สักครู่

สิ่งเกดสีที่เปลี่ยนไป มันก็ไว

2. นำหลอดในอ่างน้ำร้อนมาจุ่มในอ่างน้ำแข็ง และหลอดในอ่างน้ำแข็งมาจุ่มในอ่างน้ำร้อน

3. นำหลอดทั้งสองมาจุ่มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบสีของกาซในหลอดทั้งสอง มันก็ผลเช่นเดียวกัน

การรายงานผลการทดลองนั้น ผลการทดลองให้รายงานดังนี้

1. เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุกาซสีน้ำตาลแดง
2 หลอด ๆ หนึ่งจุ่มในอ่างน้ำแข็ง กาซในหลอดมีสีเช่นไร
ส่วนอีกหลอดหนึ่งจุ่มในอ่างน้ำร้อน กาซในหลอดจะมีสีเช่นไร

2. เมื่อสลับที่กัน หลอดที่มีสีน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็น
สีอะไร หลอดที่ไม่มีสีจะเปลี่ยนเป็นสีอะไร

3. เมื่อนำหลอดทั้งสองมาจุ่มลงในอ่างน้ำเย็น
ณ อุณหภูมิห้อง กาซในหลอดที่ไม่มีสีจะมีการเปลี่ยนแปลง
เช่นไร หลอดที่มีสีน้ำตาลเข้มจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นไร
และในที่สุด สีของกาซในหลอดทั้งสองจะมีสีอะไร มีความ
เข้มเท่ากันหรือไม่

สำหรับการสรุปผลการทดลองให้สรุปดังนี้

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กาซสีน้ำตาลจะมีสีเป็นเช่นไร
และอุณหภูมิลดลงจะมีสีเป็นเช่นไร และเมื่อนำหลอดทั้งสอง
สลับอุณหภูมิกัน จะมีการเปลี่ยนสีกลับไปกลับมาหรือไม่
หลังจากนำกาซทั้งสองหลอดมาทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน กาซ
จะมีสีน้ำตาลที่มีความเข้มเท่ากันหรือไม่

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

- การทดลองที่ 1.6 การ เปลี่ยนความเข้มข้นของสีย้อมกับภาวะสมดุล
- วัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้ศึกษาระบบที่เป็นภาวะเปิดอยู่ในภาวะสมดุลแล้ว
- วิธีทำ ตอนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้น

ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

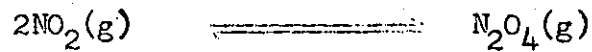
วิธีทำ ข้อที่ 2 เมื่อเปลี่ยนอนุกรม

ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

46

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในภาวะสมดุลกับก๊าซไนโตรเจนเตตระออกไซด์ ซึ่งเขียนแทนปฏิกิริยาได้ดังนี้



ไนโตรเจนไดออกไซด์
สีน้ำตาลแดง

ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์
ไม่มีสี

จากการทดลองตอนที่ 1 ก๊าซที่เติมให้มีสีน้ำตาลแดง
ดังนั้นก๊าซที่เติมได้คือ -----

47

การบรรจุก๊าซที่อยู่ในภาวะสมดุลในกระบอกฉีดยาพลาสติก
เมื่อคนและปล่อยหลอดฉีดยาจะเป็นการเปลี่ยนแปลงความดันที่กระทำ
ต่อก๊าซที่อยู่ในกระบอกฉีดยา

จากการทดลองตอนที่ 1 ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงความดัน
ก๊าซสีน้ำตาลแดงซึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกฉีดยา เราจะทำได้อย่างไร

46 ภายในโพรเจน ไคออกไซด์	48 การเพิ่มความดันให้ก๊าซซึ่งเท่ากับเป็นการลดปริมาตร จะทำให้โมเลกุลของก๊าซเข้ามาอยู่ใกล้กันมากขึ้น จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อลดหลอดนี้ลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความดันให้ก๊าซ ซึ่งเท่ากับเป็นการลดปริมาตร จะเห็นการมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เพราะเหตุใด? -----
47 กรดซัลฟิวริก หลอดนี้คว่ำ	49 การเพิ่มความดันให้ก๊าซจะทำให้โมเลกุลของก๊าซเข้ามาอยู่ใกล้กันมากขึ้น ดังนั้นจำนวนโมลของก๊าซต่อ 1 หน่วยปริมาตรจะมากขึ้น ซึ่งก็คือความเข้มข้นของก๊าซมากขึ้น ฉะนั้นการเพิ่มความดันของก๊าซก็เทียบได้กับการเพิ่มความเข้มข้นเอง -----
	50 ในกรณีของก๊าซ การเพิ่มความดันของก๊าซ ก็คือการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซ ในทางตรงกันข้าม การลดความดันของก๊าซก็ย่อ -----

48

โมเลกุลของก๊าซเข้า
มาอยู่ใกล้กันมากขึ้น

51

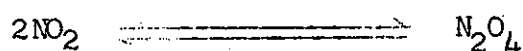
ในกรณีของการเพิ่มความดันของก๊าซคือการเพิ่มความ
เข้มข้นของก๊าซ และการลดความดันของก๊าซคือการลดความเข้มข้น
ของก๊าซ ฉะนั้น เราสามารถวัดความดันของก๊าซแทน _____
_____ ได้ _____

49

ความเข้มข้น

52

ระบบที่สมดุลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับก๊าซไดไน-
โตรเจนเตตระออกไซด์ จากการทดลองตอนที่ 1 เขียนแทนได้ดังนี้



ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์
สีน้ำตาลแดง ไม่มีสี

เมื่อเพิ่มความดันให้แก่วัสดุโดยการ กดหลอดจี้ดยว ทำให้
ก๊าซสีน้ำตาลเข้มขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับได้ก๊าซ _____
_____ ปริมาณมากขึ้น _____

50

การลดความเข้มข้น
ของก๊าซ

53

จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อเพิ่มความดันให้แก่วัสดุจะเกิด
ปฏิกิริยาย้อนกลับได้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สีน้ำตาลปริมาณมากขึ้น
ทำให้ก๊าซสีน้ำตาลเข้มขึ้น แล้วค่อยๆวางลงเล็กน้อยชั่วขณะหนึ่ง แสดงว่า
ระบบปรับตัวเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดก๊าซ _____
_____ ซึ่งไม่มีสีเกิดขึ้นปริมาณหนึ่ง _____

51 ความเข้มข้น	54 ในที่สุดกาชจะมีสีน้ำตาลเข้มน้อยกว่าเมื่อกลลอคคิดยา ตอนแรก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามีกาชไดโนโตรเจน เทรออกไซด์ ซึ่งไม่มีสีเกิดขึ้นปริมาณหนึ่ง แล้วไม่มีการ เปลี่ยนแปลง อีกต่อไป แสดงว่ามีสมดุลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งแล้วหรือยัง เพราะเหตุใด? -----
52 ไนโตรเจนไดออกไซด์	55 เมื่อทดลองนำโคบายเปลี่ยนตำแหน่งที่กลลอคคิดยาใหม่ก็จะ เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการทดลองครั้งแรก และในที่สุดจะ ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงอีกต่อไป แสดงว่ามีสมดุลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง แล้วหรือยัง -----
53 ไนโตรเจนเทรออกไซด์	56 ถ้าเรากลลอคคิดยาให้ใหญ่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งนาน พอสมควร สีของกาชภายในกระบอกคิดยาจะคงที่ แต่ถ้าเราเปลี่ยน ตำแหน่งของกลลอคคิดยาหรือเปลี่ยนความดัน ความเข้มข้นของสีก็จะ เปลี่ยนไป แสดงว่าภาวะสมดุลของกาชในระบบเปลี่ยนไปเมื่อเราเปลี่ยน ----- -----

54 มีสมมูลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งเพราะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป	57 จากการทดลองตอนที่ 1 เราสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงในระบบของก๊าซ ณ ภาวะสมมูลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากระบบเข้าสู่ภาวะสมมูลใหม่
55 มีสมมูลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งแล้ว	58 ระบบที่สมมูลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับก๊าซไคไนโตรเจนเตตระออกไซด์ จากการทดลองตอนที่ 2 เขียนแทนได้ดังนี้ $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไคไนโตรเจนเตตระออกไซด์ สีน้ำตาลแดง ไม่มีสี เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุก๊าซสีน้ำตาลแดงจุ่มในอ่างน้ำแข็ง ก๊าซในหลอดมีสีจางลงจนไม่มีสี เพราะปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้ามากขึ้น คือได้ก๊าซ _____ เกิดมาก
56 ความดัน	59 เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุก๊าซสีน้ำตาลแดงจุ่มในอ่างน้ำร้อน ก๊าซจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เพราะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับคือได้ก๊าซ _____ เกิดมาก

57 ความดัน	60 เมื่อสลัดที่กันโดยนำหลอดที่มีก๊าซไโคไนโตรเจนเทรออกไซด์ เกิดมาก ซึ่งไม่มีสีไปจุ่มในอ่างน้ำร้อน จะได้ก๊าซสีน้ำตาลเกิดขึ้น คือได้ก๊าซ _____ เกิดมาก
58 ไโคไนโตรเจน เทรออกไซด์	61 เมื่อสลัดที่กันโดยนำหลอดที่มีก๊าซไนโตรเจนไคออกไซด์ เกิดมาก ซึ่งมีสีน้ำตาลแดงไปจุ่มในอ่างน้ำเย็น จะได้ก๊าซไม่มีสี เกิดขึ้นคือได้ก๊าซ _____ เกิดขึ้น _____
59 ไนโตรเจน ไคออกไซด์	62 จะเห็นได้ว่าระบบของก๊าซไนโตรเจนไคออกไซด์กับก๊าซ ไโคไนโตรเจนเทรออกไซด์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีการ เปลี่ยนสีของก๊าซกลับไปกลับมาได้ แสดงว่าจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง อะไรเกิดขึ้น

60 ไนโตรเจนไดออกไซด์	63 จากผลการทดลอง จะเห็นว่า ไม่ว่าจะตั้งต้นปฏิกิริยาจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาไปข้างหน้า หรือ ก๊าซไนโตรเจนเทรออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับ ก็ทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ ดังนั้นระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ไม่ว่าจะตั้งต้นจากปฏิกิริยา -----
61 ไคไนโตรเจนเทรออกไซด์	64 เมื่อนำก๊าซหลอดไม่มีสีและหลอดสีน้ำตาลเข้มขุ่นลงในอ่างน้ำเย็น ณ อุณหภูมิห้อง ผลก๊าซในหลอดที่ไม่มีสีจะกลายเป็นสีน้ำตาล ส่วนหลอดที่มีสีน้ำตาลเข้มจะมีสีจางลงเล็กน้อย แล้วในที่สุดสีของก๊าซในหลอดทั้งสองจะมีสีน้ำตาลที่มีความเข้มเท่ากัน แสดงว่าระบบเข้าสู่ ----- ในอีกครึ่งหนึ่ง -----
62 ที่ผันกลับได้	65 จากการทดลองตอนที่ 2 เราสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลง ----- ในระบบของก๊าซ ณ ภาวะสมดุล มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจนระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ -----

63

ไปข้างหน้า
ย้อนกลับ

66

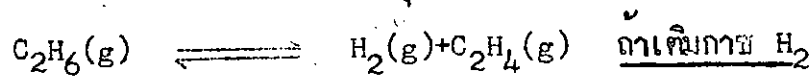
จากการทดลอง 1.6 ทั้งสองตอน เราจะสรุปได้ว่า
อย่างไร?

64

ภาวะสมดุล

67

ระบบปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



เข้าไปในระบบ จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซ H_2 จะทำให้
เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้มากขึ้น เพราะก๊าซ H_2 จะทำปฏิกิริยากับ

C_2H_4 เกิดเป็น C_2H_6 ได้มากขึ้น

แต่ถ้าเติม C_2H_4 เข้าไปในระบบ จะทำให้เกิดปฏิกิริยา
อะไรได้มากขึ้น เพราะเหตุใด?

65

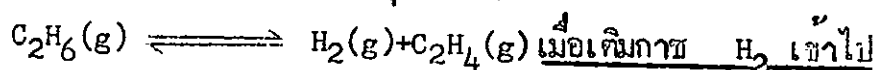
อุณหภูมิ

66

การเปลี่ยนแปลงความดัน
และอุณหภูมิในระบบของก๊าซ ณ
ภาวะสมดุลไม่ทำให้เกิดการ
เปลี่ยนแปลงจากระบบเข้าสู่
ภาวะสมดุลใหม่

68

ระบบปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



เมื่อเติมก๊าซ H_2 เข้าไปในระบบ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้มากขึ้น ฉะนั้น ณ ภาวะสมดุลใหม่ ความเข้มข้นของ C_2H_6 จะมากกว่าเดิม C_2H_4 น้อยกว่าเดิม และ H_2 มากกว่าเดิม

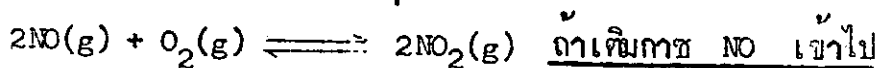
แต่ถ้าเติม C_2H_4 เข้าไปในระบบ ณ ภาวะสมดุลใหม่ ความเข้มข้นของสารในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

7

ย้อนกลับ
เพราะ C_2H_4 จะทำ
ปฏิกิริยากับ H_2 เกิดเป็น
 C_2H_6 ได้มากขึ้น

69

ระบบปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



ถ้าเติมก๊าซ NO เข้าไปในระบบ จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซ NO จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้มากขึ้น เพราะ NO ทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็น NO_2 ได้มากขึ้น

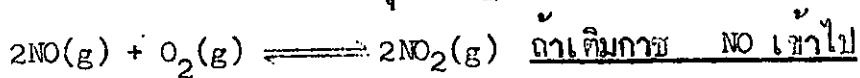
แต่ถ้าเติม O_2 เข้าไปในระบบ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาอะไรได้มากขึ้น เพราะเหตุใด?

68

ความเข้มข้นของ C_2H_6
มากกว่าเดิม H_2 น้อยลงกว่า
เดิม และ C_2H_4 มากกว่า
เดิม

70

ระบบปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



ในระบบ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ฉะนั้น ณ ภาวะสมดุล
ความเข้มข้นของ NO_2 จึงมากกว่าเดิม O_2 น้อยลงกว่าเดิม
และ NO มากกว่าเดิม

แต่ถ้าเติม O_2 เข้าไปในระบบ ณ ภาวะสมดุลใหม่

ความเข้มข้นของสารในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

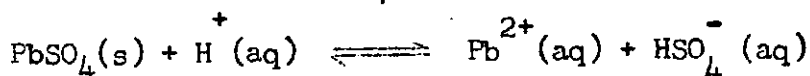
69

ไปข้างหน้า

เพราะ NO ทำปฏิกิริยากับ
 O_2 เกิดเป็น NO_2 ได้
มากขึ้น

71

ระบบเปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



ถ้าเติม $Pb(NO_3)_2$ เข้าไปในระบบจะเป็นการเพิ่มความ
เข้มข้นของ $Pb^{2+}(aq)$ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้มากขึ้น
เพราะ Pb^{2+} จะทำปฏิกิริยากับ HSO_4^- เกิดเป็น $PbSO_4$
และ H^+ เพิ่มขึ้น

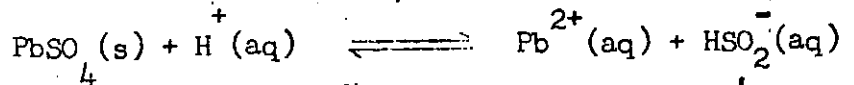
แต่ถ้าเติม HSO_4^- เข้าไปในระบบ จะทำให้เกิด
ปฏิกิริยาย้อนกลับหรือไม่ เพราะเหตุใด?

70

ความเข้มข้นของ NO_2
มากกว่าเดิม NO น้อยกว่าเดิม
และ O_2 มากกว่าเดิม

72

ระบบเปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



ถ้าเติม $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ เข้าไปในระบบ ณ ภาวะสมดุลใหม่ ความ
เข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ มากกว่าเดิม HSO_4^- น้อยกว่า
เดิม และ Pb^{2+} มากกว่าเดิม

แต่ถ้าเติม HSO_4^- เข้าไปในระบบ ณ ภาวะสมดุลใหม่
ความเข้มข้นของสารในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

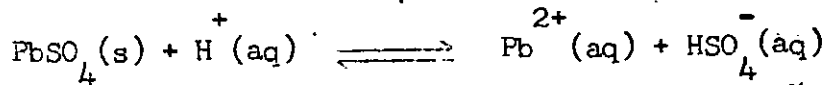
71

เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

เพราะ HSO_4^- จะทำ
ปฏิกิริยากับ Pb^{2+} เกิดเป็น
 PbSO_4 และ H^+ มากขึ้น

73

ระบบเปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



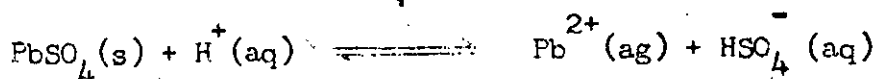
ถ้าเติม PbSO_4 เข้าไปในระบบ จะเกิดปฏิกิริยาอะไรมากขึ้น
เพราะเหตุใด?

72

ความเข้มข้นของ
 PbSO_4 และ H^+ มากกว่า
 เติม Pb^{2+} น้อยกว่าเติม และ
 HSO_4^- มากกว่าเติม

74

ระบบเปิด ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา



ถ้าเติม PbSO_4 เข้าไปในระบบ ณ ภาวะสมดุลใหม่ ความ
 เข้มข้นของสารในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?

73

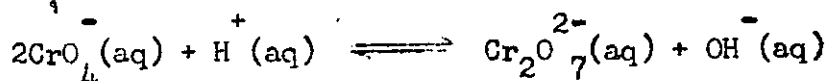
เกิดปฏิกิริยาไป
 ข้างหน้า เพราะ PbSO_4
 จะทำปฏิกิริยากับ H^+
 เกิดเป็น Pb^{2+} และ HSO_4^-
 มากขึ้น

75

โพตัสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) ละลายในน้ำ

ในสารละลายสีเหลืองโพตัสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

ละลายน้ำให้สารละลายสีส้ม เขียนสมการแสดงปฏิกิริยา ณ ภาวะ
 สมดุลได้ดังนี้



ถ้าเติมสารละลายไฮโดรคลอริกลงในสารละลายโพตัสเซียม
 โครเมต จะเกิดปฏิกิริยาอะไรมากขึ้น และสารละลายจะเปลี่ยนสี
 อย่างไร?

74

ความเข้มข้นของ Pb^{2+}
 และ HSO_4^- มากกว่าเดิม
 H^+ น้อยกว่าเดิม และ
 $PbSO_4$ มากกว่าเดิม

76

ถ้าเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลาย
โพตัสเซียมไดโครเมต จะเกิดปฏิกิริยาอะไรมากขึ้น และสารละลาย
จะเปลี่ยนสีอย่างไร?

