

การเปรียบเทียบผลลัมภ์ที่ทางการเรียน โดยใช้บทปฎิบัติการ
เรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก

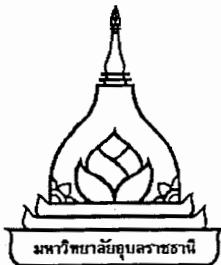


นภพ. แบ่งขัน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต^๑
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี^๒

พ.ศ. 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี^๓



**A COMPARISON OF LEARNING ACHIEVEMENT BY USING
LABORATORY OF PREPARATION AND PROPERTIES
OF IONIC COMPOUND**

NAPAPORN KHAENGKHAN

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION FACULTY OF SCIENCE**

UBON RAJATHANE UNIVERSITY

YEAR 2007

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANE UNIVERSITY



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ^๑
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การเปรียบเทียบผลผลทางเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนินิก

ผู้วิจัย นางสาวนภพร แบ่งชัน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....
.....
.....

(คร.ประนอม แซ่จึง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. โชค จิตรังษี)

.....
.....

กรรมการ

(ดร. สวัตน์ มากจันดา)

กรรมการ

(ดร. สุดาพร ตั้งวนิช)

กรรมการ

คณบดี

.....
.....
.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์เพ็ญ อินทรประเสริฐ)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
.....
.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุทิศ อินทร์ประเสริฐ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2550

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จด้วยคีเนื่องจากได้รับการให้คำปรึกษาและคำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ดร.ประนอม แซ่จึง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ศึกษาค้นคว้าอิสระขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.โซติ จิตรงษ์ ดร.สุวัฒน์ พานจันดา ดร.สุภาพร ตั้งวนิช กรรมการสอนการศึกษาค้นคว้าอิสระที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำ ทำให้การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้มีคุณค่าและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนคณะกรรมการในภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและข้อคิดต่างๆ ในการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์โสภาน สินธรักษ์ อมาพ ประธานสาขาวิชาเคมี ภาควิชา วิทยาศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี สุวรรณานนท์ รองคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ที่ได้ให้กำลังใจในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระและสนับสนุนงบประมาณในการจัดทำ ตลอดจนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 ที่ให้ความร่วมมือในการจัดการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการและตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้คุณค่าและประโยชน์ใดๆ ของการศึกษานี้ที่ก่อให้เกิดต่อวงการศึกษา ขอขอบคุณแด่บิความร่าดและครอบครัวและผู้มีพระคุณทุกท่าน



(นางสาวนภพร แเปลงน)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่องวิจัย	: การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการ เรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไอก้อนิก
โดย	: นางสาวนภพร แป่งขัน
ชื่อปริญญา	: วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	: วิทยาศาสตรศึกษา
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	: ดร.ประนอม แซ่จึง
คัพพ์สำคัญ	: บทปฎิบัติการ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สารประกอบไอก้อนิก

การศึกษารังนึมีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไอก้อนิกของนักศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต 4/2 เคมี ครุศาสตรบัณฑิต 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) และ ครุศาสตรบัณฑิต 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จำนวน 47 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 โดยนักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีพื้นฐานการเรียนในรายวิชาของสาขาวิชาเคมีที่แตกต่างกัน วิธีการเลือกนักศึกษาเลือกโดยการเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนชนิดปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ และแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่า t - test ผลจากการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้พบว่า คะแนนเฉลี่ยความก้าวหน้าจากการทดสอบของนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต 4/2 เคมี ครุศาสตรบัณฑิต 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) และครุศาสตรบัณฑิต 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) คิดเป็นร้อยละ 15.5 3.0 และ 18.2 ตามลำดับ และคะแนนเฉลี่ยจากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองเป็น 6.0 7.9 และ 6.9 ตามลำดับ ซึ่งเกินกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็ม และผลการทดสอบ t - test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ได้ค่า t เท่ากับ 2.71 0.87 และ 7.31 ตามลำดับ สรุปได้ว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนปฏิบัติการของนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต 4/2 เคมี และครุศาสตรบัณฑิต 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและบทเรียนปฏิบัติการทำให้นักศึกษามีความเข้าใจในบทเรียนมากขึ้น ในขณะที่นักศึกษาระบุศาสตรบัณฑิต 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) นั้นไม่แตกต่าง ทั้งนี้เนื่องมาจากการพื้นฐานที่แตกต่างกันและระดับการศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง

ABSTRACT

TITLE : A COMPARISON OF LEARNING ACHIEVEMENT BY USING
LABORATORY OF PREPARATION AND PROPERTIES OF IONIC
COMPOUND

BY : NAPAPORN KHAENGKHAN

DEEGREE: MASTER OF SCIENCE

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

CHAIR : PRANORM SAEJUENG, Ph.D.

KEYWORDS : LABORATORY / LEARNING ACHIEVEMENT / IONIC COMPOUND

The purpose of this independent study was to compare the learning achievement of an undergraduates major in Bachelor of Science (chemistry) level 4/2, Bachelor of Education (Science Chemistry Education) level 5/2 and 5/3 from Surindra Rajabhat University by using laboratory of preparation and properties of ionic compound. The sample group consisted of 47 undergraduate students with different chemistry background registered the inorganic chemistry laboratory I in the first semester of academic year 2007. The tools used in this independent study were pre-test and post-test of 5 - choices 20 questions and post-experiment exercises. The data were analyzed by mean, standard deviation and the t – test. The results showed that the average percentages of progress from pre- and post-test of B.Sc. 4/2, B.Ed. 5/2, and 5/3 were 15.5, 3.0, and 18.2, and the average of score from the exercises were 6.0, 7.9, and 6.9, respectively. The standard t - test at the significance value of 0.05 gave the t values of 2.71, 0.87, and 7.31, respectively. This means that the average score from pre-and post-test of the B.Sc. 4/2, and B.Ed. 5/3 were significantly different and the laboratory helped improve the understanding of the students on the particular topic. However the B.Ed. 5/2 students showed no significant improvement after the study due to the different background and level of class of these groups of students.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการค้นคว้าอิสระ	3
1.3 ขอบเขตของการค้นคว้าอิสระ	4
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 สมมติฐานของการค้นคว้าอิสระ	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสอนแบบทดลอง	6
2.2 คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน	11
2.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	12
2.4 แบบทดสอบ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร	18
3.2 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย	20
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	20
3.4 การวิธีดำเนินการ	21
3.5 ระยะเวลา	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	22
4 ผลการศึกษาค้นคว้าอิสระ	
4.1 ตัวแอลกยณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	24
4.2 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	24
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	37
5.2 ปัญหาที่พบ	39
5.3 แนวทางการแก้ไข	39
5.4 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	
ก บทปฏิบัติการ	42
ข แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	113
ค คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนและคะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง	124
ประวัติผู้วิจัย	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 รายวิชาของสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่นักศึกษาเกลี่มตัวอย่างได้ลงทะเบียนเรียน ตามแผนการเรียนจนถึงภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550	25
4.2 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาเกลี่มตัวอย่าง	28
4.3 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน จากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองแต่ละตอนของนักศึกษาเกลี่มตัวอย่าง	34
4.4 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาเกลี่ม ตัวอย่าง โดยใช