75

เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า
 มากขึ้น และสารละลายเปลี่ยน
 จากสีเหลืองเป็นสีส้ม

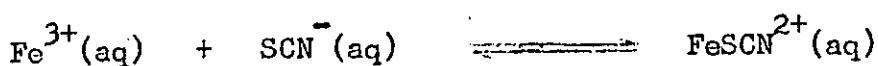
77

ปฏิกิริยาอันเกิดมากขึ้น
และสารละลายเปลี่ยนจากสีส้ม
เป็นสีเหลือง

1.7 หลักของเลอชาเตอลิเยร์

1

การทดลองที่ 1.5 ได้แสดงถึง การเปลี่ยนภาวะ
สมดุลในสารละลายอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ
สารบางชนิดในปฏิกิริยา เมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลเขียน
สมการแสดงไว้ดังนี้



ไอออน (III)	ไซโอไซยาเนตไอออน	ไซโอไซยาโน
ไอออน สีเหลืองอ่อน	ไม่มีสี	เฟอเรต (III) ไอออน สีแดง

เมื่อเติมไอออน (III) ไอออนลงไปในสารละลาย
มีสีเข้มขึ้นแสดงว่ามีไซโอไซยาโนเฟอเรต (III) ไอออนเกิดขึ้น
แต่ถ้าเติมไซโอไซยาเนตไอออนลงไป จะมีไอออน
อะไรเกิดขึ้น

1 ไซโอไซยานโนเฟอเรต (III) อีออน	2 การทดลองที่ 1.5 เมื่อเติมไอร้ออน (III) อีออนลงไป จะมีไซโอไซยานโนเฟอเรต(III)อีออนเกิดขึ้นแล้ว สารละลายมีสีคงที่ใหม่อีกครั้งหนึ่ง อธิบายได้ว่าระบบที่สมดุล อยู่แล้วจะพยายามปรับตัวเพื่อลดปริมาณของไอร้ออน (III) อีออนที่เติมเข้าไป แต่ถ้าเติมไซโอไซยานเนตอีออนลงไป ระบบที่สมดุล อยู่แล้วจะทำอย่างไร? -----
	3 การทดลองที่ 1.5 เมื่อเติมไอร้ออน (III)อีออนลงไป ระบบที่สมดุลจะลดปริมาณของไอร้ออน (III) อีออนที่เติมเข้าไป โดยเข้าร่วมกับไซโอไซยานเนตอีออนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์คือ ไซโอ-ไซยานโนเฟอเรต (III) อีออน แต่ถ้าเติมไซโอไซยานเนตอีออนลงไป ระบบที่สมดุล จะลดปริมาณของไซโอไซยานเนตอีออนที่เติมเข้าไปโดยวิธีอย่างไร? ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคืออะไร? -----

2 จะพยายามปรับตัว เพื่อลดปริมาณของไฮโดร- ยาเนตอออนที่เติมเข้าไป	4 การทดลองที่ 1.5 เมื่อเติมไฮร่อน (III) อีออน ลงไปในที่สุกระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ ซึ่งต่างจากภาวะสมดุล เดิม แต่ถ้าเติมไฮโดรยาเนตอออนลงไป ในที่สุกระบบ จะเป็นเช่นไร? -----
3 เข้าร่วมกับไฮร่อน (III) อีออนเกิดเป็น ไฮโดรยาโนเฟอเรต (III) อีออน	5 การทดลองที่ 1.5 ถ้าเราเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของผลิตภัณฑ์ โดยเติมไฮโดรยาโนเฟอเรต (III) อีออน ลงไป ณ ภาวะสมดุลจะเปลี่ยนไปหรือเหมือนภาวะสมดุลเดิม -----
	6 การทดลองที่ 1.5 เรายังได้ทดลองเติมสารละลาย โคโซเดียมไฮโครเจนฟอสเฟตลงไป ณ ภาวะสมดุล ไฮร่อน (III) อีออน จะทำปฏิกิริยากับโคโซเดียมไฮโครเจนฟอสเฟต โคตะกอนสีขาว ทำให้ปริมาณของไฮร่อน (III) อีออนใน สารละลายลดน้อยลง ปริมาณของไฮร่อน (III) อีออนลดน้อยลงเนื่องจาก อะไร? -----

4 ระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ซึ่งต่างจากภาวะสมดุลเดิม	7 การทดลองที่ 1.5 เมื่อปริมาณของไอร้ออน (III) อีออนลดลงผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่จึงสลายตัวออกให้ไอร้ออน (III) อีออนเพื่อชดเชยจนไม่มีตะกอนเกิดเพิ่มขึ้นอีก แสดงว่าระบบอยู่ในภาวะสมดุลใหม่ ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลใหม่ จะเหมือนหรือต่างจากภาวะสมดุลเดิม -----
5 จะเปลี่ยนไป	8 จากการทดลองที่ 1.5 เราจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการรบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารระบบจะพยายามปรับตัวไปในทิศทางที่จะ ----- ปริมาณของสารที่เติมลงไป แล้วระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งต่างจากสมดุลเดิม -----
6 ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไฮโครเจน-ฟอสเฟต	9 จากการทดลองที่ 1.5 เราจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการรบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการลดความเข้มข้นของสารระบบจะพยายามปรับตัวไปในทิศทางที่จะ ----- ปริมาณของสารที่เติมลงไป แล้วระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ ซึ่งต่างจากสมดุลเดิม -----

7 ต่างจากภาวะสมดุลเดิม	10 จากการทดลองที่ 1.5 เราจะสรุปได้ว่าการเปลี่ยน มีผลต่อภาวะ สมดุล
8 ลด	11 การทดลองที่ 1.6 ในระบบ $\text{NO}_2 - \text{N}_2\text{O}_4$ ที่ภาวะ สมดุลระบบจะมีทั้งก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซไดไนโตรเจน เตตรอกไซด์ปนกันอยู่ เขียนสมการแสดงได้ดังนี้ $ \begin{array}{ccc} 2\text{NO}_2(\text{g}) & \rightleftharpoons & \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \\ 2 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} \end{array} $ เมื่อเพิ่มความดันให้แก่วัสดุ ก๊าซจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น แล้วจางลงเล็กน้อย แสดงว่าก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บางส่วน กลายเป็นก๊าซ
9 เพิ่ม	12 ถ้าพิจารณาจากสมการ $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 2 โมล 1 โมล จะเห็นว่า ณ ภาวะสมดุลมีก๊าซ NO_2 2 โมล และก๊าซ N_2O_4 1 โมล ดังนั้นการเกิดก๊าซ N_2O_4 จากก๊าซ NO_2 นั้น จะทำให้จำนวนโมลรวมทั้งหมดของก๊าซในระบบลดลงหรือ เพิ่มขึ้น

10 ความเข้มข้น	13 การที่จำนวนโมลของก๊าซในระบบลดลงเทียบได้กับการลดความเข้มข้นของก๊าซในระบบนั่นเอง ดังนั้นการเกิดก๊าซ N_2O_4 จากก๊าซ NO_2 จะมีผลต่อความเข้มข้นของก๊าซในระบบอย่างไรบ้าง?
11 ไดไนโตรเจน- เตตรอกไซด์	14 เราทราบมาแล้วว่า ในกรณีเกี่ยวกับก๊าซเราอาจวัดความดันแทนความเข้มข้นได้ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเกิดก๊าซ N_2O_4 จากก๊าซ NO_2 จะทำให้ความดันของก๊าซในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร?
12 ลดลง	15 จากการทดลองที่ 1.6 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการรบกวนระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความดัน ระบบจะพยายามปรับตัวไปในทิศทางที่จะ ----- แล้วระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งต่างจากภาวะสมดุลเดิม

13 ความเข้มข้นลดลง	16 จากการทดลองที่ 1.6 เราจะสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลง _____ มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบที่เป็นก๊าซ _____
14 ความดันลดลง	17 จากการทดลองที่ 1.6 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิก๊าซ N_2O_4 จะสลายตัวให้ก๊าซ NO_2 ได้มีผู้ทำการทดลองวัดความร้อนของปฏิกิริยานี้พบว่าปฏิกิริยา<u>ดูดความร้อน</u> แสดงให้เห็นว่าระบบไถ้ค่าความร้อนที่ได้รับจากการเพิ่มอุณหภูมิไปใช้เป็นการลดการรบกวนสมดุลแล้วระบบจึงเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ ซึ่งต่างจากภาวะสมดุลเดิม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลระบบจะทำอย่างไรเพื่อจะเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ _____
15 ลดความดัน	18 จากการทดลองที่ 1.6 เมื่อลดอุณหภูมิลงก๊าซ NO_2 จะรวมตัวเกิดเป็นก๊าซ N_2O_4 ซึ่งผู้ทดลองจะพบว่าปฏิกิริยาคายความร้อน แสดงว่าเมื่อมีการลดอุณหภูมิของระบบซึ่งอยู่ในสมดุลแล้ว ระบบปรับตัวให้เข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ ได้โดยการคายความร้อน เมื่อลดอุณหภูมิของระบบซึ่งอยู่ในภาวะสมดุล ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเพื่อจะเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ _____

16 ความดัน	19 จากการทดลองที่ 1.6 สรุปได้ว่า สำหรับระบบที่มีก๊าซเป็นองค์ประกอบ ซึ่งการเปลี่ยนความเข้มข้นของจำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดมีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนสิ่งใดอีกที่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ
17 นำความร้อนที่ได้รับจากการเพิ่มอุณหภูมิไปใช้	20 <u>เมื่อระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงแฟกเตอร์ใด ๆ ที่มีผลต่อสมดุล ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ลดผลของการรบกวนนั้นเพื่อให้ระบบกลับคืนเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่</u> หลักนี้เรียกว่า หลักของเลอชาเตอลิเยร์ การทดลองที่ 1.5 และ 1.6 ที่ได้ทดลองมาแล้วนั้น การเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลเป็นไปตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์หรือไม่?
18 คายความร้อน	21 นักเรียนคงเคยเปิดจุกขวดน้ำอัดลม และสังเกตเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น โดยปกติภายในขวดเขามักจะอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ภายใต้ความดันสูงประมาณ 3-4 บรรยากาศ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดีที่ความดันสูง ถ้าเราเปิดจุกขวดน้ำอัดลมจะมีก๊าซอะไรหนีออกมา

19 การเปลี่ยน ความดัน อุณหภูมิ	22 การที่เราเปิดจุกขวดน้ำอัดลมจะเท่ากับเป็นการลดความดันของก๊าซที่อยู่บริเวณเหนือน้ำ ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ การเปิดจุกขวดน้ำอัดลมจะเป็นการรบกวนสมดุลภายในขวดหรือไม่ใช่
20 เป็นไปตามหลักของ เลอชาเตอลิเยร์	23 ถ้าเราเปิดจุกขวดน้ำอัดลมซึ่งเท่ากับเป็นการลดความดันของก๊าซที่อยู่บริเวณเหนือน้ำ เราจะเห็นฟองก๊าซหนีออกจากน้ำอัดลมขึ้นสู่พื้นผิวหน้า แสดงว่าระบบพยายามเพิ่มความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเหนือน้ำ การที่ระบบพยายามเพิ่มความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณเหนือน้ำนั้นตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ เป็นการแสดงว่าระบบพยายามปรับตัวเพื่อลดผลการรบกวนหรือไม่ใช่
21 ก๊าซคาร์บอนได- ออกไซด์	24 ในระบบที่มีปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังนี้ $\begin{array}{ccccccc} \text{CO(g)} & + & \text{NO}_2(\text{g}) & \rightleftharpoons & \text{CO}_2(\text{g}) & + & \text{NO(g)} \\ 1 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} \end{array}$ ถ้าเพิ่มความดันให้แก่ระบบจะทำให้จำนวนโมลรวมทั้งหมดของก๊าซในระบบลดลงหรือไม่ลดลง

22 ใช่	25 ในระบบที่มีปฏิริยาระหว่างกาซคาร์บอนมอนอกไซด์กับกาซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเพิ่มความดันให้แกระบบจะไม่ทำให้จำนวนโมลรวมทั้งหมดของกาซในระบบลดลง ซึ่งตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์นั้น แสดงว่าระบบถูกรบกวนสมดุล หรือไม่ถูกรบกวน
23 ใช่	26 ถึงนั้นการเปลี่ยนความดันในระบบที่มีปฏิริยาระหว่างกาซคาร์บอนมอนอกไซด์กับกาซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุล จะมีผลหรือไม่มีผลต่อภาวะสมดุล
24 ไม่ลดลง	

25 ไม่ถูกรบกวน	
26 ไม่มีผล	

1.7.1 การใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์ในการอุตสาหกรรม

	27 ในวงการอุตสาหกรรมผู้ผลิตต้องเลือกใช้กรรมวิธีในการเปลี่ยนวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นให้เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด นอกจากนี้ การลงทุน เวลา และเรื่องอื่น ๆ ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญเช่นกัน จงบอกองค์ประกอบที่สำคัญในวงการอุตสาหกรรมที่ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงมาสัก 2 อย่าง -----

27

กรรมวิธีในการเปลี่ยน

วัตถุดิบ หรือสารตั้งต้นให้

เกิดผลิตภัณฑ์

การลงทุน

เวลา

28

ในอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยวิทยาศาสตร์ที่ทำกันในเมืองไทย เช่นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซแอมโมเนีย และกรดซัลฟูริก

ถ้าเราต้องการเตรียมปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเราจะต้องใช้สารตั้งต้นอะไรบ้าง?

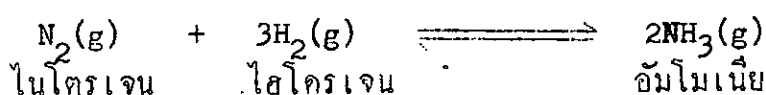
29

ในการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นทางโรงงานได้เตรียมก๊าซแอมโมเนียขึ้นใช้เองโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน (เตรียมจากอากาศ) ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน (เตรียมจากการใช้ถ่านโค้กที่ร้อนจัดทำปฏิกิริยากับไอน้ำ)

ในการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นทางโรงงานจะต้องเตรียมก๊าซอะไรขึ้นก่อนบ้าง?

30

การเตรียมก๊าซแอมโมเนีย โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



จากสมการที่เขียนแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซึ่งมีทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอะไร?

28 กาซอัมโมเนีย และ กรรชัลฟูริก	31 เราทราบมาแล้วว่าปฏิกิริยาที่ผันกลับได้นั้น ณ ภาวะสมดุล ย่อมมีสารตั้งต้นทุกชนิดเหลือปนอยู่กับผลิตภัณฑ์ ปฏิกิริยาระหว่างกาซไนโตรเจนกับกาซไฮโดรเจน ณ ภาวะสมดุล จะมีกาซอะไรอยู่บ้าง?
29 กาซไนโตรเจนและ กาซไฮโดรเจน	32 เราทราบมาแล้วว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์นั้น สาร ตั้งต้นชนิดหนึ่งชนิดใดจะหมดไป แต่ถาปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยไม่สมบูรณ์ คือ เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ก็จะมีสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทุกชนิดอยู่ รวมกันในระบบตลอดเวลา ปฏิกิริยาระหว่างกาซไนโตรเจนกับกาซไฮโดรเจนนั้นเป็น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์
30 ที่ผันกลับได้	

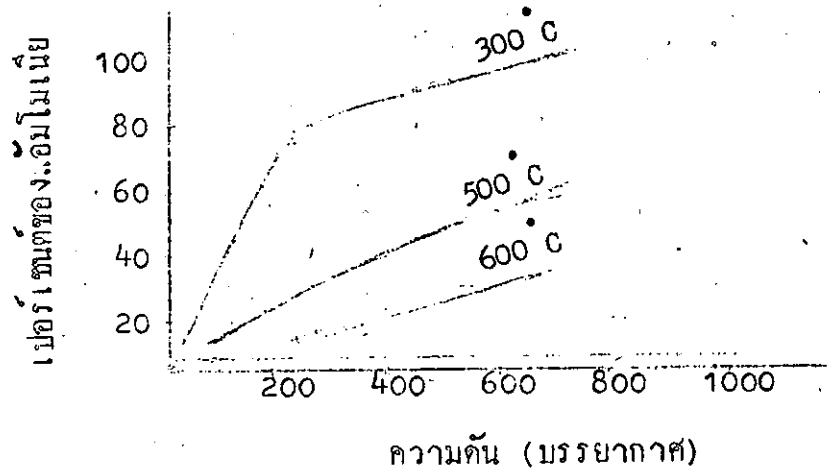
31 ไนโตรเจน ไฮโดรเจน แอมโมเนีย	33 ในระบบ $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อมีการลดอุณหภูมิของระบบจะทำให้ได้ก๊าซ N_2O_4 มากขึ้น ได้มีผู้ทดลองพบว่า เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งระบบจะปรับตัวให้เข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่โดยการคายความร้อน ในระบบ $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าต้องการก๊าซ NH_3 มากขึ้นเราจะทำได้โดยอย่างไร?
32 ไม่สมบูรณ์	34 ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์การเปลี่ยนแปลง ความดัน และอุณหภูมิอาจทำให้ภาวะสมดุลเปลี่ยนไปด้วย ในการผลิตก๊าซแอมโมเนีย จากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิอาจทำให้เกิดผลอย่างไร?

33

ลดอุณหภูมิ

35

ได้มีผู้ทำการทดลองเก็บข้อมูล ในการผลิตกาซอัมโมเนีย ที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟได้ดังนี้



34

ภาวะสมดุล
เปลี่ยนไป

รูปแสดงเปอร์เซ็นต์ของกาซอัมโมเนียเมื่อผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ

ถ้าพิจารณาจากกราฟนี้ เมื่อระบบอยู่ภายใต้ความดัน 200 บรรยากาศ เราจะได้เปอร์เซ็นต์ของอัมโมเนียสูงที่สุดที่

อุณหภูมิ _____

ต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ _____

35

300 °C

600 °C

36

ถ้าพิจารณาจากกราฟรูปที่แสดงเปอร์เซ็นต์ของกาซอัมโมเนีย
เมื่อผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ เมื่อระบบอยู่ภายใต้ความดัน
600 บรรยากาศ เราจะได้เปอร์เซ็นต์ของอัมโมเนีย

สูงที่สุดที่อุณหภูมิ

ต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ

37

ถ้าพิจารณาจากกราฟรูปที่แสดงเปอร์เซ็นต์ของกาซอัมโมเนีย
เมื่อผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ เราจะได้เปอร์เซ็นต์ของ
อัมโมเนียสูง ถ้าสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ?

38

จากข้อมูลที่รวบรวมได้ พบว่า เมื่อกาซไนโตรเจนรวมตัวกับ
กาซไฮโดรเจนเกิดเป็นกาซอัมโมเนีย จะคายความร้อนออกมา
92 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งตามหลักของเลอชาเตอลีเยร์อธิบายได้ว่า การ
ลดอุณหภูมิทำให้ระบบปรับตัวไปในทิศทางที่คายความร้อนออกมาเพื่อเพิ่ม
อุณหภูมิให้แก่ระบบจึงเกิดกาซอัมโมเนียมากขึ้น

จงใช้หลักของเลอชาเตอลีเยร์อธิบายการเพิ่มอุณหภูมิแล้ว
ทำให้ได้กาซอัมโมเนียน้อยลง

36

300 °C

600 °C

39

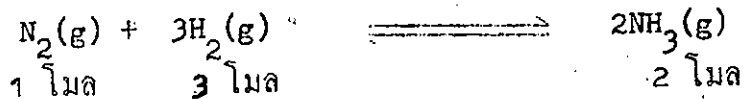
ถ้าพิจารณาจากกราฟที่แสดงเปอร์เซ็นต์ของกาซแอมโมเนียเมื่อผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ กันจะเห็นว่ากาซแอมโมเนียที่ผลิตได้ ณ อุณหภูมิใดก็ตาม เมื่อเพิ่มความดันจะได้กาซแอมโมเนียมากขึ้นหรือน้อยลง?

37

ทำ

40

ถ้าพิจารณาจากสมการ



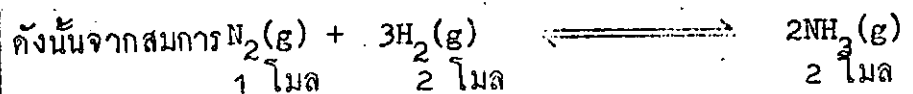
จะเห็นว่าเมื่อใช้สารตั้งต้นคือกาซ N_2 1 โมล และกาซ H_2 3 โมล รวมกันเป็น 4 โมล จะเกิดผลิตภัณฑ์คือกาซ NH_3 2 โมล แสดงว่าการเกิดกาซ NH_3 นั้นทำให้จำนวนโมลรวมของกาซในระบบ -----

38

การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ระบบปรับตัวไปในทิศทางที่ลดความร้อนเข้าไปเพื่อลดอุณหภูมิของระบบจึงเกิดกาซแอมโมเนีย
น้อยลง

41

เราทราบมาแล้วว่าในกรณีเกี่ยวกับกาซจำนวนโมลรวมทั้งหมดของกาซในระบบลดลงเทียบได้กับการลดความเข้มข้นของกาซในระบบและเราอาจวัดความดันแทนความเข้มข้นได้

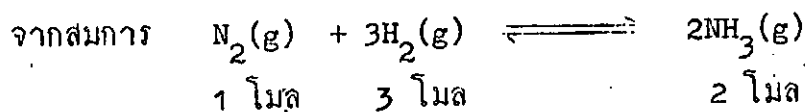


จึงเห็นได้ว่าในการเกิดกาซ NH_3 จะทำให้ความดันของกาซในระบบ -----

39

มากขึ้น

42



จะเห็นได้ว่าการเกิดก๊าซ NH_3 จะทำให้ความดันของ
 ก๊าซในระบบลดลง ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ก๊าซ NH_3 มีเปอร์เซ็นต์สูง
 จะทำได้โดยการ _____ ความดันเพื่อให้ระบบจะ
 ปรับตัวในทิศทางที่ลดผลการรบกวนสมดุลแล้วเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่

40

ลดลง

43

ซึ่งจะสรุปได้ว่าถ้าต้องการจะให้ได้ผลิตภัณฑ์คือก๊าซ NH_3
 เปอร์เซ็นต์สูง ผู้ทำการอุตสาหกรรมควรใช้อุณหภูมิและความดัน
 เช่นไร?

41

ลดลง

44

ที่อุณหภูมิต่ำก๊าซไนโตรเจนรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนได้ช้ามาก
 กว่าที่จะเข้าสู่ภาวะสมดุล และการที่จะได้ก๊าซแอมโมเนียจำนวนมากอาจ
 ใช้เวลาเป็นปี ฉะนั้นการใช้อุณหภูมิต่ำมากอาจไม่เหมาะเพราะปฏิกิริยา
 เกิดช้าเนื่องจากการอุตสาหกรรมจำเป็นต้องคำนึงถึง _____
 ที่ใช้ด้วย

42 เพิ่ม ○	45 นักเรียนเคยทดลองในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ผลว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นถ้าเพิ่มอุณหภูมิและใช้ตะตะไลส์ ที่เหมาะสม ถ้าต้องการให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไนโตรเจน และไฮโดรเจนเกิดเร็ว เราควรจะทำอย่างไร? -----
43 อุณหภูมิต่ำ ความดันสูง	46 การเตรียมก๊าซแอมโมเนียในปัจจุบันซึ่งได้จากการทดลอง ค้นคว้า พบว่า ภาวะที่เหมาะสมคือใช้ก๊าซไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับ ก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ความดัน 350 บรรยากาศ และเหล็กเป็นตะตะไลส์ที่เหมาะสม การที่เราจะทราบภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสารตั้งต้น ให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุดในอุตสาหกรรม จะต้องได้มาจากอะไร? -----
44 เวลา	47 ทางอุตสาหกรรมได้พิจารณาเห็นว่า ภาวะที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ความดัน 350 บรรยากาศ และใช้เหล็ก เป็นตะตะไลส์เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในทางปฏิบัติ ถึงแม้จะได้อัตรา แอมโมเนียเพียง 30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เพราะก๊าซไนโตรเจนและ

45 เพิ่มอนุภูมิและ ใช้กะทะโลสที่เหมาะสม	ไฮโดรเจนที่เหลือจากปฏิกิริยานำกลับไปใช้ในขบวนการเตรียมก๊าซ อัมโมเนียได้อีก เหตุใด ๗ ภาวะดังกล่าวซึ่งเตรียมก๊าซอัมโมเนียได้น้อย แต่ในทางอุตสาหกรรมยังคงใช้ผลิตก๊าซอัมโมเนีย
46 การทดลองค้นคว้า	-----
	48 ขบวนการแยกก๊าซอัมโมเนียที่เกิดขึ้นได้โดยอัตโนมัติ ภายใต้ความดันสูงแล้วลดอนุภูมิ อัมโมเนียจะเป็นของเหลวขณะที่ ไนโตรเจนและไฮโดรเจนยังคงเป็นกาซจึงแยกจากกันได้ เรียกว่า ขบวนการฮาเบอร์ ค้นพบโดยนักเคมีชื่อฟรีทซ์ ฮาเบอร์ ซึ่งใน วงการอุตสาหกรรมนิยมใช้ขบวนการนี้ จงอธิบายขบวนการแยกก๊าซอัมโมเนียที่นิยมใช้ในวงการ อุตสาหกรรม -----

47

เพราะก๊าซ-
ไนโตรเจนและไฮโดรเจน
ที่เหลือจากปฏิกิริยานำกลับ
ไปใช้ในขบวนการเตรียม
ก๊าซอะมโมเนียได้อีก

49

สำหรับประเทศไทยมีอุตสาหกรรมผลิตก๊าซอะมโมเนียโดย
ขบวนการฮาเบอร์ที่นานแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยใช้ลิกไนท์
เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

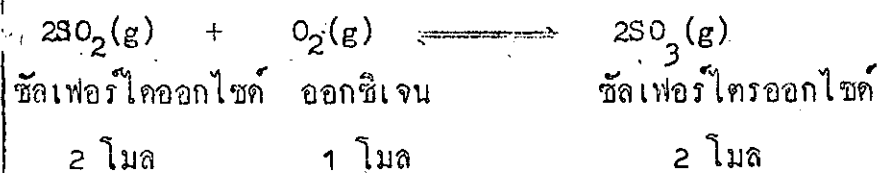
ลิกไนท์เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตก๊าซอะมโมเนีย
อย่างไร?

48

โดยอ็อกซิเจนผสม
ภายใต้ความดันสูงและลด
อุณหภูมิ อะมโมเนียจะเป็น
ของเหลวขณะที่ไนโตรเจน
และไฮโดรเจนยังคงเป็น
ก๊าซจึงแยกจากกันได้

50

อุตสาหกรรมการเตรียมก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เพื่อ
ทำเป็นกรดซัลฟูริกนั้นได้นำเอาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มารวมกับ
ก๊าซออกซิเจน ซึ่งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ถ้าพิจารณาจากสมการ การเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์
จะทำให้จำนวนโมลรวมของก๊าซในระบบ _____

49

เป็นสารตั้งต้นใน
การผลิตก๊าซไฮโดรเจน

51

การเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์จะทำให้จำนวนโมลของ
ก๊าซในระบบลดลงซึ่งก็คือทำให้ความดันของก๊าซในระบบลดลง
ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์สูง
ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์จะทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความ
ดันอย่างไร?

50

ลดลง

52

ในระบบ $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$
จากการทดลอง พบว่า เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าต้องการก๊าซ
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์สูง ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์
จะทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างไร?

53

ซึ่งจะสรุปได้ว่าถ้าต้องการจะให้ได้นผลิตภัณฑ์คือก๊าซซัลเฟอร์
ไตรออกไซด์เปอร์เซ็นต์สูง ผู้ทำการอุตสาหกรรมจะต้องเปลี่ยน
แปลงอุณหภูมิและความดันอย่างไร?

51 เพิ่มความดัน	54 ภาวะที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตก๊าซซิลเฟอร์-ไตรออกไซด์ คืออุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 330 บรรยากาศ และใช้วานาเดียมเพนตะออกไซด์ (V_2O_5) หรือแพลตินัมเป็นคะตะไลส์ (กรอบนี้ไม่ต้องตอบ)
52 ลดอุณหภูมิ	
53 ลดอุณหภูมิ และเพิ่มความดัน	

1.7.2 คะตะไลต์กับภาวะสมดุล

55

จากการทดลองพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง
โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับกรดออกซาลิกที่อุณหภูมิห้องดำเนินไป
อย่างช้า ๆ แต่เมื่อเติมแมงกานีส (II) อีออนลงไปเล็กน้อยจะ
ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เราเรียก
แมงกานีส (II) อีออนที่เติมลงไปนี้ว่า คะตะไลต์
ถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดซ้ำมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา
เร็วขึ้น เราจะทำได้โดยการ -----

56

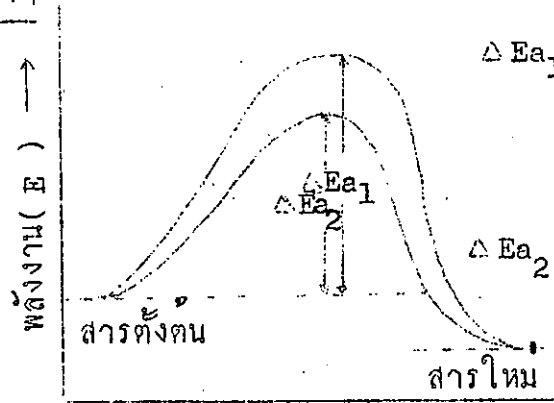
การใช้คะตะไลต์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ นั้น เราต้องการช่วย
ให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่าเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่
ภาวะสมดุลเร็วขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ในการอุตสาหกรรมมากในแง่ของ
เวลาที่ใช้ในการผลิต

ในทางอุตสาหกรรมนั้นต้องการให้ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะ
สมดุลเร็วขึ้น จะทำได้โดยการ -----

55

เติมตะตะไลล์

57



ΔE_{a1} = พลังงานกระตุ้นของ
ปฏิกิริยาที่ไม่มีตัว
ตะตะไลล์
 ΔE_{a2} = พลังงานกระตุ้นของ
ปฏิกิริยาที่มีตัวตะตะไลล์

การดำเนินไปของปฏิกิริยา

รูปผลของตะตะไลล์ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากรูปจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาที่ใช้ตะตะไลล์จะทำให้ปฏิกิริยานั้นมี _____ ต่ำกว่าปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตะตะไลล์
จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น

56

ใช้ตะตะไลล์

58

การที่ตะตะไลล์ช่วยให้ปฏิกิริยามีพลังงานกระตุ้นมีพลังงานต่ำ
จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งหมายความว่าในภาวะสมดุลนั้น
ตะตะไลล์จะช่วยเร่งทั้งปฏิกิริยา _____ และปฏิกิริยา
_____ ให้เกิดเร็วขึ้นได้เท่ากัน

57

พลังงานกระตุ้น

59

ในภาวะสมดุลนั้นคะตะไลส์จะช่วยเร่งทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้า
และย้อนกลับให้เกิดเร็วขึ้นได้เท่ากัน ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยา
ไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา
ที่ _____

58

ไปข้างหน้า
ย้อนกลับ

60

ในภาวะสมดุลคะตะไลส์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไป
ข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่เท่ากัน
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้คะตะไลส์ไม่ได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงภาวะ
สมดุลเพียงแต่ช่วยให้ระบบถึง _____ เร็วขึ้น

61

จากการศึกษาผลของคะตะไลส์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ พบว่า
ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาใด ๆ จะมีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง
เมื่อใช้คะตะไลส์ช่วยก็ยังคงได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณเท่าเดิมไม่เปลี่ยน-
แปลง

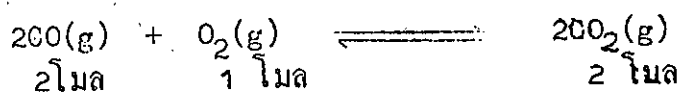
ดังนั้นปริมาณของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ที่ภาวะสมดุลเมื่อใช้
คะตะไลส์หรือไม่ใช้คะตะไลส์ก็มีปริมาณ _____

59

เท่ากัน

62

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในระบบปิดและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน



เมื่ออุณหภูมิของระบบเป็น 1,000 องศาเซลเซียสและอยู่ในภาวะสมดุล

เมื่อเพิ่มความดันให้กับระบบโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงก็เท่ากับเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซทุกชนิด ตามหลักของเลอชาเตอลีเยร์ทำนายได้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่ระบบพยายามปรับตัวไปในทิศทางเพื่อลดความเข้มข้นหรือลดจำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดในระบบ คือการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มความดันจะทำให้ระบบมีก๊าซอะไรมากขึ้น?

60

ภาวะสมดุล

61

เท่าเดิม

63

จากปฏิกิริยาในกรอบที่ 62 เมื่อลดความดันให้กับระบบโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง จงใช้หลักของเลอชาเตอลีเยร์ทำนายให้เหตุผลประกอบ

62

CO₂

64

จากปฏิกิริยาในกรอบที่ 62 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะพยายามปรับตัวเพื่อลดปริมาณความร้อนโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดูดความร้อนนั้นไปใช้แล้วจึงเข้าสู่สมดุลใหม่ ในปฏิกิริยานี้การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะทำให้ระบบมีค่าอะไรมากขึ้น?

63

เมื่อลดความดันให้กับระบบโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงก็เท่ากับลดความเข้มข้นของกาซทุกชนิด ตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ทำนายได้ว่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่ระบบพยายามปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นหรือเพิ่มจำนวนโมลของกาซทั้งหมดในระบบคือการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้นทำให้ได้กาซ CO และ O₂ มากขึ้น

65

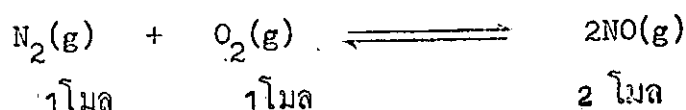
จากปฏิกิริยาในกรอบที่ 62 เมื่อลดอุณหภูมิให้แก่ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้างในระบบ จงให้เหตุผลประกอบ

64

CO และ O₂

66

การผลิตก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์จากก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาคังสมการ



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะพยายามปรับตัวไปในทิศทางที่จะลดอุณหภูมิโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าซึ่งเป็นการดูดความร้อนไปใช้แล้วจึงเข้าสู่สมดุลใหม่ ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ระบบเกิดกาชอะไรมากขึ้น?

65

เมื่อลดอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะพยายามปรับตัวเพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงที่คายความร้อนนั้น แล้วจึงเข้าสู่สมดุลใหม่ ปฏิกิริยานี้การเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเมื่อลดอุณหภูมิจะทำให้ระบบมีกาช CO₂ มากขึ้น

67

จากปฏิกิริยาในกรอบที่ 66 เมื่อลดอุณหภูมิให้แก่ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง? ลงใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์อธิบายให้เหตุผล?

66

NO

68

จากปฏิกิริยาในกรอบที่ 66 ถ้าพิจารณาจากสมการจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ก๊าซ N_2 1 โมล และก๊าซ O_2 1 โมล รวมกันเป็น 2 โมล จะเกิดก๊าซ NO 2 โมล แสดงว่าจำนวนโมลรวมของสารตั้งต้น ----- จำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ -----

67

เมื่อลดอุณหภูมิให้แก่วัสดุ ระบบจะพยายามปรับตัวไปในทางที่จะเพิ่มอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับซึ่งเป็นการคายความร้อนออกมา แล้วจึงเข้าสู่สมดุลใหม่อีกครั้งนั้นเมื่อลดอุณหภูมิจะทำให้ระบบเกิดก๊าซและ O_2 มากขึ้น

69

การเปลี่ยนความดันในระบบ

$CO(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + NO(g)$ ไม่มีผลต่อภาวะสมดุล ถ้าอุณหภูมิคงที่ เพราะการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะย้อนกลับไม่ได้ทำให้จำนวนโมลของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยาและที่ได้จากปฏิกิริยาเปลี่ยนไป

ในระบบ $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ การเปลี่ยนความดันมีผลต่อภาวะสมดุลหรือไม่? เพราะเหตุใด?

68

เท่ากับ

70

ในระบบ $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ ถ้าต้องการให้ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น เราจะได้ทำได้โดยการใช้อะไร?

69

ไม่มีผล เพราะการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับไม่ได้อำนาจจำนวนโมลของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยากันและที่ได้จากปฏิกิริยาเปลี่ยนไป

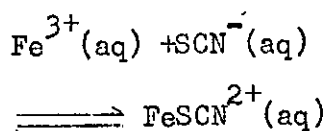
71

ดังนั้นในการผลิตก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์จากก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน เมื่อต้องการให้เกิดก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์มากขึ้น และเกิดเร็วขึ้น จะต้องจัดภาวะโดยการ ----- และ -----

1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในภาวะสมดุล

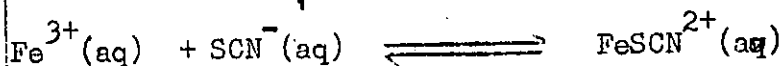
70 คะตะไลส์	1 ในการทดลองที่ 1.5 นักเรียนได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนภาวะสมดุล เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาระหว่างสารละลายไอร่อน (III) ในเตรทกับสารละลายอัมโมเนียมไซโอไฮยาเนตไดไซโอไฮยาโนเฟอเรตอออน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ และระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
71 เพิ่มอุณหภูมิ ใช้คะตะไลส์	2 จากปฏิกิริยา $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}$ ในขณะที่ระบบอยู่ในภาวะสมดุล มีผู้ทดลองหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นคิดเป็นโมลต่อลิตรของผลิตภัณฑ์คือ FeSCN^{2+} และสารตั้งต้นที่เหลือคือ Fe^{3+} และ SCN^{-} การที่เราจะหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นคิดเป็นโมลต่อลิตรของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้นั้นระบบจะต้องเป็นอย่างไร ?

1



3

ณ ภาวะสมดุลในระบบ



เราเขียน $[\text{FeSCN}^{2+}]$ แทนความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของ FeSCN^{2+}

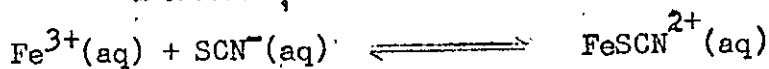
เราจะเขียนแทนความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของ Fe^{3+} และ SCN^{-} ใ้ได้อย่างไร?

2

อยู่ในภาวะสมดุล

4

ณ ภาวะสมดุลในระบบ



จากการทดลองหลาย ๆ ครั้งเมื่ออุณหภูมิคงที่และใช้ความเข้มข้นของสารในแต่ละครั้งต่าง ๆ กัน หากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือพบว่า

$$\frac{[\text{FeSCN}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^{-}]} = \text{ค่าคงที่}$$

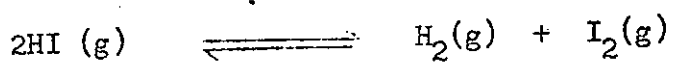
ดังนั้นค่าคงที่ก็คือค่าอะไร?

3



5

ได้มีผู้ทำการทดลองในระบบ $\text{HI} - \text{H}_2 - \text{I}_2$ ณ ภาวะสมดุลเขียนสมการแสดงปฏิกิริยา ณ ภาวะสมดุลได้ดังนี้



ตาราง 1.1 ความเข้มข้นของ HI , H_2 และ I_2 เป็นโมลต่อลิตร ณ ภาวะสมดุลที่ 427°C

4

ค่าคงที่ ก็คือค่าของความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของผลิตภัณฑ์หารด้วยผลคูณของความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของสารตั้งต้นที่เหลือ

การทดลองที่	$[\text{HI}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{I}_2]$
1	17.7×10^{-3}	1.83×10^{-3}	3.13×10^{-3}
2	16.5×10^{-3}	2.91×10^{-3}	1.71×10^{-3}
3	13.5×10^{-3}	4.56×10^{-3}	0.74×10^{-3}
4	3.35×10^{-3}	0.48×10^{-3}	0.43×10^{-3}
5	8.41×10^{-3}	1.14×10^{-3}	1.14×10^{-3}

ค่าที่ได้จากการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ได้จากการเผา H_2 และ I_2 เข้าด้วยกัน ส่วนการทดลองที่ 4 และ 5 ได้จากการเผา HI

ตาราง 1.2 ค่าของอัตราส่วนต่าง ๆ (ค่าของความ
สัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารต่าง ๆ)
โดยใช้ข้อมูลจากตาราง 1.1

การ ทดลอง ที่	$\frac{H_2}{HI} \frac{I_2}{HI}$	$\frac{H_2}{2 [HI]} \frac{I_2}{[HI]}$	$\frac{H_2}{[HI]} \frac{I_2}{2}$
1	3.24×10^{-4}	1.62×10^{-4}	1.83×10^{-2}
2	3.02×10^{-4}	1.51×10^{-4}	1.83×10^{-2}
3	2.50×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.85×10^{-2}
4	0.65×10^{-4}	0.32×10^{-4}	1.85×10^{-2}
5	1.55×10^{-4}	0.77×10^{-4}	1.84×10^{-2}

จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง อัตราส่วนที่ให้ค่าใกล้เคียง
กัน และถือได้ว่าเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งคือ-อัตราส่วน _ _ _ _ _

5

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$$

6

ในระบบ $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
 ณภาวะสมดุล อัตราส่วนที่ได้คือ $\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$ เป็นอัตราส่วน

ที่ให้ค่าใกล้เคียงกัน และถือได้ว่าเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

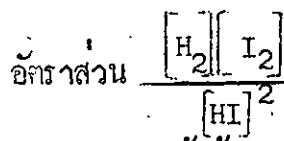
เราจะให้ความหมายของอัตราส่วน $\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$
 ใหม่ว่าอย่างไร?

7

ในระบบ $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
 ณภาวะสมดุล จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน $\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$ นี้ตัวเลข
 บอกกำลังที่ใช้นบนเครื่องหมาย $[]$ ($[]$ แทนความเข้มข้นของ
 สารเป็นโมลต่อลิตร) เท่ากับสัมประสิทธิ์ของสารคิดเป็นโมลที่ปรากฏ
 ในสมการเคมีที่สมดุลแล้วนั่นเอง

จงเขียนอัตราส่วนที่ได้ของระบบ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
 ณภาวะสมดุล

6



คือผลคูณของความเข้มข้นของ
ผลิตภัณฑ์สองชนิดหารด้วย
ความเข้มข้นของสารตั้งต้น
ที่เหลืยกกำลังสอง

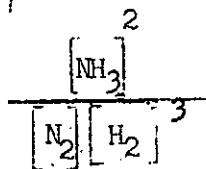
8

ในระบบ $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
เขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของสารต่าง ๆ
ณ ภาวะสมดุลได้ดังนี้

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} = \text{ค่าคงที่}$$

ในระบบ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของสาร
ต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล

7



9

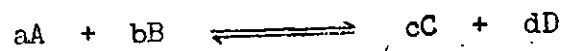
ในระบบ $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ จงเขียน
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตรของสารต่าง ๆ
ณ ภาวะสมดุล

8

$$\frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \text{ค่าคงที่}$$

10

หลักเกณฑ์เกี่ยวกับความเข้มข้นของสาร ณ ภาวะสมดุลซึ่งได้จากการทดลองมีดังนี้ ในปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป เมื่อสาร A จำนวน a โมล ทำปฏิกิริยากับสาร B จำนวน b โมล ได้สาร C จำนวน c โมล และสาร D จำนวน d โมลตามลำดับเขียนสมการแสดงได้ดังนี้



ถ้า ณ ภาวะสมดุลในปฏิกิริยามีสาร A จำนวน 2 โมล สาร B 3 โมล สาร C 4 โมล และสาร D 1 โมล จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยานี้

9

$$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \text{ค่าคงที่}$$

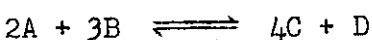
11

ในปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ และสารตั้งต้นที่เหลือ ณ ภาวะสมดุล เมื่ออุณหภูมิคงที่ จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} = \text{ค่าคงที่} = K$$

ในระบบ $2A + 3B \rightleftharpoons 4C + D$ จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล

10



12

ในปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$
 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ $\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \text{ค่าคงที่ (K)}$

คืออัตราส่วนระหว่างผลคูณของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด
 ยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์ของจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ กับ

ผลคูณของ

..... ณ ภาวะสมดุล เมื่อ
 อุณหภูมิคงที่ และความเข้มข้นคิดเป็นโมลต่อลิตร

11

$$\frac{[C]^4 [D]}{[A]^2 [B]^3} \text{ค่าคงที่} = K$$

13

เราเรียก K ว่าค่าคงที่ของสมดุล ค่า K นี้จะคงที่
 ณ อุณหภูมิหนึ่ง

ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไป ค่า K จะมีค่าคงที่หรือเปลี่ยนไป?

12

ความเข้มข้นของสารตั้งต้น
ที่เหลือแต่ละชนิดที่กำลังคาย
สัณสิทธิ์ บอกรจำนวนโมลของ
สารตั้งต้นที่เหลือ

14

ในการทดลองที่ 1.3 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่าง Fe^{2+}
กับ Ag^+ เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$$

 เมื่อ K_1 เป็นค่าคงตัวของสมดุล
 จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเป็นโมลต่อลิตร
 ของสารต่าง ๆ

13

เปลี่ยนไป

15

ในปฏิกิริยา $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) +$
มีโลหะเงินซึ่งเป็นของแข็งเกิดขึ้นโดยปริมาตรของของแข็งต่อหนึ่งหน่วย
ปริมาตรมีค่าคงที่ ดังนั้นความเข้มข้นเมื่อคิดเป็นโมลต่อลิตร ของ
 โลหะเงินจึงมีค่า -----

14

$$K_1 = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{Ag}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]}$$

16

จากปฏิกิริยา $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$

เราได้ว่า $K_1 = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{Ag}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]}$

ซึ่ง Ag มีค่าคงที่เมื่อนำไปหารค่า K_1 ก็จะได้ค่าคงที่ใหม่ คือ K ดังนี้

$$\frac{K_1}{\text{Ag}} = \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]}$$

เพราะฉะนั้น $K = \text{-----}$

15

คงที่

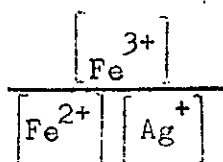
17

ณ ภาวะสมดุลในระบบใด ๆ ที่มีของแข็ง เกี่ยวข้องอยู่ด้วย ความเข้มข้นเมื่อคิดเป็นโมลต่อลิตรของของแข็ง ได้คิดรวมอยู่ในค่าคงที่ของสมดุล (K) แล้ว จึงไม่เขียนไว้ในอัตราส่วนที่แสดงค่าคงที่ของสมดุลนั้น

จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุลในระบบ

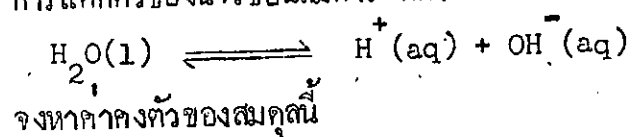


16



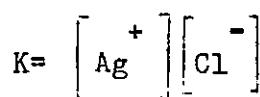
18

การแตกตัวของน้ำเขียนสมการได้ดังนี้

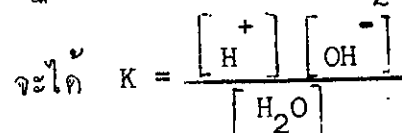


จงหาค่าคงตัวของสมดุลนี้

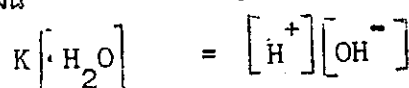
17



19

ปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำ $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq)$ 

ปริมาณของน้ำส่วนที่แตกตัวไปมีค่าน้อยมาก จึงถือว่า

 $[\text{H}_2\text{O}]$ มีค่าคงที่ เมื่อคูณกับ K จะได้ค่าคงตัวของสมดุลใหม่คือ K_w ดังนี้
เพราะฉะนั้น $K_w =$

18

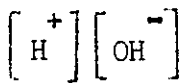
$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

20

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุลมีประโยชน์มากในทางเคมี เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้ทันทีจากสมการที่เขียนแสดงปฏิกิริยาเคมีใด ๆ

จากสมการที่เขียนแสดงปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ณ ภาวะสมดุล เราสามารถจะเขียนอะไรได้บ้าง?

19



21

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือเป็นค่าคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไป ค่าคงที่นี้จะเปลี่ยนหรือไม่?

20

ความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์
และสารตั้งต้นที่เหลือ

22

ถ้าเราทราบค่าคงตัวของสมดุลของระบบหนึ่ง ๆ จะนำมาใช้
คำนวณหาความเข้มข้นของสาร ณ ภาวะสมดุลได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง ณ ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมีระหว่าง Fe^{2+} กับ Ag^+
พบว่า มี Ag^+ 0.25 โมล/ลิตร และ Fe^{3+} 0.50 โมล/ลิตร
จงหาความเข้มข้นของ Fe^{2+} ณ ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ
25 องศาเซลเซียส ค่าคงตัวของสมดุล (K) ที่
25 องศาเซลเซียส = 3.0

วิธีทำ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$

$$K = \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{Ag}^+]}$$

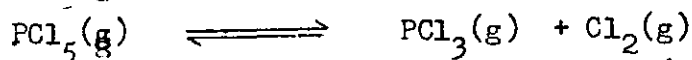
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } 3.0 &= \frac{0.50}{[\text{Fe}^{2+}] \times 0.25} \\ \text{Fe}^{2+} &= \frac{0.50}{3.0 \times 0.25} \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

จะได้ ณ ภาวะสมดุลมี $[\text{Fe}^{2+}]$ 0.67 โมล/ลิตร
(กรอบนี้ไม่ต้องทอบ)

21

เปลี่ยนไป

23



ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์

ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ คลอ

จากปฏิกิริยาเคมี ค่า $K = 0.04$ จงหาความเข้มข้น
ของ Cl_2 ณ ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เมื่อ
ความเข้มข้น ณ ภาวะสมดุลของ PCl_5 เป็น 0.2 โมล/ลิตร
ของ PCl_3 เป็น 0.01 โมล/ลิตร

24

เนื่องจากค่าคงตัวของสมดุล (K) แสดงอัตราส่วนของ
ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือ ณ ภาวะสมดุล ถ้า
พิจารณาจากค่า K จะทำให้ทราบว่า ณ ภาวะสมดุลมีผลิตภัณฑ์
เกิดขึ้นมากเพียงใด

ถ้า K มีค่าเป็น 3.0 จะมีผลิตภัณฑ์เกิดมากหรือน้อย?

23

$$K = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]}$$

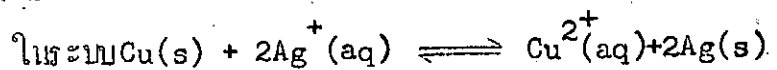
$$\text{แทนค่า } 0.04 = \frac{(0.01)[Cl_2]}{0.2}$$

$$Cl_2 = \frac{0.04 \times 0.2}{0.01}$$

$$Cl_2 = 0.8$$

25

โดยทั่วไปเมื่อค่าคงตัวของสมดุลมากกว่า 1 แสดงว่า ผลคูณของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์มีค่ามาก ผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือน้อย เราอาจอนุมานได้ว่า ณ ภาวะสมดุลในระบบมีผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้นที่เหลือน้อย



$$K = 2 \times 10^{15}$$

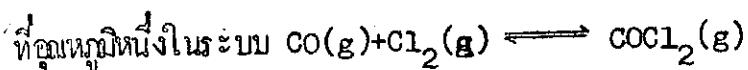
ณ ภาวะสมดุลในระบบนี้ จะมีปริมาณของสารต่าง ๆ เป็นอย่างไร?

24

เกิดมาก

26

เมื่อค่าคงตัวของสมดุลมากกว่า 1 แสดงว่าในระบบภาวะสมดุลมีผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้นที่เหลือน้อยหรืออีกนัยหนึ่ง ปฏิกิริยาดำเนินไปทางขวาไ้มาก



$$\text{ค่า } K = 13.2$$

ปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปอย่างไร?

25

มี $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ และ
 $\text{Ag}(\text{s})$ มากกว่า $\text{Cu}(\text{s})$
 และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$

27

เมื่อค่าคงที่ของสมมูลน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลคูณของความ
 เข้มข้นของผลิตภัณฑ์ มีค่าน้อยกว่าผลคูณของความเข้มข้นของสาร
 ทั้งต้นที่เหลือนั่น หรือ อีกนัยหนึ่ง ปฏิกิริยาดำเนินไปทางขวาไ้จน

ณ ภาวะสมดุลในระบบจะมีปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารทั้งต้น
 ที่เหลือเป็นอย่างไร? และปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างไร? เมื่อค่าคงที่ของ
 สมมูลน้อยกว่า 1

26

ปฏิกิริยาดำเนินไปทาง
 ขวาไ้มาก

28

ในระบบ $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ $K = 5.4 \times 10^{-3}$

ณ ภาวะสมดุลจะมีปริมาณของสารเป็นอย่างไร และปฏิกิริยา
 ดำเนินไปอย่างไร?

29

ในระบบ $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$

$K = 1.8 \times 10^{-5}$

ณ ภาวะสมดุลจะมีปริมาณของสารเป็นอย่างไร และปฏิกิริยา
 ดำเนินไปอย่างไร?

27

มีผลิตภัณฑ์น้อยกว่าสาร
ตั้งต้นที่เหลือ

ปฏิกิริยาคำเนินไปทาง
ขวาไ้เคย

30

ในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความ
เข้มข้น โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจนในที่สุดระบบเข้าสู่สมดุลใหม่
ค่าคงตัวของสมดุล (K) ย่อมเท่ากันทุกครั้งไป

ในระบบ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$
K = 3.0 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

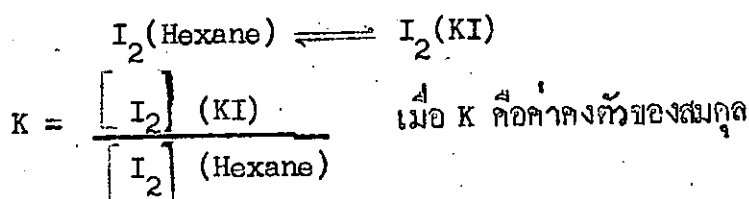
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในระบบโดยที่
อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ ค่า K = ?

28

มี NO_2 น้อยกว่า
 N_2O_4 ปฏิกิริยาคำเนินไปทาง
ขวาไ้เคย

ในการทดลองที่นักเรียนจะได้ทำต่อไปนี้

1. จะนำผลการทดลองที่ 1.4 มาใช้ ในการทดลองนั้น
ได้แสดงถึงการละลายไอโอไดน์ในตัวทำละลาย 2 ชนิดคือ โปตัสเซียม
ไอโอไคด์ และเฮกเซนได้พบว่า ไอโอไดน์บางส่วนละลายได้ใน
โปตัสเซียมไอโอไคด์ บางส่วนละลายได้ในเฮกเซน เมื่อตั้งทิ้งไว้
สักครู่จะเห็นสีของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามี
สมดุลเกิดขึ้น เขียนสมการแสดงปฏิกิริยา ณ ภาวะสมดุลได้ดังนี้



29

มี H^+ และ CH_3COO^-
น้อยกว่า CH_3COOH ปฏิกิริยา
ดำเนินไปทางขวาไ้เคย

เราคงทดลองหาปริมาณของไอโอไดน์ในสารละลายทั้งสอง
ชนิดแล้วนำมาคำนวณหาอัตราส่วนของความเข้มข้นของไอโอไดน์ใน
สารละลายทั้งสองนั้นคงที่หรือไม่

30

$$K = 3.0$$

2. เนื่องจากในการทดลองนี้มีการวิเคราะห์หาปริมาณของไอโอดีนโดยประมาณเป็นครั้งแรก ดังนั้นการวัดปริมาณสารละลายไอโอดีนให้ห่าอย่างละเอียดเท่าที่จะทำได้ และการวัดปริมาณสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตโดยให้หลอดหยดจะต้องระวังให้ขนาดของหยดเท่า ๆ กัน เพราะเราต้องการจะวัดปริมาณของสาร

3. เมื่อคำนวณค่า K ได้แล้ว นำไปเฉลี่ยหรือห่าจำนวนหยดของโซเดียมไฮโอซัลเฟตในแต่ละชั้นเฉลี่ยเสียก่อน แล้วนำปห่าค่า K ก็ได้

การทดลองที่ 1.7 การหาค่าคงตัวของสมดุลของไอโอดีนในตัวทำละลายที่ไม่ผสมกัน

วิธีทำ

1. นำสารละลายที่เก็บไว้จากการทดลองที่ 1.4 มาหลอดหนึ่ง ให้หลอดหยดอย่างยาวดูดสารละลายชั้นบนมา 4 cm^3 ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง หยคน้ำแป้งลงไป 10 หยด เขย่าแรง ๆ จนเห็นสีน้ำเงินในชั้นของน้ำแป้ง

2. ค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.01 mol/l ลงไปที่ละหยดพร้อมกับเขย่าแรง ๆ จนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายหายไป บันทึกจำนวนหยดของสารละลายไว้

3. ให้หลอดหยดอย่างยาวดูดสารละลายชั้นล่างมา 4 cm^3 ใส่ในหลอดทดลองขนาดกลาง (ระวังอย่าให้สารละลายชั้นบนติดมากับ) หยคน้ำแป้งลงไป 10 หยด แล้วค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.01 mol/l ลงไปที่ละหยดพร้อมกับเขย่าจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายหายไป บันทึกจำนวนหยดของสารละลายไว้

4. นำสารละลายจากการทดลองที่ 1.4 มาอีกหลอดหนึ่ง แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 - 3 อีกครั้งหนึ่ง บันทึกผล

บันทึกผลการทดลองลงในสมุด ในรายงานการทดลอง หลังจากเขียนผลการทดลองแล้ว ให้คำนวณหาค่า K จากผลการทดลอง เมื่อใช้สารละลายไอโอดีนหลอดที่ 1 และสารละลายไอโอดีนหลอดที่ 2 โดยใช้จำนวนหยดของสารละลายโซเดียมโซลเฟต ในชั้นบนและล่างของสารละลายทั้งสองหลอด แล้วจึงนำค่า K ของสารละลายไอโอดีนทั้ง 2 หลอดมาหาค่า K เฉลี่ย

การสรุปผลการทดลองให้นักเรียนพิจารณาผลการทดลอง และดูจากค่า K ในที่สุดให้สรุปว่าไอโอดีนละลายในสารละลายชั้นบนหรือชั้นล่างได้ดีกว่า

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.7

การหาค่าของสมมูลของไอโอคีนในหัวปลาละลายที่ไม่ผสมกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อฝึกหัดหาค่าของสมมูลจากปฏิกิริยาที่ได้ทดลองจริง ๆ ซึ่งจะช่วยให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับการหาค่าคงตัวของสมมูลตามที่ได้เรียนมาแล้ว

วิธีทำ

1.

2.

3.

4.

ผลการทดลอง

สาร ละลายไอโอคีน		สาร ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เฟก (หยด)
หลอดที่	ชั้นของสาร ละลาย	
1	ชั้นบน ชั้นล่าง	
2	ชั้นบน ชั้นล่าง	

การหา K จากผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1

จากการทดลองสารละลายชั้นบนและชั้นล่างที่เก็บไว้จากการทดลองที่ 1.4 เมื่อหยคน้ำแป้งลงไป ปรากฏว่าสารละลายทั้งสองชั้นเปลี่ยนเป็นสี _____

2

สารละลายที่เก็บไว้จากการทดลองที่ 1.4 มีไอโอดีนละลายอยู่ทั้งสองชั้น เมื่อหยคน้ำแป้งลงไป สารละลายสีน้ำเงิน แสดงว่าไอโอดีนในสีน้ำเงินกับ _____

3

เมื่อหยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป ในสารละลายสีน้ำเงินทั้งสองชั้น สีน้ำเงินของสารละลายจะหายไป แสดงว่าไอโอดีนทำปฏิกิริยากับ _____

1 น้ำเงิน	4 จำนวนหยดของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเป็นส่วน โดยตรงกับปริมาณของไอโอดีนในสารละลาย ในการทดลอง ถ้าใช้จำนวนหยดของสารละลายโซเดียม- ไฮโอซัลเฟตมาก แสดงว่าปริมาณของไอโอดีนในสารละลายมีจำนวน ----- -----
2. น้ำแป้ง	5 จำนวนหยดของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเป็นส่วน โดยตรงกับปริมาณของไอโอดีนในสารละลาย เราจึงอาจใช้ ----- แทนความเข้มข้น ของไอโอดีนได้ -----
3. โซเดียมไฮโอซัลเฟต	6 นอกจากนี้การที่เราใช้จำนวนหยดของสารละลายโซเดียม- ไฮโอซัลเฟตคำนวณหาค่า K แทนความเข้มข้นของไอโอดีน เพราะ โซเดียมไฮโอซัลเฟตทำปฏิกิริยาพอดีกับไอโอดีนเขียนสมการ แสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้ $ \begin{array}{ccccccc} 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) & + & \text{I}_2(\text{aq}) & \rightleftharpoons & \text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq}) & + & 2\text{I}^-(\text{aq}) \\ 2 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} & & 1 \text{ โมล} & & 2 \text{ โมล} \end{array} $ สมมติว่าใช้สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 โมล/ลิตร จำนวน x ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายไอโอดีน

4

มาก

ส่วนที่ละลายในสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดค์

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} &= \frac{0.1 \times x}{1000} \text{ โมล} \\ &= x \times 10^{-4} \text{ โมล}\end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจากสมการจะเห็นว่า จำนวนโมลของไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็น 2 เท่า ของจำนวนโมลของไอโอดีน

$$\begin{aligned}\therefore \text{ปริมาณไอโอดีนในสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดค์} \\ &= \frac{x \times 10^{-4}}{2} \text{ โมล}\end{aligned}$$

เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมล/ลิตร

จำนวน y ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำปฏิกิริยาพอกกับสารละลายไอโอดีนส่วนที่ละลายในเฮกเซนนั้น

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} &= \frac{0.1 \times y}{1000} \text{ โมล} \\ &= y \times 10^{-4} \text{ โมล}\end{aligned}$$

กฎแห่งมวลทำนองเดียวกัน คือจำนวนโมลของไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็น 2 เท่าของจำนวนโมลของไอโอดีน

$$\text{ปริมาณไอโอดีนในเฮกเซน} = \frac{y \times 10^{-4}}{2} \text{ โมล}$$

นำมาหาค่าคงตัวของสมดุล ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}K &= \frac{[I_2(KI(aq))]}{[I_2(Hexane)]} \\ K &= \frac{\frac{x}{2} \times 10^{-4}}{\frac{y}{2} \times 10^{-4}} \\ &= \frac{x}{y}\end{aligned}$$

5

จำนวนหยดของ

สารละลายโซเดียม-

ไฮดรอกไซด์

ถ้าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ x ลูกบาศก์-
เซนติเมตรมีปริมาณ a หยด และสารละลายนี้ y ลูกบาศก์-
เซนติเมตร b หยด จึงอาจใช้จำนวนหยดของสารละลายโซเดียม-
ไฮดรอกไซด์ คำนวณหาค่า K ได้
(กรอบนี้ไม่ของตอบ)

7

ค่า K ที่คำนวณได้จากผลการทดลองของนักเรียนและ
ของเพื่อน ๆ มีค่าเท่ากันหรือแตกต่างกัน?

8

ให้นักเรียนบอกสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองของแต่ละกลุ่มได้
ค่า K แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อผิดพลาดเนื่องจากการทดลอง

7 แตกต่างกัน	9 สารละลายที่นำมาจากการทดลองที่ 1.4 นั้น อยู่ในภาวะสมดุล เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้ $I_2(\text{Hexane}) \rightleftharpoons I_2(KI)$ จากการทดลองที่ 1.7 ค่า K ที่คำนวณได้จากผลการทดลองมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ณ ภาวะสมดุล $I_2(KI)$ _____ กว่า $I_2(\text{Hexane})$ -----
8 ในการวัดปริมาตรของสารละลายที่นำมาทดลองและการวัดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้หลอดหยดขนาดต่าง ๆ กัน ขนาดของหยดอาจไม่เท่ากัน หรือถ้าใช้หลอดหยดขนาดเดียวกัน การบีบหลอดหยดไม่สม่ำเสมอ ก็ทำให้ขนาดหรือปริมาณของสารต่างกันได้	10 จากการทดลอง ค่า K ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ณ ภาวะสมดุล $I_2(KI)$ มากกว่า $I_2(\text{Hexane})$ ดังนั้น ไอโอดีนละลายในสารละลาย _____ ได้มากกว่าละลายในสารละลาย _____ ----- 11 จากผลการทดลองของสารละลายที่นำมาจากการทดลองที่ 1. ทั้งสองหลอดนั้นจำนวนหยดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนในสารละลายชั้นล่าง _____ กว่าในสารละลายบน -----

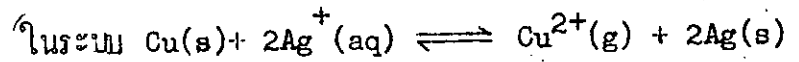
9 มากกว่า	12 จากการทดลองที่ 1.4 เราทราบว่าไอโอดีนในสารละลาย เฮกเซนมีสีน้ำตาลเข้ม และไอโอดีนในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์มีสี น้ำทาสปนเหลือง ดังนั้นสารละลายที่ได้จากการทดลองที่ 1.4 ซึ่ง แยกเป็นสองชั้น ชั้นบนมีสีน้ำตาลเข้มคือ _____ ชั้นล่างมีสีน้ำทาสปนเหลือง คือ _____ _____
10 โพตัสเซียมไอโอไดค์ เฮกเซน	13 ดังนั้น ผลการทดลองจากการใช้จำนวนหยดของสารละลาย โซเดียมไฮโอไซด์เฟ้นแสดงว่า ไอโอดีนละลายในสารละลาย _____ ได้มากกว่าละลายในสารละลาย _____ _____
11 มาก	14 จากผลการทดลองและค่า K ที่คำนวณได้เราจะสรุปการ ละลายของไอโอดีนในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์และเฮกเซนได้ ว่าอย่างไร? _____

12 สารละลายเฮกเซน สารละลายโปตัสเซียม- ไอโอไดค์	15 ในระบบ $\text{CO(g)} + \text{NO}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{NO(g)}$ จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสาร- ตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล -----
13 โปตัสเซียมไอโอไดค์ เฮกเซน	16 ในระบบ $\text{NH}_4\text{Cl(s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3\text{(g)} + \text{HCl(g)}$ จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล -----
14 ไอโอดีนละลายในสาร- ละลายโปตัสเซียมไอโอไดค์ ได้มากกว่าละลายในสาร- ละลายเฮกเซน	17 ในระบบ $4\text{HCl(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_2\text{(g)} + 2\text{H}_2\text{O(g)}$ จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล -----

15

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{NO}]}{[\text{CO}][\text{NO}_2]}$$

18

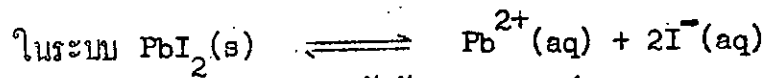


จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล

16

$$K = \frac{[\text{NH}_3][\text{HCl}]}{[\text{NH}_4^+][\text{Cl}^-]}$$

19

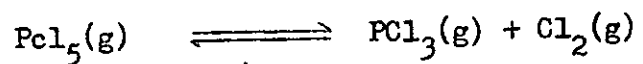


จงเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล

17

$$K = \frac{[\text{Cl}_2]^2 [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{HCl}]^4 [\text{O}_2]}$$

20

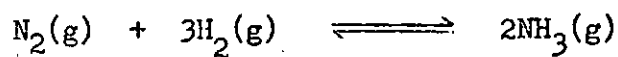


จากปฏิกิริยานี้จงหาค่า K เมื่อปรากฏว่าที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส มี PCl_5 1.5 โมล/ลิตร PCl_3 0.2 โมล/ลิตร และ Cl_2 0.3 โมล/ลิตร

18

$$K = \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Ag}^+]^2}$$

21



ค่า K ของปฏิกิริยานี้เท่ากับ 1.85 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ถ้าใช้ก๊าซ H_2 0.2 โมล/ลิตร จะต้องใช้ N_2 กี่โมล/ลิตร จึงจะทำให้ก๊าซ NH_3 0.1 โมล/ลิตร ณ ภาวะสมดุล

19

$$K = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2$$

20

$$K = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}$$

$$K = \frac{0.2 \times 0.3}{1.5}$$

$$= 0.04$$

$$= 4.0 \times 10^{-2}$$

21

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

แทนค่าในสูตร $1.85 = \frac{(0.1)^2}{[\text{N}_2](0.2)^3}$

จะได้ $\text{N}_2 = \frac{(0.1)^2}{1.85 \times (0.2)^3}$
 $= 0.676 \text{ โมล/ลิตร}$

1.9 ประโยชน์ของค่าคงตัวของสมดุล

1.9.1 ค่าคงตัวของสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่ง

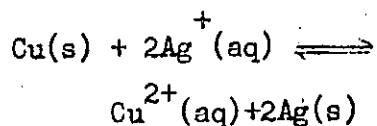
1

ตาราง 1.3 แสดงค่าคงตัวของสมดุลของปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่
อุณหภูมิ 25 °C

ปฏิกิริยา	ค่าคงตัวของสมดุล
$\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$	2×10^{15}
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag(s)}$	3.0
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	5.4×10^{-3}
$\text{CH}_3\text{COOH(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$	1.8×10^{-5}
$\text{AgCl(s)} \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$	1.7×10^{-10}
$\text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$	1.0×10^{-14}

	เมื่อนักเรียนพิจารณาตาราง 1.3 ซึ่งได้มาจากหนังสือรวม ข้อมูล จะเห็นว่าค่าคงตัวของสมดุลมีค่าน้อยต่าง ๆ กันมีค่า ตั้งแต่ _____ ถึง _____ _____
1 1.0×10^{-14} 2×10^{15}	2 จากตาราง 1.3 ปฏิริยาไอที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า K มากที่สุด _____
	3 จากตาราง 1.3 ปฏิริยาไอที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า K น้อยที่สุด _____

2



4

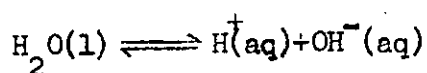
เมื่อค่าคงตัวของสมมูลมีค่ามาก (ตั้งแต่ 1 ขึ้นไป) แสดงว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์เกิดมากและมีสารตั้งต้นเหลืออยู่น้อยหรือกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นไปทางขวาไ้มาก

ถ้าพิจารณาค่าคงตัวของสมมูลจากตาราง 1.3 ในปฏิกิริยา



ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 3.0$ บ่งชี้แสดงว่าอย่างไร?

3



5

ในระบบนี้ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดโดยสมบูรณ์อย่างแท้จริง แต่ถ้าวัดสารตั้งต้นในปฏิกิริยามีเหลือน้อยจนเราไม่สามารถตรวจหรือวัดได้ เราอาจอนุมานว่าปฏิกิริยานั้น ๆ เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์

ในปฏิกิริยา $\text{Cu(s)} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 2 \times 10^{15}$ ถือว่าในระบบปฏิกิริยาเกิดไปทางขวาจนสมบูรณ์ แสดงว่าสารตั้งต้นในปฏิกิริยานี้เป็นเช่นไร?

4

ปริมาณของ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
และ $\text{Ag}(\text{s})$ เกิดมาก และมี
 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$
เหลือน้อย หรือปฏิกิริยาไป
ทางขวาไ้มาก

6

เมื่อค่าคงตัวของสมดุล (น้อยกว่า 1) บ่งบอกว่าปริมาณ
ของผลิตภัณฑ์เกิดน้อย และมีสารตั้งต้นเหลือน้อยมาก หรือกล่าวได้ว่า
ปฏิกิริยาทำเนิไปทางขวาได้น้อย

ในปฏิกิริยา $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ที่อุณหภูมิ
25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 5.4 \times 10^{-3}$ บ่งบอกว่า
อย่างไร?

5

มีเหลือน้อยจนเราไม่
สามารถตรวจหรือวัดได้

7

ในปฏิกิริยา $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 1.7 \times 10^{-10}$ บ่งแสดง
ปฏิกิริยาเป็นอย่างไร?

6

ปริมาณของ NO_2 เกิด
น้อย และมี N_2O_4 เหลืออยู่
มาก หรือปฏิกิริยาไปทางขวา
เล็กน้อย

8

ค่าคงตัวของสมดุลของปฏิกิริยาต่าง ๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน
ถ้าค่าคงตัวของสมดุลยิ่งมากเท่าใด ผลิตภัณฑ์ก็ยิ่งเกิดได้มากขึ้นเท่านั้น

ปฏิกิริยา $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 1.8 \times 10^{-5}$

ปฏิกิริยา $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า $K = 1.7 \times 10^{-10}$

ปฏิกิริยาใดมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้มากกว่า

7

ปริมาณของ $\text{Ag}^+(\text{aq})$
และ $\text{Cl}^-(\text{aq})$ เกิดน้อยและ
มี $\text{AgCl}(\text{s})$ เหลืออยู่
มากหรือปฏิกิริยาคำเนินไป
ทางขวาเล็กน้อย

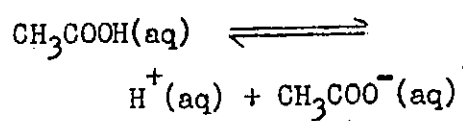
9

จากตาราง 1.3 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาใดมี
ผลิตภัณฑ์เกิดได้มากที่สุด และปฏิกิริยาใดมีผลิตภัณฑ์เกิดน้อยที่สุด

10

จากการทราบค่าคงตัวของสมดุลปฏิกิริยาของปฏิกิริยาจะช่วยให้
สามารถทำนายถึงปริมาณของ _____ ที่เกิดขึ้นได้

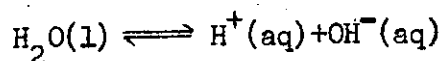
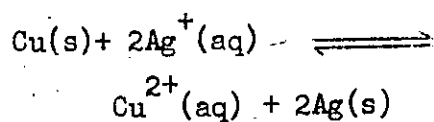
8



11

ฉะนั้นถ้าเราทราบค่า _____ ของปฏิกิริยา
 ต่าง ๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน เราจะสามารถหาได้ว่าปฏิกิริยาใดมีผลิตภัณฑ์
 เกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด?

9



10

ผลิตภัณฑ์

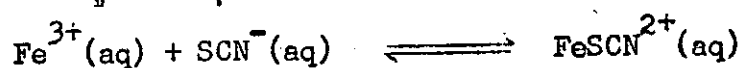
11

คงตัวของสมดุล

1.9.2 ค่าคงตัวของสมดุลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

12

ในการทดลองที่ 1.5 นักเรียนได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิห้อง เมื่อผสม $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ กับ $\text{SCN}^{-}(\text{aq})$ เข้าด้วยกันได้ $\text{FeSCN}^{2+}(\text{aq})$ และระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



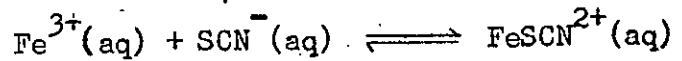
จงหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Fe^{3+} , SCN^{-} และ FeSCN^{2+} ณ ภาวะสมดุล เมื่อให้ K_1 เป็นค่าคงตัวของสมดุล

12

$$K_1 = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]}$$

13

ในการทดลองที่ 1.5 เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ โดยเพิ่ม Fe^{3+} หรือ SCN^- หรือ FeSCN^{2+} ลงไป ณ จุดหนึ่งห้องเท่าเดิม ระบบจะพยายามปรับตัวเพื่อลดปริมาณของสารที่เพิ่มลงไป แล้วในที่สุดระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกซึ่งต่างจากภาวะสมดุลเดิม เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้



จงหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Fe^{3+} , SCN^- และ FeSCN^{2+} ณ ภาวะสมดุล เมื่อให้ K_2 เป็นค่าคงตัวของสมดุล

14

ในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จงในที่สุดระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ ค่าคงตัวของสมดุล (K) บ่อยเท่ากันทุกครั้งไป

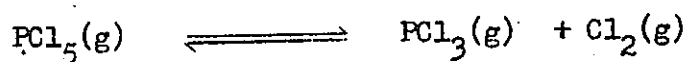
ดังนั้น การทดลองที่ 1.5 ค่า K_1 และ K_2 บ่อยเท่ากัน

ค่า -----

13

$$K_2 = \frac{[\text{FeSCN}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^{-}]}$$

15



จากปฏิกิริยานี้ ใน ภาวະสมดุล ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

$$\text{ค่า } K = 4.0 \times 10^{-2}$$

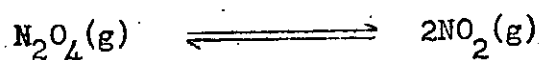
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ใน ภาวະสมดุลใหม่ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ค่า K จะมีค่าเท่าไร?

14

เท่ากัน

16

ในการทดลองเกี่ยวกับการสลายตัวของกาซไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ดังนี้

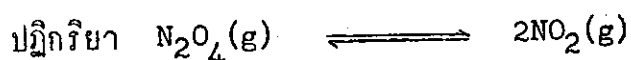


ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคูลความรอน จงใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์ทำนายว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และจะได่กาซอะไรมากขึ้น?

15

$$K = 4.0 \times 10^{-2}$$

17

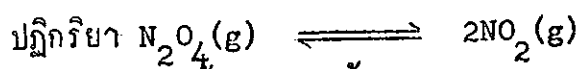


เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุจะได้อากาศ NO_2 มากขึ้น การที่ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นย่อมทำให้ค่าคงตัวของสมดุล มีค่า _____
 _____ กว้าง

16

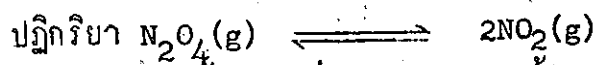
ระบบจะพยายามปรับตัว
 โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงใน
 ทิศทางที่จะดูดความร้อน
 แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่และจะ
 ได้อากาศ NO_2 มากขึ้น

18



ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน จงใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์
 ทำนายว่าเมื่อลดอุณหภูมิจะได้อากาศอะไรน้อยลง?

19



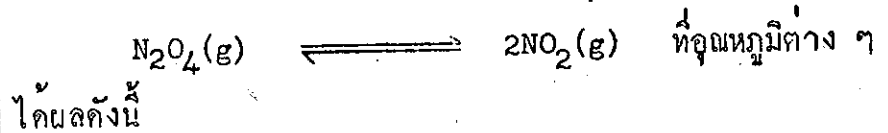
ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เมื่อลดอุณหภูมิจะได้อากาศ NO_2
 น้อยลง การที่ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง ย่อมทำให้ค่าคงตัวของสมดุล
 มีค่า _____ กว้าง

17

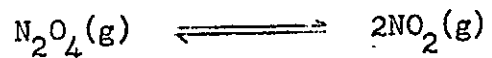
มากขึ้น

20

จากการทดลองหาค่าคงตัวของสมดุลของปฏิกิริยา

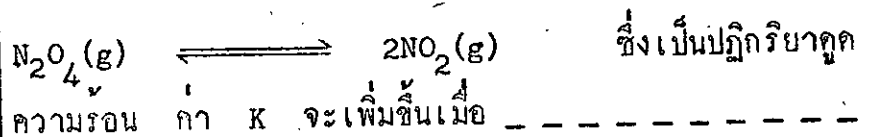


ตาราง 1.4 แสดงค่า K ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของปฏิกิริยา



อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
25	5.4×10^{-3}
35	1.6×10^{-2}
45	2.4×10^{-2}

จากตาราง 1.4 จะเห็นได้ว่าในปฏิกิริยา



19

น้อยลง

21

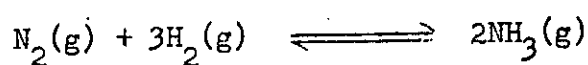
ฉะนั้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปฏิกิริยาคูกความร้อน
ณ ภาวะสมดุลยอมทำให้ _____ เปลี่ยนแปลง

20

อุณหภูมิเพิ่ม

22

ในปฏิกิริยาการผลิตก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งเป็นปฏิกิริยา
คายความร้อน



จงใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์ทำนายว่า เมื่อลดอุณหภูมิ
ให้แก่วระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร? และจะได้ก๊าซอะไร
มากขึ้น?

21

ค่าคงที่ของสมดุล

23

ปฏิกิริยา $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อลดอุณหภูมิให้แก่วระบบจะได้ก๊าซ
 NH_3 มากขึ้น การที่ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นย่อมทำให้ได้ค่าคงตัว
ของสมดุลมีค่า ----- กว่ย

24

ปฏิกิริยา $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จงใช้หลักของเลอชาเตอลิเยร์
ทำนายว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วระบบจะได้ก๊าซอะไรน้อยลง?

22

ระบบจะพยายามปรับ
ตัวโดยเกิดการเปลี่ยนแปลง
ไปในทิศทางที่จะคายความ
ร้อนแล้วเข้าสู่สมดุลใหม่
และจะได้อากาศ NH_3
มากขึ้น

25

ปฏิกิริยา $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$
ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัตถุจะได้อากาศ
 NH_3 น้อยลง การที่ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลงย่อมทำให้ค่าคงตัวของ
สมดุล มีค่า ----- ถ้าย

23

มากขึ้น

26

ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปฏิกิริยาคายความร้อน
ณภาวะสมดุล ย่อมทำให้ -----
เปลี่ยนแปลง

24

อากาศ NH_3

27

ค่าคงตัวของสมดุลอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา
นั้น ๆ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนหรือคายความร้อน

ปฏิกิริยาคายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น
และค่าคงตัวของสมดุลจะมีความมากขึ้น

ปฏิกิริยาคายความร้อน การลดอุณหภูมิจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น
และค่าคงตัวของสมดุลจะมีความมากขึ้น

25

น้อยลง

28

การเปลี่ยนแปลงของค่าคงตัวของสมมูลเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้น เราอาจนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตรายงานบางชนิดในด้านต่าง ๆ เช่น ในด้านอุตสาหกรรม โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้อุณหภูมิให้พอเหมาะเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากตามต้องการ

ในอุตสาหกรรมเพื่อผลิตอัมโมเนียให้ได้มากนั้น เราอาจทำได้โดยนำประโยชน์ของอะไรมาใช้?

26

ค่าคงตัวของสมมูล

29

ค่าคงตัวของสมมูลนั้นช่วยในการพิจารณาว่าปฏิกิริยาเคมีดำเนินไปได้แค่ไหน มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด

ถ้าเราต้องการทราบว่าปฏิกิริยาเคมีปฏิกิริยาหนึ่งนั้นปฏิกิริยาดำเนินไปได้แค่ไหน และมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด เราอาจพิจารณาได้จาก -----

27

ดูความร้อน
คายความร้อน

30

ค่าคงตัวของสมมูลนั้นไม่ได้บอกให้ทราบว่าปฏิกิริยานั้นเกิดเร็วหรือช้า

ถ้าเราต้องการทราบว่าปฏิกิริยาเคมีปฏิกิริยาหนึ่งนั้นเกิดเร็วหรือช้า เราไม่สามารถพิจารณาได้จาก -----

28 การเปลี่ยนแปลงของค่า คงตัวของสมมูลเมื่อเปลี่ยน- แปลงอุณหภูมิ	31 ในการทำอุตสาหกรรมผลิตสารบางอย่างจากปฏิกิริยาเคมี ผู้ผลิตจะต้องพิจารณาว่าจะเลือกใช้ปฏิกิริยาใด โดยดูจากค่าคงตัว ของสมมูลของปฏิกิริยานั้น ๆ ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์มาก ๆ ผู้ผลิตจะต้องเลือกปฏิกิริยา ที่มีค่าคงตัวของสมมูลของปฏิกิริยาที่เป็นอย่างไร?
29 ค่าคงตัวของสมมูล	
30 ค่าคงตัวของสมมูล	

31

คากงตัวของสมกุลของ
ปฏิกิริยาที่มีค่ามาก ๆ

คู่มือแบบเรียนโปรแกรม

เรื่อง

สมุดคู่มือ

ในคู่มือนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตอนแรกเป็นการกำหนดรายการอุปกรณ์และสารเคมีที่จะใช้ในการทดลอง ซึ่งครูจะต้องจัดเตรียมไว้ให้พร้อมก่อนที่จะให้นักเรียนเรียนจากแบบเรียน-โปรแกรม ในตอนหลังเป็นตัวอย่างผลการทดลอง ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของรายงานการทดลอง มีไว้เพื่อให้นักเรียนที่ได้ทำการทดลองและเขียนรายงานเสร็จแล้วได้เปรียบเทียบกับรายงานที่นักเรียนเขียน เพื่อจะได้ทราบว่าที่ได้ทำการทดลองไปแล้วนั้นนักเรียนยังมีความบกพร่องเรื่องใดบ้าง เช่น สังเกตและบันทึกผลไม่ละเอียดพอหรือทำการทดลองผิดพลาดไป เป็นต้น จะได้ปรับปรุงข้อบกพร่องเหล่านี้ในการทำการทดลองครั้งต่อไป

ในการใช้คู่มือเล่มนี้ ครูจะต้องแจกให้นักเรียนเป็นส่วน ๆ ไป คือก่อนลงมือเรียนให้แจกตอนแรก เพื่อนักเรียนจะได้ช่วยครูในการจัดเตรียมและสำรวจอุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ เมื่อนักเรียนลงมือเรียน ทำการทดลองและเขียนรายงานในการทดลองใดเสร็จ ครูก็แจกตัวอย่างรายงานของการทดลองนั้นให้นักเรียนได้ใช้เปรียบเทียบ ไม่ควรแจกตัวอย่างรายงานการทดลองในการทดลองที่นักเรียนยังมิได้ทำ ในกรณีที่นักเรียนเรียนด้วยตนเองโดยไม่มีครูควบคุมก็ต้องจัดหาอุปกรณ์และสารเคมีต่าง ๆ มาเอง และเมื่อทำการทดลองและเขียนรายงานการทดลองใดเสร็จก็เปิดดูตัวอย่างรายงานเพื่อเปรียบเทียบเช่นกัน ไม่ควรเปิดดูตัวอย่างในการทดลองที่นักเรียนยังมิได้ทำ.

การทดลองที่ 1.1

รายการ

สารเคมี

1. ไอโอดีน
2. เลด (II) ไอโอไดด์
3. สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์
4. น้ำกลั่น

ข้อ 1 กลุ่ม (3 คน)

ประมาณ 5 - 6 เกล็ด
ขนาดเท่าหัวไม้ขีด

5 cm³

5 cm³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดเล็ก	1 หลอด
2. หลอดทดลองขนาดกลาง	1 หลอด
3. ขวดรูปกรวยขนาด 100 cm ³	1 ใบ
4. ปีกเกอร์ขนาด 100 cm ³	1 ใบ
5. ตะเกียงแอลกอฮอล์	1 ดวง
6. กระจกนาฬิกา	1 แผ่น
7. ถาดรองพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำร้อน	1 ใบ

การทดลองที่ 1.2

รายการ

ข้อ 1 กลุ่ม (3 คน)

สารเคมี

1. ไอโอดีนเกล็ด	3 - 4 เกล็ด
2. เอทานอลผสมน้ำกลั่น	5 cm ³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง	1 หลอด
2. จุกยางสำหรับปิดหลอดทดลองขนาดกลาง	1 อัน

การทดลองที่ 1.3

รายการ

คอ 1 กลุ่ม (3 คน)

สารเคมี

1. สารละลายต่าง ๆ คือ

ก. ไอโอดีน (II) ชัลเฟต 0.1 mol/l 15 cm^3

ข. ไอโอดีน (III) ในเตรต 15 cm^3
0.1 mol/l

ค. อัมโมเนียมไธโอไซยาเนต 1 cm^3
0.2 mol/l

ง. โพตัสเซียมเฮกซาไซยาโน
เฟอร์เรต (III) 0.2 mol/l 1 cm^3

จ. ซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 mol/l 5 cm^3

2. กระดาษกรอง 1 แผ่น

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง 4 หลอด

2. หลอดทดลองขนาดเล็ก 1 หลอด

3. กรวยกรอง 1 อัน

4. แท่งแก้ว 1 อัน

5. หลอดหยด 1 หลอด

การทดลองที่ 1.4

รายการ

ข้อ 1 กลุ่ม (3 คน)

สารเคมี

1. สารละลายต่าง ๆ คือ
 - ก. ไอโอดีนในเอทานอล 10 หยด
 - ข. โคบอลต์ (II) คลอไรด์ 2 - 3 cm³
 - ค. โพตัสเซียมไอโอไดด์ 10 cm³
0.1 mol/l
2. เลกเซน 10 cm³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง 2 หลอด
2. หลอดทดลองขนาดเล็ก 2 หลอด
3. ปีกเกอร์ขนาด 50 cm³ 1 ใบ
4. จุกยางหรือจุกคอร์กปิดหลอดทดลองขนาดกลาง 2 อัน
5. ตะเกียงแอลกอฮอล์ 1 ดวง
6. ขาตั้ง 1 อัน
7. ตะแกรงลวด 1 อัน
8. ไม้กวน 1 อัน

การทดลองที่ 1.5

รายการ

ขอ 1 กลุ่ม (3 คน)

สารเคมี

1. สารละลายต่าง ๆ คือ
 - ก. ไอร์ออน (III) ในเตรต 5 - 12 หยด
0.2 mol/l
 - ข. อัมโมเนียมไทโอไซยาเนต 5 - 6 หยด
0.2 mol/l
 - ค. โพแทสเซียมไอโอดेट 3 - 6 หยด
0.2 mol/l
2. น้ำกลั่น 20cm³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง 4 หลอด
2. ปีกเกอร์ขนาด 50 cm³ 1 ใบ
3. หลอดหยด 1 หลอด

การทดลองที่ 1.6

รายการ

ข้อ 1. กลบ 3 คน

สารเคมี

1. ทองแดง	1 g
2. กรดไนตริกเข้มข้น	5 cm ³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองที่มีแขนข้าง พร้อมทั้งจุกยาง เจาะ 1 รู เลียบหลอดหยดอย่างยาว	1 หลอด
2. กระจกนํ้าพลาสติก 20 cm ³	3 - 4 อัน
3. ปีกเกอร์ขนาด 50 cm ³	3 ใบ
4. จุกยางปิดหลอดทดลองขนาดเล็ก	2 อัน
5. หลอดทดลองขนาดเล็ก	2 หลอด
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์	1 ดวง

การทดลองที่ 1.2

รายการ

ทอ 1 กลุ่ม (3 คน)

สารเคมี

1. สารละลายไอโอดีนจากการทดลองที่ 1.4	ชั้นละ 4 cm ³
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 mol/l	20 cm ³
3. น้ำแป้ง 1%	1 cm ³

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง	2 หลอด
2. หลอดหยดอย่างยาว	1 หลอด
3. หลอดหยดอย่างสั้น	1 หลอด

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงของสาร

วัตถุประสงค์ เพื่อสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงของสารต่าง ๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงใดบ้างที่ฉันทดสอบได้

วิธีทำ ให้ความร้อนแก่สาร สังเกตการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มจนจนเดือด และทิ้งทิ้งไว้ให้เย็น สังเกตการเปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผล

ผลการทดลอง

ระบบที่ทดลอง	ผลที่สังเกตได้	
	เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	เมื่ออุณหภูมิลดลง
ไอโอดีน	ไอสารในขวดจะมีสีม่วงเข้มขึ้นปริมาณผลึกในขวดลดลง	ไอสารในขวดมีสีจางลงปริมาณผลึกมีมากขึ้น
เลข (II) ไอโอไดค์	ละลายได้มากขึ้น	มีการตกผลึกเกิดขึ้น
สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์	สีเปลี่ยนจากชมพูเป็นม่วง และเมื่อเคี่ยอสารละลายมีสีน้ำเงิน	สีเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นม่วงและเมื่อเย็นเท่าอุณหภูมิห้องสารละลายมีสีชมพู

สรุปผลการทดลอง สารเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลง บางชนิดจะกลายเป็นไอ บางชนิดจะละลายได้มากขึ้น บางชนิดจะเปลี่ยนสี และเมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.2)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.2

ศึกษาการละลายของไอโอดีน

วัตถุประสงค์

เพื่อสังเกตและพิจารณาว่าเมื่อมีสารละลายอิ่มตัวของสารชนิดหนึ่ง จะเกิดภาวะสมดุลขึ้นหรือไม่

วิธีทำ

ตักไอโอดีนใส่ลงในหลอดทดลอง ซึ่งมีสารละลายของเอทานอลใน น้ำกลั่น ปิดจุกให้แน่น เขย่าแรง ๆ สังเกตสังเกตการเปลี่ยนแปลง แล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ สังเกตต่อไปอีก บันทึกผลทั้งหมดไว้

ผลการทดลอง

เมื่อได้เกล็ดไอโอดีนลงในของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำจะพบว่า ไอโอดีนละลายได้ และจะเห็นสีของสารละลายเป็นสีน้ำตาลปน เหลืองอ่อน ๆ เมื่อเขย่าสีจะค่อย ๆ เข้มขึ้นทุกที หลังจากตั้งทิ้งไว้ สักครู่สีของสารละลายจะคงที่ และยังมีเกล็ดไอโอดีนเหลืออยู่ใน สารละลายควย

สรุปผลการทดลอง

เมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้ว สีของสารละลายจะคงที่ และมีเกล็ด ของไอโอดีนเหลืออยู่ในสารละลาย

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.3)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.3 ปฏิกริยาเคมีระหว่างไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์อีออน

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีบางชนิด ณ ภาวะสมดุล

วิธีทำ ตอนที่ 1 การทดสอบไอร์ออน (II) อีออนและไอร์ออน (III) อีออน

1. หยดสารละลายอัมโมเนียมไซโอไซยานาตลงในหลอดสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตและหลอดสารละลายไอร์ออน (III) ในหลอดเปรียบเทียบผลที่ได้และบันทึกไว้

2. หยดสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (II) ลงในหลอดสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตและหลอดสารละลายไอร์ออน (III) ในหลอดเปรียบเทียบผลที่ได้และบันทึกไว้

ผลการทดลอง

สารละลายที่ใช้	ผลที่สังเกตเห็น		สรุป
	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	
อัมโมเนียมไซโอไซยานาต	สารละลายสีเหลือง	สารละลายสีแดงสด	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ทำปฏิกิริยากับไซโอไซยานาตอีออน ได้สารละลายสีแดงสด
โปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III)	สารละลายไม่มีสีและตะกอนสีน้ำเงิน	สารละลายและตะกอนสีเขียวปนน้ำตาล	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ ทำปฏิกิริยากับเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต(III) อีออนได้ตะกอนสีน้ำเงิน

สรุปผลการทดลอง

1. ถ้าจะทดสอบว่าสารละลายมี $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ อยู่ให้เติมสารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จะได้สารละลายสีแดงสด
2. ถ้าจะทดสอบว่ามีสารละลาย $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ อยู่ให้เติมสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) จะได้ตะกอนสีน้ำเงินเข้ม

วิธีทำ ตอนที่ 2 ทดสอบไอออนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาไอร์ออน (II) อีออนกับซิลเวอร์-อีออน

1. เติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตลงในสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต คนหรือเขย่าเบา ๆ สังเกตและบันทึกผลตั้งแต่เริ่มต้น
2. กรองตะกอนที่เกิดขึ้น แบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ใส่หลอดทดลอง 2 หลอด
3. หยดสารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลายหลอดที่ 1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้
4. หยดสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ลงในสารละลายหลอดที่ 2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลไว้

ผลการทดลอง

การทดลอง	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็น	อธิบายผลที่เกิดขึ้น
1. เมื่อผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตกับสารละลายไอรอน (II) ซัลเฟต	สารละลายจะขุ่นและมีสีเหลืองจาง ๆ ต่อมาจะเห็นตะกอนสีเทาเงินเป็นมันวาวเกิดขึ้น	เกิดปฏิกิริยาเคมีเพราะมีสารใหม่คือตะกอนสีเทาเงินเกิดขึ้น
2. เมื่อทดสอบสารละลายใส่จากข้อ 1 โดยใช้สารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์	สารละลายสีแกงและมีตะกอนขาวเทา ๆ เกิดขึ้น	สารละลายใส่จากข้อ 1 มี $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ปน
3. เมื่อทดสอบสารละลายใส่จากข้อ 1 โดยใช้โพตัสเซียมเฮกซาไซยาไนด์ (III)	สารละลายและตะกอนสีน้ำเงิน	สารละลายใส่จากข้อ 1 มี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ ปน

สรุปผลการทดลอง

เมื่อผสมสารละลายที่มี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^{+}(\text{aq})$ เข้าด้วยกันจะได้ตะกอนของโลหะเงินและ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ เกิดขึ้น และนอกจากนี้ยังพบ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ อยู่ในสารละลายด้วย

วิธีทำ ตอนที่ 3 การทดสอบปฏิกิริยาคอนดั้ง

1. นำตะกอนที่เก็บไว้จากตอนที่ 2 มาเติมสารละลายไอร้ออน (III) ในเตรต ปิ่คจุกให้แน่นเขย่าแรง ๆ สังเกตและเปรียบเทียบปริมาณของตะกอนที่มีอยู่เดิม กับที่มีอยู่หลังจากเขย่า บั้้นทีกผล
2. แบ่งสารละลายจากข้อ 1 เติมสารละลายโป้ตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) สังเกตการเปลี่ยนแปลง บั้้นทีกผล

ผลการทดลอง

1. ปริมาณของตะกอนหลังจากเขย่าแล้วลดลง แสดงว่าตะกอนเงินละลายได้ใน สารละลายไอร้ออน (III) . ในเตรต
2. เมื่อรินสารละลายจากข้อ 1 มาแล้วเติมสารละลายโป้ตัสเซียมเฮกซาไซยา- โนเฟอร์เรต (III) จะได้ตะกอนสีน้ำเงิน

สรุปผลการทดลอง

$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ทำปฏิกิริยาเคมีกับตะกอนของโลหะเงิน และทดสอบได้ว่าสารละลาย นั้นมี $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ เกิดขึ้น

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.4)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _ _ _ _ _

การทดลองที่ 1.4 การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาว่าระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับกันนั้น จะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ไม่ว่าจะเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงที่ไปข้างหน้าหรือเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงย้อนหลัง

วิธีทำ ตอนที่ 1 การละลายของไอโอไดน์

1. บรรจุเฮกเซนลงในหลอดทดลอง หยดสารละลายไอโอไดน์แล้วเขย่า สังเกตและบันทึกผล
2. บรรจุสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงในหลอดทดลอง หยดสารละลายไอโอไดน์แล้วเขย่า สังเกตและบันทึกผล
3. เติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 1 และเติมเฮกเซนลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายในข้อ 2
4. เอาจุกปิดหลอดทั้งสองให้แน่นเขย่าพร้อม ๆ กัน เปรียบเทียบสีของสารละลายในหลอดทดลองทั้งสอง บันทึกผลไว้

ผลการทดลอง

1. สารละลายไอโอไดน์ในเฮกเซนมีสีบานเย็น
2. สารละลายไอโอไดน์ในโพตัสเซียมไอโอไดด์มีสีน้ำตาลปนเหลือง
3. หลังจากเติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงในหลอดที่ 1 แล้วเขย่าแรง ๆ จะเห็นว่าสารละลายแยกออกเป็นสองชั้น ชั้นบนมีสีชมพู ส่วนชั้นล่างมีสีน้ำตาลปนเหลือง สารละลายในแต่ละชั้นมีสีคงที่

4. หลังจากเติมเฮกเซนลงในหลอดที่ 2 แล้วเขย่าแรง ๆ จะเห็นว่า สารละลายแยกออกเป็นสองชั้นให้ผลเหมือนหลอดที่ 1 ทั้งลักษณะและความเข้มข้น สีในแต่ละชั้น

สรุปผลการทดลอง

1. สีของสารละลายไอโอดีนในเฮกเซนต่างกับสีของสารละลายไอโอดีนในโพตัสเซียมไอโอไดค์
2. เมื่อเติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดค์ลงในสารละลายไอโอดีนในเฮกเซน สารละลายที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกับสารละลายที่ได้จากการเติมสารละลายไอโอดีนในโพตัสเซียมไอโอไดค์

วิธีทำ ตอนที่ 2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์

1. รินสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ใส่หลอดทดลอง 2 หลอด บันทึกสีของสารละลายไว้
2. นำหลอดที่บรรจุสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์มาหลอดหนึ่งอุ่นจนเกือบเดือด สังเกตและบันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงไป
3. จุ่มสารละลายทั้งสองหลอดลงในปิเกอรัที่บรรจุน้ำอุ่นประมาณ 50°C สังเกตสีของสารในหลอดทั้งสอง เปรียบเทียบผลและบันทึกไว้

ผลการทดลอง

1. สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์จะมีสีชมพู ณ อุณหภูมิห้อง
2. เมื่ออุ่นสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ให้ร้อนจนเกือบเดือด สีของสารละลายจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นม่วงและน้ำเงินตามลำดับ
3. เมื่อจุ่มสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ทั้งสองหลอดลงในน้ำอุ่นนั้น สารละลายในหลอดที่ 1 จะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นม่วง ส่วนหลอดที่ 2 นั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นม่วง ในที่สุดสารละลายในหลอดทั้งสองจะมีสีม่วงเหมือนกัน

สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ หลอดที่มีอุณหภูมิเท่ากับห้องทดลอง ซึ่งมีสีชมพูและหลอดที่มีอุณหภูมิสูงจนเกือบเดือดซึ่งมีสีน้ำเงินจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยกัน จะได้สารละลายที่มีสีม่วงเหมือนกัน

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.5)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับภาวะสมดุล

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนชนิดใดชนิดหนึ่งในระบบที่สมดุล ภาวะสมดุลแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงแล้วมีสมดุลใหม่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่ภาวะสมดุลใหม่ก็ย่อมจะเปลี่ยนแปลงด้วย

วิธีทำ

1. กรองน้ำกลั่นใส่ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด แล้วหยดสารละลายไอธอน (III) ในหลอดหนึ่งในหลอดหนึ่ง และหยดสารละลายซิลิโมเนียมไฮโอไซยาเนตลงในอีกหลอดหนึ่ง
2. นำสารละลายในหลอดทั้งสองมาผสมลงในปิอกเกอร์ คนหรือเขย่าให้เข้ากัน แล้วแบ่งสารละลายนั้นออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน เก็บหลอดที่ 1 ไว้สำหรับเทียบสี
3. หยดสารละลายไอธอน (III) ในหลอดลงในสารละลายหยดที่ 2 สังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรหรือไม่ บันทึกไว้โดยละเอียด
4. หยดสารละลายซิลิโมเนียมไฮโอไซยาเนตลงในสารละลายหลอดที่ 3 สังเกตผลและบันทึกไว้ทำนองเดียวกัน
5. หยดสารละลายโคบอลต์ไฮโดรเจนฟอสเฟตลงในสารละลายหลอดที่ 4 สังเกตผลและบันทึกไว้เช่นเดียวกัน

ผลการทดลอง

หลอดที่	สารละลายที่เติมลงไป	ผลที่สังเกตได้
1	-	สารละลายสีส้ม
2	ไฮดรอกไซด์ (III) ในกรด	สารละลายมีสีส้มเข้มขึ้น และสีจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก
3	ซัลโฟนิลไฮไดรด์ไฮยาเนต	สารละลายมีสีส้มเข้มขึ้น และสีจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก
4	โคโคเคียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	โคโคเคียมไฮไดรด์ไฮยาเนตและสารละลายมีสีจางจนไม่มีสี

สรุปผลการทดลอง

- สารละลายหลอดที่ 1 สารละลายที่มีไฮดรอกไซด์ (III) อีออน เมื่อเติมสารละลายซัลโฟนิลไฮไดรด์ไฮยาเนตลงไป ผลสารละลายมีสีส้ม และสีจะคงที่
- สารละลายหลอดที่ 2 เมื่อเติมสารละลายไฮดรอกไซด์ (III) ในกรดลงไปเป็นการเพิ่มสารตั้งต้น ผลสีของสารละลายมีสีส้มเข้มขึ้นและสีจะคงที่
- สารละลายหลอดที่ 3 เมื่อเติมสารละลายซัลโฟนิลไฮไดรด์ไฮยาเนตลงไปเป็นการเพิ่มสารตั้งต้น ผลสีของสารละลายจะมีสีส้มเข้มขึ้นและสีจะคงที่
- สารละลายหลอดที่ 4 เมื่อเติมโคโคเคียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลงไปเป็นการลดสารตั้งต้น ผลสีของสารละลายจะจางลงจนไม่มีสี และโคโคเคียมไฮไดรด์ไฮยาเนต

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.6)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.6 การ เปลี่ยนความดันหรืออุณหภูมิกับภาวะสมดุล

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ศึกษาระบบที่เป็นกาซเมื่ออยู่ในภาวะสมดุลแล้ว

วิธีทำ ตอนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนความดัน

1. เตรียมกาซในโครเจนไคออกไซด์ โดยใช้โลหะทองแดงและกรดไนตริกเข้มข้น
2. เก็บกาซใส่หลอดทดลอง 2 หลอด แล้วปิดจุกยางให้แน่นเก็บไว้หลอดใน

ตอนที่ 2

3. เก็บกาซใส่กระบอกณิคยาพลาสติก
4. ใช้หลอดณิคยาอุดเข้าไป เพื่ออัดกาซจนได้ปริมาตร ค่าหนึ่งแล้วดึงเกสส์และเปรียบเทียบกับสีเดิม ปล่อยเมื่อเมื่อลดแรงอัดแล้วกดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ดึงเกสส์และบันทึกการ เปลี่ยนแปลงสีของกาซทุกครั้งทั้งกดและปล่อยหลอดณิคยา
5. นำกระบอกณิคยาที่เก็บกาซในข้อ 4 มาทำการทดลองซ้ำ แต่ให้กดหรืออัดหลอดณิคยาให้กาซมีปริมาตรแตกต่างจากข้อ 4 และอยู่ที่ตำแหน่งนั้นประมาณ 1 นาที ดึงเกสส์ของกาซในกระบอกณิคยานั้น บันทึกผลและสรุปผลการทดลองนี้

ผลการทดลอง

กาซที่เตรียมได้มีสีน้ำตาลแดง เมื่อกดหลอดณิคยาลงไป ณ ตำแหน่งหนึ่ง เพื่ออัดกาซในกระบอกณิคยา กาซจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น แล้วชั่วขณะหนึ่งสีจะจางลงเล็กน้อย ในที่สุดกาซมีสีน้ำตาลเข้มน้อยกว่าตอนที่กดหลอดณิคยาครั้งแรก แล้วปล่อยหลอดณิคยาขึ้นมา สีของกาซจะจาง ๆ จางลง ๆ เมื่อทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่งโดยกดหลอดณิคยาลงไปอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งต่างกับครั้งแรก ก็จะได้อัตราของเดิมกับ แต่ความเข้มของสีไม่เท่ากัน

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเพิ่มความดันโดยการ กดหลอดอีกยาวี้อยู่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งนานพอสมควร
สีของกาวยภายในกระบอกอีกยาวีจะคงที่ แต่ถ้าเปลี่ยนตำแหน่งของหลอดอีกยาวี หรือเปลี่ยนความดัน
ความเข้มของสีจะเปลี่ยนไป

วิธีทำ ตอนที่ 2 เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ

1. นำกาวยทั้งสองหลอดที่เก็บไว้ในตอนที่ 1 มาจุ่มหลอดหนึ่งลงในอ่างน้ำแข็ง
และจุ่มอีกหลอดหนึ่งลงในอ่างน้ำร้อน ทิ้งไว้สักครู่ สังเกตสีที่เปลี่ยนไป บันทึกไว้
2. นำหลอดในอ่างน้ำร้อนมาจุ่มในอ่างน้ำแข็ง และหลอดในอ่างน้ำแข็งมาจุ่ม
ในอ่างน้ำร้อนทิ้งไว้สักครู่ สังเกตและบันทึกผล
3. นำหลอดทั้งสองมาจุ่มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิห้อง เปรียบเทียบสีของกาวยใน
หลอดทั้งสอง บันทึกผลเช่นเดียวกัน

ผลการทดลอง

1. เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุกาวยสีน้ำตาลแดง 2 หลอด ๆ หนึ่งจุ่มในอ่างน้ำแข็ง
กาวยในหลอดจะมีสีจางลงจนไม่มีสี ส่วนอีกหลอดหนึ่งที่ยุ่มในอ่างน้ำร้อน กาวยในหลอดจะ
มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น
2. เมื่อสลับที่กัน หลอดที่มีสีน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็นไม่มีสี หลอดที่ไม่มีสีจะ
เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
3. เมื่อนำหลอดทั้งสองมาจุ่มลงในอ่างน้ำเย็น ณ อุณหภูมิห้อง กาวยในหลอด
ที่ไม่มีสีจะค่อย ๆ มีสีเหลือง ๆ แล้วเข้มขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลแดง ส่วนหลอดที่มีสีน้ำตาลเข้ม
จะมีสีจางลงเล็กน้อย และในที่สุดสีของกาวยในหลอดทั้งสองจะมีสีน้ำตาลที่มีความเข้มเท่ากัน

สรุปผลการทดลอง

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ก๊าซสีน้ำตาลจะมีสีเข้มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงจะมีสีจางลง และเมื่อนำหลอดกลับอุณหภูมิกัน จะมีการเปลี่ยนสีกลับไปกลับมาได้ หลังจากนำกาชทั้งสองมาทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน ก๊าซจะมีสีน้ำตาลที่มีความเข้มเท่ากัน

(ตัวอย่างรายงานการทดลองที่ 1.7)

รายงานผลการทดลอง

วันที่ _____

การทดลองที่ 1.7 การหาค่าคงตัวของสมมูลของไอโอดีนในตัวทำละลายที่ไม่ผสมกัน

วัตถุประสงค์ เพื่อฝึกหัดหาค่าคงตัวของสมมูลจากปฏิกิริยาที่ไทเทรตลงจริง ๆ ซึ่งจะทำให้ความเข้าใจเกี่ยวกับการหาค่าคงตัวของสมมูลตามที่ได้เรียนมาแล้ว

วิธีทำ

1. นำสารละลายที่เก็บไว้จากการทดลองที่ 7.4 มาหลอดหนึ่ง ใช้หลอดดูดสารละลายขึ้นมามีใส่ลงไปในหลอดทดลอง หยคน้ำแข็งลงไปเขย่าแรง ๆ จนเห็นสีน้ำเงินในชั้นของน้ำแข็ง
2. ค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตลงไปที่ตะหยก พร้อมกับเขย่าแรง ๆ จนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายหายไป บันทึกจำนวนหยดของสารละลายไว้
3. ใช้หลอดดูดสารละลายขึ้นล่างใส่ในหลอดทดลอง หยคน้ำแข็งลงไปแล้วค่อย ๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตลงไปที่ตะหยก พร้อมกับเขย่าจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายหายไป บันทึกจำนวนหยดของสารละลายไว้
4. นำสารละลายจากการทดลองที่ 1.4 มาอีกหลอดหนึ่ง แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 - 3 อีกครั้งหนึ่ง บันทึกผล

ผลการทดลอง

สารละลายไอโอดีน		สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เฟส (หยด)
หลอดที่	ชั้นของสารละลาย	
1	ชั้นบน	9
	ชั้นล่าง	89
2	ชั้นบน	11
	ชั้นล่าง	93

การหาค่า K จากผลการทดลอง

เมื่อใช้สารละลายไอโอดีนหลอดที่ 1

$$K = \frac{[I_2(KI \text{ aq})]}{[I_2(Hexane)]}$$

แทนค่า K = $\frac{89}{9}$

K = 9.89

เมื่อใช้สารละลายไอโอดีนหลอดที่ 2

แทนค่า K = $\frac{93}{11}$

= 8.45

เฉลี่ย = $\frac{9.89 + 8.45}{2}$

K = 9.17

สรุปผลการทดลอง

ไอโอดีนละลายในสารละลายชั้นล่างได้ดีกว่าละลายในสารละลายชั้นบน

ภาคผนวก ก.

แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและ

แบบสอบถามความตั้งใจเรียน

เรื่อง สมดุลเคมี

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว และกาเครื่องหมายกากบาท (/) ลงใน
กระดานคำตอบ

1. จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบต่อไปนี้ว่า ระบบใดเกิดการเปลี่ยนแปลง
ที่ผันกลับไม่ได้

ก) สารละลายต่าง ๆ ที่อยู่ในขวดปิดสนิท ข) น้ำอัดลมในขวดที่เปิด
ค) ปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ ง) เมธานอลในเทอร์โมมิเตอร์
จ) ปฏิกิริยาในเทอร์โมมิเตอร์

2. จงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบต่อไปนี้ ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงใน
ระบบเปิด

ก) สารละลายต่าง ๆ ที่อยู่ในขวดปิดสนิท ข) น้ำอัดลมในขวดที่เปิด
ค) ปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ ง) เมธานอลในเทอร์โมมิเตอร์
จ) ปฏิกิริยาในเทอร์โมมิเตอร์

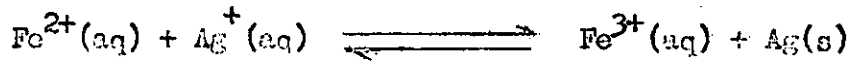
3. จากปฏิกิริยา $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$
ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยการผสม $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ที่ภาวะสมดุลจะได้

ก) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ข) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$
ค) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$ ง) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$
จ) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ag}^+(\text{aq})$, $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$

4. จากปฏิกิริยา $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Ag}(\text{s})$
ถ้าเริ่มต้นด้วยการผสม $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ กับ $\text{Ag}(\text{s})$ ที่ภาวะสมดุลจะได้

ก) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ข) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$
ค) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$ ง) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$
จ) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ag}^+(\text{aq})$, $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$

5. การที่เราทราบว่ามีการสมดุลเกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอออน (II) อีออนและซิลเวอร์อีออน



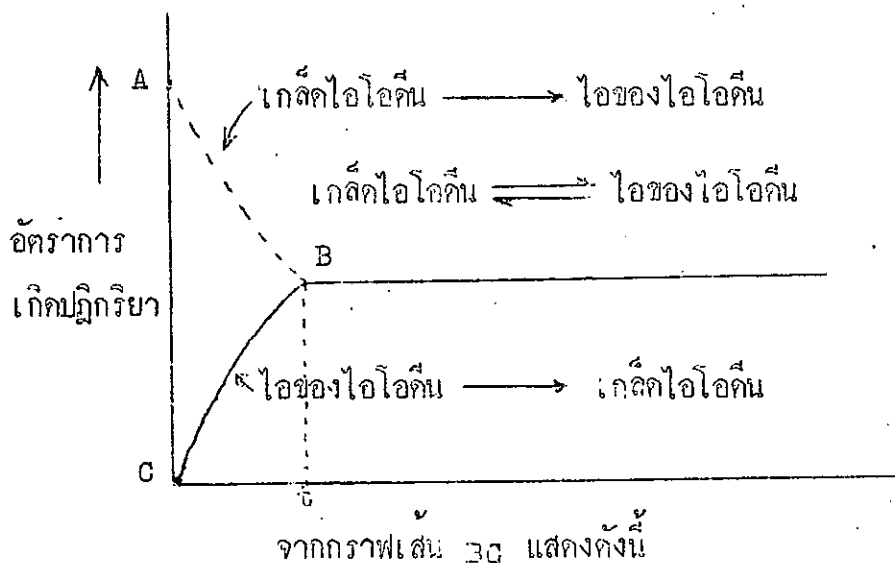
เพราะสามารถทดสอบได้ภายในสารละลายมี

- ก) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$ ข) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$
 ค) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$ ง) $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}^+(\text{aq})$
 จ) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Ag}^+(\text{aq})$, $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ และ $\text{Ag}(\text{s})$
6. วิธีทดลองว่าสารละลายมี $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ อยู่ทำได้โดย
- ก) เติมสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) จะได้ตะกอนสีแสด
 ข) เติมสารละลายอัมโมเนียมไซโอไซยาเนตจะได้ตะกอนสีน้ำเงินเข้ม
 ค) เติมสารละลายโปตัสเซียมเฮกซาไซยาโนเฟอร์เรต (III) จะได้ตะกอนสีน้ำเงิน
 ง) เติมสารละลายอัมโมเนียมไซโอไซยาเนตจะได้สารละลายสีแสด
 จ) เติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์จะได้ตะกอนสีน้ำเงินเข้ม
7. ระบบต่อไปนี้มีคุณสมบัติทั้งสี่ ระบบใดบ้างที่อยู่ในภาวะสมดุล
- ก) น้ำเกลือที่ไม่อิ่มตัวตั้งทิ้งไว้สักครู่ ข) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ไม่อิ่มตัวตั้งทิ้งไว้สักครู่
 ค) ปรัชและไอปรัชในเทอร์โมมิเตอร์มีอุณหภูมิคงที่ ง) ฟองน้ำลอยน้ำ
 จ) คนที่สุขภาพปกติ มีอุณหภูมิในร่างกายคงที่
8. จากการทดลองการที่ระบบเข้าสู่สมดุลของ $\text{I}_2(\text{Hexane}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{KI})$ อธิบายได้ดังนี้
- ก) โมเลกุลของไอโอดีนเคลื่อนที่ไปมาระหว่างของเหลวทั้งสองตลอดเวลา
 ข) โมเลกุลของไอโอดีนเคลื่อนที่ไปมาระหว่างของเหลวทั้งสองด้วยอัตราการเคลื่อนที่ไปมาเท่ากัน
 ค) การเข้าสู่สมดุลนี้เรียกว่าสมดุลไดนามิก
 ง) ไม่ว่าจะเริ่มการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าหรือเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับอย่างไรก็ตามหนึ่งก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน
 จ) ถูกทุกข้อ

9. ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาในปฏิกิริยาผันกลับได้ดังนี้

- ก) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเพิ่มขึ้น
- ข) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะลดลง
- ค) เมื่อลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเพิ่มขึ้น
- ง) เมื่อลดความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเพิ่มขึ้น
- จ) เมื่อลดความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะลดลง

10



- ก) อัตราการเกิดไอของไอโอดีนลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา t จึงเพิ่มขึ้น
 - ข) อัตราการเกิดไอของไอโอดีนลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา t จึงคงที่
 - ค) อัตราการเกิดไอของไอโอดีนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลา t จึงลดลง
 - ง) อัตราการเกิดไอของไอโอดีนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงเวลา t จึงคงที่
 - จ) อัตราการเกิดไอของไอโอดีนคงที่เรื่อย ๆ จนถึงเวลา t จึงลดลง
11. การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารในระบบ ณ ภาวะสมดุลมีผลทำให้
- ก) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นไม่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งระบบสมดุลคงเดิม
 - ข) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงแต่ระบบสมดุลคงเดิม
 - ค) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงแล้วระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง
 - ง) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นไม่เปลี่ยนแปลงแล้วระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง
 - จ) ปริมาณและผลิตภัณฑ์ของสารตั้งต้นคงเดิมรวมทั้งระบบสมดุลคงเดิม

12. ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก) ภาวะสมดุลจะเกิดขึ้นได้เฉพาะการเปลี่ยนแปลงในระบบเปิดเท่านั้น
- ข) ในระหว่างที่ระบบดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลจะเกิดเฉพาะปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น
- ค) ระบบจะดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เหมือนกันไม่ว่าจะเริ่มจากปฏิกิริยาไปข้างหน้าหรือย้อนกลับ
- ง) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปฏิกิริยาใด ๆ ณ ภาวะสมดุลย่อมทำให้ค่าคงตัวของสมดุลไม่เปลี่ยนแปลง
- จ) การรบกวนระบบ ณ ภาวะสมดุลโดยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์จะทำให้ค่าคงตัวของสมดุลเปลี่ยนแปลงไป

ตัวอย่าง ข้อสอบต่อไปนี้ประกอบการตอบคำถามข้อ 13 - 15

ไอโอไดน์ละลายในเบนซีนได้สารละลายสีน้ำตาลเข้มและละลายในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ได้สารละลายสีน้ำตาลปนเหลือง วัสดุละลายไอโอไดน์ในเบนซีนลงในหลอดทดลองประมาณ 3 cm^3 และเติมโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงไป 3 cm^3 เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ ปรากฏว่าสีของไอโอไดน์ในเบนซีนจางลง สารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์จะมีสีน้ำตาลปนเหลือง ตั้งทิ้งไว้ต่อไปปรากฏว่าสีของไอโอไดน์ในเบนซีนและในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

13. ถ้าเติมสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ลงไปอีก ผลการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ควรเป็นอย่างไร เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง

สีของไอโอไดน์ในสารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์	สีของไอโอไดน์ในเบนซีน
ก. เข้มขึ้น	เข้มขึ้น
ข. คงเดิม	คงเดิม
ค. คงเดิม	เข้มขึ้น
ง. จางลง	จางลง
จ. จางลง	คงเดิม

14. ถ้าเติมเบนซีนลงไปอีก ผลการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ควรเป็นอย่างไร เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง

สีของไอโอดีนในสารละลาย โพตัสเซียมไอโอไดด์	สีของไอโอดีนในเบนซีน
ก. เข้มขึ้น	เข้มขึ้น
ข. คงเดิม	คงเดิม
ค. คงเดิม	เข้มขึ้น
ง. จางลง	จางลง
จ. จางลง	คงเดิม

15. ถ้าเติมเกล็ดไอโอดีนลงไปอีก ผลการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ควรเป็นเช่นไร เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง

สีของไอโอดีนในสารละลาย โพตัสเซียมไอโอไดด์	สีของไอโอดีนในเบนซีน
ก. เข้มขึ้น	เข้มขึ้น
ข. คงเดิม	คงเดิม
ค. คงเดิม	เข้มขึ้น
ง. จางลง	เข้มขึ้น
จ. จางลง	คงเดิม

16. สาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B ในระบบปิดได้สาร C ถ้าต้องการตรวจสอบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้หรือไม่ ควรทดลองตรวจสอบอย่างไร

- ก) ตรวจสอบว่ามีสาร C ในระบบหรือไม่
- ข) ตรวจสอบว่ามีสาร A และสาร B ในระบบหรือไม่
- ค) ตรวจสอบว่ามีสาร A สาร B และสาร C ในระบบหรือไม่
- ง) ตรวจสอบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายหรือดูดความร้อน
- จ) สามารถใช้ตรวจสอบได้ทุกข้อ

17. $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าต้องการเพิ่มก๊าซ C ควรทำอย่างไร

- ก) เพิ่มอุณหภูมิให้แก่วระบบ
- ข) ลดอุณหภูมิของระบบ
- ค) เพิ่มความดันให้แก่วระบบ
- ง) ลดความดันของระบบ
- จ) ลดอุณหภูมิแต่เพิ่มความดันให้แก่วระบบ

18. $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ถ้าต้องการเพิ่มก๊าซ C ควรทำอย่างไร

- ก) เพิ่มอุณหภูมิให้แก่วระบบ
- ข) ลดอุณหภูมิให้แก่วระบบ
- ค) เพิ่มความดันให้แก่วระบบ
- ง) ลดความดันของระบบ
- จ) ลดอุณหภูมิแต่เพิ่มความดันให้แก่วระบบ

19. การเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซในระบบภาวะสมดุลมีผลทำให้

- ก) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นไม่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งระบบสมดุลคงเดิม
- ข) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงแต่ระบบสมดุลคงเดิม
- ค) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงแล้วระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง
- ง) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นไม่เปลี่ยนแปลงแต่ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง
- จ) ปริมาณของผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นคงเดิมรวมทั้งระบบสมดุลคงเดิม

20. ปฏิกิริยา $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ เป็นระบบปิด ณ ภาวะสมดุล
ถ้าเติมก๊าซ C_2H_4 ลงไป จะทำให้

ก) ความเข้มข้นของ C_2H_6 มากกว่าเดิม ปริมาณของ C_2H_4 น้อยกว่าเดิม H_2 เท่าเดิม

ข) ความเข้มข้นของ C_2H_6 น้อยกว่าเดิม ปริมาณของ C_2H_4 เท่าเดิม H_2 มากกว่าเดิม

ค) ความเข้มข้นของ C_2H_6 มากกว่าเดิม ปริมาณของ C_2H_4 มากกว่าเดิม H_2 น้อยกว่าเดิม

ง) ความเข้มข้นของ C_2H_6 มากกว่าเดิม ปริมาณของ C_2H_4 น้อยกว่าเดิม H_2 มากกว่าเดิม

จ) ความเข้มข้นของ C_2H_6 เท่าเดิม ปริมาณของ C_2H_4 และ H_2 เท่าเดิม

21. ปฏิกิริยา $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ เป็นระบบปิด ณ ภาวะสมดุล
ถ้าเติมก๊าซ O_2 ลงไปจะทำให้

ก) ความเข้มข้นของ NO_2 มากกว่าเดิม ปริมาณของ NO น้อยกว่าเดิม O_2 เท่าเดิม

ข) ความเข้มข้นของ NO_2 น้อยกว่าเดิม ปริมาณของ NO มากกว่าเดิม O_2 เท่าเดิม

ค) ความเข้มข้นของ NO_2 มากกว่าเดิม ปริมาณของ NO มากกว่าเดิม O_2 น้อยกว่าเดิม

ง) ความเข้มข้นของ NO_2 มากกว่าเดิม ปริมาณของ NO น้อยกว่าเดิม O_2 มากกว่าเดิม

จ) ความเข้มข้นของ NO_2 เท่าเดิม ปริมาณของ NO และ O_2 เท่าเดิม

22. ปฏิกิริยา $\text{PbSO}_4(\text{s}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{HSO}_4^-(\text{aq})$ เป็นระบบเปิด
ณ ภาวะสมดุล ถ้าเติม $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ลงไปจะทำให้

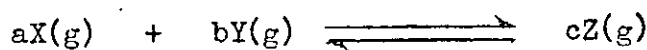
ก) ความเข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ มากกว่าเดิม ปริมาณของ Pb^{2+} น้อยกว่าเดิม HSO_4^- เท่าเดิม

ข) ความเข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ น้อยกว่าเดิม ปริมาณของ Pb^{2+} มากกว่าเดิม HSO_4^- เท่าเดิม

- ค) ความเข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ มากกว่าเดิม ปริมาณของ Pb^{2+} มากกว่าเดิม HSO_4^- น้อยกว่าเดิม
- ง) ความเข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ มากกว่าเดิม ปริมาณของ Pb^{2+} น้อยกว่าเดิม HSO_4^- มากกว่าเดิม
- จ) ความเข้มข้นของ PbSO_4 และ H^+ เท่าเดิม ปริมาณของ Pb^{2+} และ HSO_4^- เท่าเดิม

คำชี้แจง ข้อสอบต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ 23 - 24

ก๊าซ X ทำปฏิกิริยากับก๊าซ Y ได้ก๊าซ Z เมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุล เขียนสมการเคมีแทนได้ดังนี้



จากการทดลองพบว่า ถ้าลดอุณหภูมิของก๊าซ X ทำปฏิกิริยากับก๊าซ Y ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่ถ้าวัดอุณหภูมิให้คงที่ไว้แล้วลดความดันก๊าซ X ทำปฏิกิริยากับก๊าซ Y ได้ก๊าซ Z น้อยลง

23. จากข้อมูลนี้จะสรุปได้หรือไม่ว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายหรือดูดความร้อน

- ก) สรุปได้ว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน
- ข) สรุปได้ว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน
- ค) สรุปไม่ได้เพราะจะต้องทราบความเข้มข้นของก๊าซ X, Y และ Z เพิ่มขึ้นอีก
- ง) สรุปไม่ได้เพราะจะต้องทราบค่าคงที่ของสมดุลของระบบเพิ่มเติมอีก
- จ) สรุปไม่ได้เพราะจะต้องทราบทั้งความเข้มข้นของก๊าซ X, Y, Z และค่าคงที่ของสมดุลของระบบเพิ่มเติมอีก

24. จากข้อมูลซึ่ง a, b และ c เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงจำนวนโมลในสมการเคมี จะสรุปได้ดังนี้

- ก) จำนวนโมลของ a และ b รวมกันมีค่าน้อยกว่า c
- ข) จำนวนโมลของ a และ b รวมกันมีค่ามากกว่า c
- ค) จำนวนโมลของ a และ b รวมกันมีค่าเท่ากับ c
- ง) จำนวนโมลของ a หรือ b มีค่ามากที่สุด c
- จ) จำนวนโมลของ a หรือ b มีค่าน้อยที่สุด c

คำชี้แจง ข้อสรุปต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ. 25 - 30

นำสาร A ซึ่งมีความเข้มข้น 3 mole/l จำนวน 15 cm³ ทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร B ซึ่งมีความเข้มข้น 2 mole/l จำนวน 15 cm³ ที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 760 มม. ของปรอท เมื่อปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุลเขียนสมการเคมีแทนได้ดังนี้



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

25. ถ้าการทดลองครั้งนี้ใช้สาร A ความเข้มข้น 1 mole/l แทนความเข้มข้น 3 mole/l จงพิจารณาว่า ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก) ตะกอนของสาร D น้อยลง แต่ค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้น
- ข) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้นด้วย
- ค) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลลดลง
- ง) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
- จ) ตะกอนของสาร D น้อยลง ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม

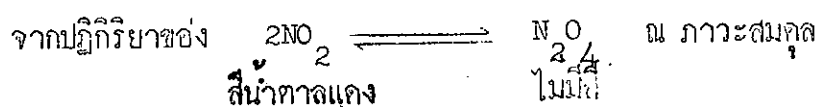
26. ถ้าการทดลองครั้งนี้ใช้สาร B ความเข้มข้น 4 mole/l แทนความเข้มข้น 2 mole/l จงพิจารณาว่า ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก) ตะกอนของสาร D น้อยลง แต่ค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้น
- ข) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้นด้วย
- ค) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลลดลง
- ง) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
- จ) ตะกอนของสาร D น้อยลง ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม

27. ถ้าการทดลองนี้เติมสาร C ลงไป ระบบจะปรับตัวเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ จงพิจารณาว่า ข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก) ตะกอนของสาร D น้อยลง แต่ความเข้มข้นของสาร A และ B เพิ่มขึ้น
- ข) ตะกอนของสาร D น้อยลง แต่ความเข้มข้นของสาร A และ B คงเดิม
- ค) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น และความเข้มข้นของสาร A และ B ลดลง
- ง) เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น และความเข้มข้นของสาร A และ B เพิ่มขึ้นด้วย
- จ) ตะกอนของสาร D และความเข้มข้นของสาร A และ B คงเดิม

28. ถ้าการทดลองนี้เติมสาร A ลงไปอีก 5 cm^3 ระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ จงพิจารณาว่าข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
- เกิดตะกอนของสาร D เพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของสาร C เท่าเดิม
 - ตะกอนของสาร D เท่าเดิม แต่ความเข้มข้นของสาร C เพิ่มขึ้น
 - ทั้งตะกอนของสาร D และความเข้มข้นของสาร C เพิ่มขึ้น
 - ทั้งตะกอนของสาร D และความเข้มข้นของสาร C เท่าเดิม
 - ทั้งตะกอนของสาร D และความเข้มข้นของสาร C ลดลง
29. ถ้าการทดลองนี้ทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิมคือ 10°C จงพิจารณาว่าข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
- ตะกอนของสาร D น้อยลง แต่ค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้น
 - เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น และค่าคงตัวของสมดุลเพิ่มขึ้นด้วย
 - เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลลดลง
 - เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
 - ตะกอนของสาร D น้อยลง ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
30. ถ้าการทดลองนี้ทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ที่อุณหภูมิสูงกว่าเดิมคือ 50°C จงพิจารณาว่าข้อสรุปต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง
- ทั้งตะกอนของสาร D และค่าคงตัวของสมดุลคงที่เท่าเดิม
 - ตะกอนของสาร D น้อยลง ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
 - ตะกอนของสาร D น้อยลง และค่าคงตัวของสมดุลลดลงด้วย
 - เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลมีค่าคงที่เท่าเดิม
 - เกิดตะกอนของสาร D มากขึ้น ส่วนค่าคงตัวของสมดุลลดลง



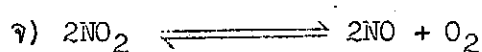
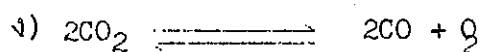
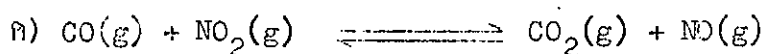
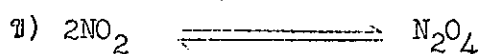
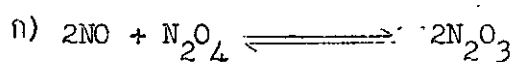
เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุจากสีน้ำตาลแดง 2 หลอด หลอดหนึ่งจุ่มในอ่างน้ำแข็ง จะแลเห็นภายในหลอดมีสีจางลงจนไม่มีสี ส่วนอีกหลอดหนึ่งจุ่มในอ่างน้ำร้อน ภายในหลอดจะมีสีเข้มขึ้น

31. เมื่อสลับที่กันโดยนำหลอดที่มีสีน้ำตาล เข้ามุมในอ่างน้ำแข็ง และหลอดที่ไม่มีสีมุมในอ่างน้ำร้อน ผลการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ควรเป็นเช่นไร

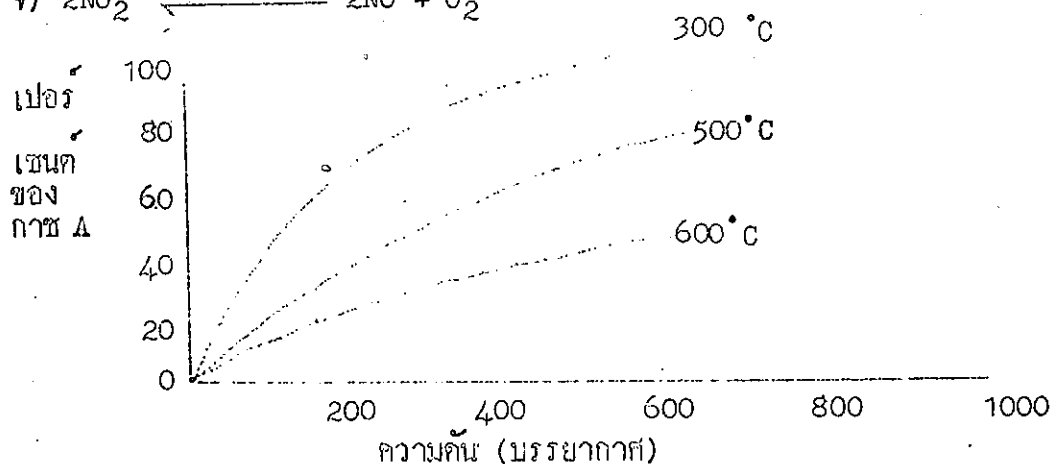
ภายในหลอดที่มีสีน้ำตาลเข้ม	ภายในหลอดที่ไม่มีสี
ก. ไม่มีสี	ไม่มีสี
ข. ไม่มีสี	สีน้ำตาลเข้ม
ค. สีน้ำตาลเข้ม	ไม่มีสี
ง. สีน้ำตาลเข้ม	สีเหลือง

จ. ภายในหลอดทั้งสองจะมีสีน้ำตาลที่มีความเข้มเท่ากัน

32. การเปลี่ยนความดันในระบบใดที่ไม่มีผลต่อภาวะสมดุล ถ้าอุณหภูมิคงที่

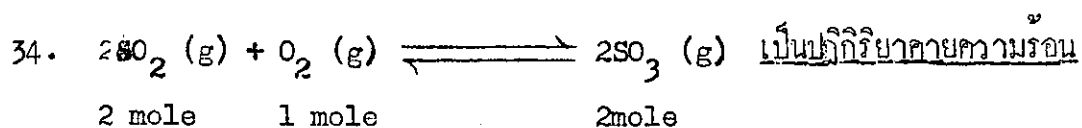


33.



จากกราฟนี้จะสรุปได้ว่า

- ก) เมื่อระบบอยู่ภายใต้ความดันเท่ากัน เราจะได้ก๊าซ A มากกว่าที่อุณหภูมิสูง
- ข) เมื่อระบบอยู่ใต้ความดันเท่ากัน เราจะได้ก๊าซ A มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
- ค) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ได้ก๊าซ A มากกว่า
- ง) การลดความดันทำให้ได้ก๊าซ A มากกว่า
- จ) การเพิ่มความดันทำให้ได้ก๊าซ A น้อยลง

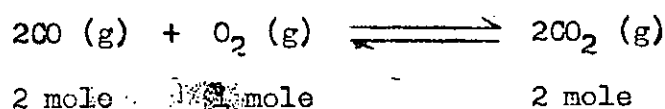


ถ้าต้องการ SO_3 เปอร์เซ็นต์สูงขึ้น ทำได้โดย

- ก) ลดอุณหภูมิและความดัน
 - ข) เพิ่มอุณหภูมิและความดัน
 - ค) ลดอุณหภูมิและเพิ่มความดัน
 - ง) เพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน
 - จ) เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดันเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง
35. การใช้คะตะไลส์มีผลต่อภาวะสมดุลคือ
- ก) ไม่ได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในระบบสมดุล
 - ข) ช่วยให้ระบบถึงภาวะสมดุลเร็วขึ้น
 - ค) ปริมาณของสารตั้งต้นที่ภาวะสมดุลไม่เปลี่ยนแปลง
 - ง) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ภาวะสมดุลไม่เปลี่ยนแปลง
 - จ) ถูกทุกข้อ

คำชี้แจง ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ 36 - 37

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบปิดและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน



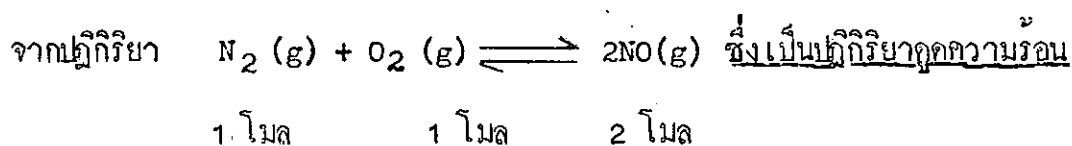
36. ถ้าเพิ่มความดันเมื่ออุณหภูมิคงที่ ตามหลักเลอช็แตลเียร์ทำนายได้ว่า

- ก) เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ทำให้ได้ CO_2 มากขึ้น
- ข) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ CO มากขึ้น
- ค) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ O_2 มากขึ้น
- ง) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ CO และ O_2 มากขึ้น
- จ) ไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ

37. ถ้าเพิ่มอุณหภูมิตามหลักของเลอชเชอลีเยร์ทำนายได้ว่า

- ก) เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ทำให้ได้ CO_2 มากขึ้น
- ข) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ CO มากขึ้น
- ค) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ O_2 มากขึ้น
- ง) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น ทำให้ได้ CO และ O_2 มากขึ้น
- จ) ไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ

คำชี้แจง ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ 38 - 39



38. ถ้าลดความดันเมื่ออุณหภูมิคงที่ ตามหลักของเลอชเชอลีเยร์ทำนายได้ว่า

- ก) เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าทำให้ได้ NO มากขึ้น
- ข) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ N_2 มากขึ้น
- ค) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ O_2 มากขึ้น
- ง) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ N_2 และ O_2 มากขึ้น
- จ) ไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ

39. ถ้าลดอุณหภูมิ ตามหลักของเลอชเชอลีเยร์ทำนายได้ว่า

- ก) เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าทำให้ได้ NO มากขึ้น
- ข) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ N_2 มากขึ้น
- ค) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ O_2 มากขึ้น
- ง) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้ได้ N_2 และ O_2 มากขึ้น
- จ) ไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ

40. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุล ในระบบ $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ เขียนได้ดังนี้

ก) $K = \frac{[NO]}{[N_2][O_2]}$

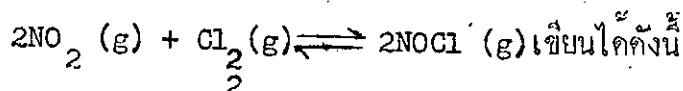
ข) $K = \frac{2[NO]}{[N_2][O_2]}$

ค) $K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$

ง) $K = \frac{[N_2][O_2]}{[NO]^2}$

จ) $K = \frac{[N_2][O_2]}{2[NO]}$

41. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุลในระบบ



ก) $K = \frac{[NOCl]^2}{[NO_2]^2[Cl_2]}$

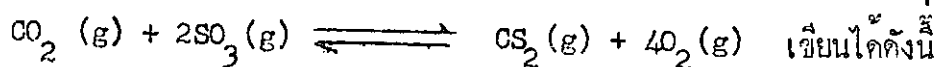
ข) $K = \frac{2[NOCl]}{2[NO_2][Cl_2]}$

ค) $K = \frac{[NOCl]}{[NO_2][Cl_2]^{\frac{1}{2}}}$

ง) $K = \frac{[NO_2][Cl_2]}{[NOCl]}$

จ) $K = \frac{[NO_2][Cl_2]^{\frac{1}{2}}}{[NOCl]}$

42. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์และของสารตั้งต้น ณ ภาวะสมดุลในระบบ



ก) $K = \frac{2[CS_2][O_2]^2}{[CO_2][SO_3]^2}$

ข) $K = \frac{[CS_2][O_2]^4}{[CO_2][SO_3]^2}$

ค) $K = \frac{2[CS_2][O_2]^2}{[CO_2][SO_3]^2}$

ง) $K = \frac{[CO_2][SO_3]^2}{[CS_2][O_2]^4}$

จ) $K = \frac{[CO_2][SO_3]^2}{2[CS_2][O_2]^2}$

43. ในระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลแล้ว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจนระบบเข้าสู่สมดุลใหม่ ค่า K ย่อม

- ก) มากขึ้นทุกครั้งถ้าเพิ่มความเข้มข้น
- ข) มากขึ้นทุกครั้งถ้าลดความเข้มข้น
- ค) น้อยลงทุกครั้งถ้าเพิ่มความเข้มข้น
- ง) น้อยลงทุกครั้งถ้าลดความเข้มข้น
- จ) เท่ากันทุกครั้งไป ไม่ว่าจะเพิ่มหรือลดความเข้มข้น

44. ปฏิกิริยา $2A(s) + B(g) + 2C(g) \rightleftharpoons D(g)$ ที่ภาวะสมดุลมี

$A = 2$ โมล/ลิตร, $B = 2$ โมล/ลิตร $C = 1$ โมล/ลิตร และ $D = 4$ โมล/ลิตร

จงคำนวณหาค่า K

- ก) 0.5
- ข) 1
- ค) 1.5
- ง) 2
- จ) 2.5

45. ปฏิกิริยา $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ ที่ภาวะสมดุลมี $N_2 = 0.1$ โมล/ลิตร

$O_2 = 0.02$ โมล/ลิตร และ $NO = 1.1 \times 10^{-3}$ โมล/ลิตร จงคำนวณหาค่า

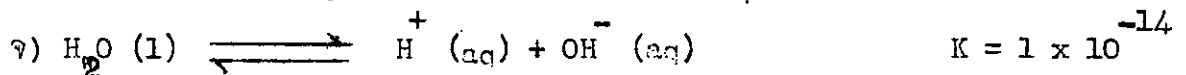
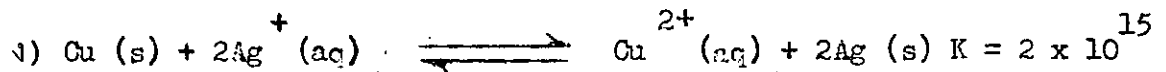
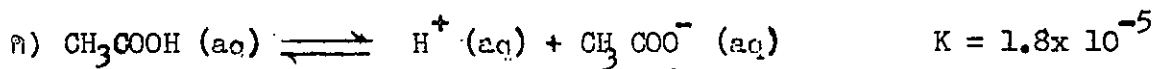
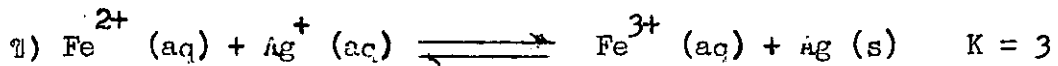
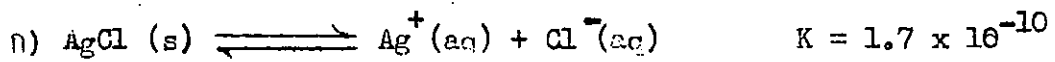
- ก) 6×10^{-4}
- ข) 3.0×10^{-4}
- ค) 2.5×10^{-4}
- ง) 2.0×10^{-4}
- จ) 1.5×10^{-4}

46. ปฏิกิริยา $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ ที่ภาวะสมดุลมี SO_2

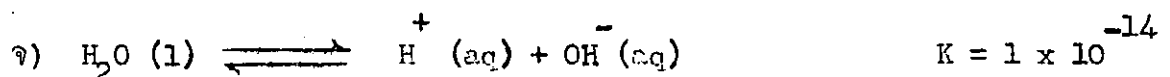
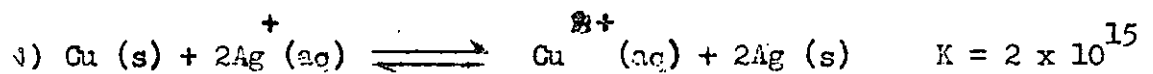
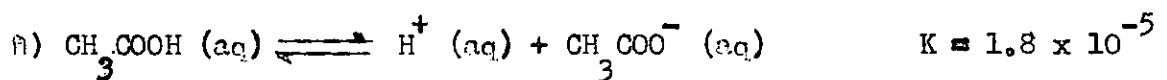
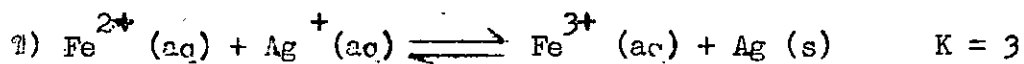
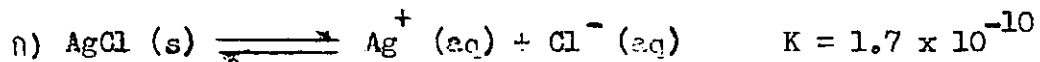
$= 0.2$ โมล/ลิตร $O_2 = 0.3$ โมล/ลิตร ถ้าค่า $K = 30$ จงคำนวณหาความเข้มข้นของ SO_3 ที่สมดุล

- ก) 0.2 โมล/ลิตร
- ข) 0.4 โมล/ลิตร
- ค) 0.6 โมล/ลิตร
- ง) 0.8 โมล/ลิตร
- จ) 0.9 โมล/ลิตร

47. จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ เราตั้งต้นความเข้มข้นของสาร เท่ากันทุกปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25°C ปฏิกิริยาใดที่ได้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด



48. จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ เราตั้งต้นความเข้มข้นของสาร เท่ากันทุกปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25°C ปฏิกิริยาใดที่ได้ผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด



49.

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
25	5.4×10^{-3}
35	1.6×10^{-2}
45	2.4×10^{-2}

จากข้อมูลของปฏิกิริยา $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน จะสรุปได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลอย่างไร

- ก) ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง ค่า K จะมีความมากขึ้น
- ข) ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และค่า K จะมีความน้อยลง
- ค) ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และค่า K จะมีความมากขึ้น
- ง) ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และค่า K จะมีความน้อยลง
- จ) ได้ผลิตภัณฑ์และค่า K คงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

50. การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ของสมดุล เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้น อาจนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตสารบางชนิดในทาง

- ก) การทดลอง
- ข) การค้นคว้าและวิจัย
- ค) เศรษฐกิจ
- ง) อุตสาหกรรม
- จ) ถูกทุกข้อ

แบบสอบถาม

ชื่อ ชั้น

คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้ต้องการถามถึงความรู้สึกหรือพฤติกรรมบางอย่างที่นักเรียนเคยกระทำมา ขอให้นักเรียนจงตอบให้ตรงกับความรู้สึกหรือพฤติกรรมที่เคยกระทำมาให้มากที่สุด ซึ่งนักเรียนแต่ละคน อาจจะตอบไม่เหมือนกันก็ได้ และการตอบในแบบสอบถามครั้งนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับผลการเรียนของนักเรียนแต่อย่างใด

ตัวอย่างการตอบ

1. ท่านเคยนั่งใจลอย

เคยเสมอ	เคยบ่อย ๆ	เคยบ้างปานกลาง	เคยบ้างเล็กน้อย	ไม่เคยเลย
	✓			

ถ้านักเรียนเคยนั่งใจลอยบ่อย ๆ ก็ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง "เคยบ่อย ๆ" แต่บางคนอาจจะไม่เคยนั่งใจลอยเลย ก็ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง "ไม่เคยเลย"

ต่อไปนี้เป็นแบบสอบถามที่ต้องการให้นักเรียนตอบ มีทั้งหมด 50 ข้อ นักเรียนจะต้องตอบให้ครบทุกข้อความ

	เคยเสมอ	เคยบ่อย ๆ	เคยบางบางกลาง	เคยบางเล็กน้อย	ไม่เคยเลย
1. ท่านเคยใช้เวลาาน ๆ ในการทำโจทย์ปัญหาเคมีบางข้อที่ยาก ๆ บ้างหรือไม่					
2. ท่านเคยมีความรู้สึกว้าเหว่หาเคมีที่ท่านเรียนนั้นน้อยเกินไปบ้างหรือไม่					
3. ท่านเคยมีความรู้สึกเซ่นบางหรือไม่ "วันนั้นถ้าเป็นวันหยุดก็จะดีมาก เพราะรู้สึกเซ่ใจเรียนเหลือเกิน"					
4. ท่านเคยทำการบ้านไม่เสร็จบ้างหรือไม่					
5. ขณะที่กำลังดูหนังสือเคมี ท่านเคยนั่งใจลอยคิดถึงเรื่องอื่นบ้างหรือไม่					
6. ท่านเคยคิดว่าวันแรกของการเปิดเรียนไม่ต้องไปเรียนก็ได้บ้างหรือไม่					
7. ท่านเคยเตรียมตัวล่วงหน้าสำหรับการเรียนในวันรุ่งขึ้นบ้างหรือไม่					
8. เมื่อท่านทำการบ้านไม่เสร็จท่านคิดไม่อยากไปโรงเรียนบ้างหรือไม่					
9. หลังจากการสอบแล้วท่านเคยไปค้นคว้า คำตอบที่ท่านทำไปนั้นถูกหรือผิดอย่างไรบ้างหรือไม่					
10. ท่านเคยอ่านหนังสือเป็นประจำบ้างหรือไม่					
11. ท่านเคยมีความรู้สึกเบื่อที่จะต้องไปโรงเรียนทุก ๆ วันบ้างหรือไม่					
12. เมื่อท่านเข้าห้องสมุด ท่านเคยหยิบตำราเคมีมาอ่านบ้างหรือไม่					
13. ท่านเคยคิดว่าเวลาเรียนในบทหนึ่ง ๆ มากเกินไปบ้างหรือไม่					
14. ท่านเคยคิดว่าเวลาที่จัดไว้สำหรับการเรียนวิชาเคมีในช่วงหนึ่ง ๆ มากเกินไปหรือไม่					

	เคยเสมอ	เคยบ่อย ๆ	เคยบางวันกลาง	เคยบางเลาบ่อย	ไม่เคยเลย
15. ท่านเคยคิดอยากจะออกไปนอกห้องเรียนในขณะที่กำลังทดลองปฏิบัติการ เคมีบ้างหรือไม่					
16. ท่านเคยรู้สึกเสียเวลาเรียนเมื่อจำเป็นต้องหยุดเรียนบ้างหรือไม่					
17. ท่านเคยคิดว่าเวลาปิดภาคเรียนบางภาคมีระยะสั้นไปบ้างหรือไม่					
18. ท่านเคยพยายามจดคำอธิบายในหนังสือเรียนเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นบ้างหรือไม่					
19. ท่านเคยคิดอยากจะหยุดเรียนไปอยู่บ้านเฉย ๆ บ้างหรือไม่					
20. ท่านเคยวางแผนโครงการที่จะทำงานเกี่ยวกับการเรียนเคมีเมื่อกลับถึงบ้านในตอนเลิกเรียนเป็นการล่วงหน้าบ้างหรือไม่					
21. ท่านเคยคิดอยากทำแบบฝึกหัดหลังจากเรียนจบชั่วโมงหนึ่ง ๆ บ้างหรือไม่					
22. ท่านเคยคิดอยากได้ถึงเวลาปิดภาคเรียนเร็ว ๆ บ้างหรือไม่					
23. ท่านเคยคิดอยากให้มีการเรียนพิเศษในวันหยุดเรียนหรือปิดภาคเรียนบ้างหรือไม่					
24. ท่านเคยทำแบบฝึกหัดแล้วไปค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมด้วยตนเองบ้างหรือไม่					
25. ท่านเคยทำการบ้านจนดึกบ้างหรือไม่					
26. ท่านเคยเข้าเรียนในตอนเช้าไม่ทันเพราะนอนตื่นสายบ้างหรือไม่					
27. ในระหว่างปิดภาคเรียนท่านเคยอ่านตำราเคมีบ้างหรือไม่					
28. ท่านเคยลืมนำสมุดหรือหนังสือเคมีมาจากบ้านในวันที่มีวิชาเคมีบ้างหรือไม่					

	เคยเสมอ	เคยบ่อย ๆ	เคยบางบางกลาง	เคยบางเล็กน้อย	ไม่เคยเลย
29. ท่านเคยใช้เวลาพักกลางวันอ่านหนังสือเคมีบ้างหรือไม่					
30. ท่านเคยใช้เวลาว่าง ๆ ทบทวนวิชาเคมีที่เรียนไปแล้วบ้างหรือไม่					
31. ท่านเคยค้นคว้าหาหนังสือเกี่ยวกับวิชาเคมีมาอ่านนอกเหนือไปจากที่เรียนอยู่แล้วบ้างหรือไม่					
32. ท่านเคยมีความรู้สึกว่าเป็นวิชาเคมีที่มีเนื้อหาหนัก ๆ บ้างหรือไม่					
33. ท่านเคยมีความรู้สึกเบื่อไม่อยากเรียนวิชาเคมีบ้างหรือไม่					
34. ท่านเคยแอบเล่นกับเพื่อน ๆ ในขณะที่กำลังทดลองปฏิบัติการ เคมีบ้างหรือไม่					
35. ระหว่างทำการทดลองปฏิบัติการ เคมี ท่านเคยไปห้องน้ำหรือไปอย่างอื่น ๆ ทั้งที่ไม่จำเป็นบ้างหรือไม่					
36. ท่านอยากให้อาจารย์สอนพิเศษในวิชาเคมีภายหลังเลิกเรียนแล้วบ้างหรือไม่					
37. ท่านเคยอยากเรียนเคมีที่มีเนื้อหายากกว่านี้บ้างหรือไม่					
38. เมื่อท่านทราบว่าชั่วโมงไม่มีการเรียนเคมี ท่านเคยมีความรู้สึกไม่พอใจบ้างหรือไม่					
39. ท่านชอบให้มีการสอบบ่อย ๆ บ้างหรือไม่					
40. ท่านชอบนั่งโต๊ะเรียนแถวหน้าชั้นบ้างหรือไม่					
41. ถ้าท่านไม่สบายในเวลาเรียนเพียงเล็กน้อย ท่านคิดอยากจะลากลับบ้านบ้างหรือไม่					

42. เมื่อท่านอ่านหนังสือเองไม่เข้าใจ ท่านเคยไปตาม
อาจารย์บ้างหรือไม่
43. ท่านเคยรู้สึกไม่พอใจเมื่อถามอาจารย์แล้ว อาจารย์มักจะไม่
คอยตอบคำถาม บ้างหรือไม่
44. ท่านเคยค้นคว้าหาการทดลอง เค้นบางอย่างเพิ่มเติม
บ้างหรือไม่
45. ท่านเคยคิดอยากเรียนเคมีเกี่ยวกับการดูหนังสือด้วยตนเอง
บ้างหรือไม่
46. ภายหลังการทดลองเคมี เมื่อพบว่าผิดพลาดท่านเคย
ทดลองใหม่แก้ตัวบ้างหรือไม่
47. ในขณะที่เรียนวิชาอื่น ๆ ท่านเคยรู้สึกอยากได้ถึงชั่วโมง
เรียนวิชาเคมีไว้ ๆ บ้างหรือไม่
48. ในขณะที่ท่านกำลังอ่านหนังสือเคมี พอมีเพื่อนมาชวนคุย
ท่านจะหยุดอ่านทันที บ้างหรือไม่
49. ท่านเคยมีความคิดว่าการเรียนวิชาเคมีให้ถึงจะต้องมีการ
ทดลองควบคู่ไปด้วย บ้างหรือไม่
50. ท่านเคยรู้สึกท้อถอยเมื่อทำการทดลองแล้ว ไม่ได้ผลตาม
ที่ต้องการ บ้างหรือไม่

[illegible]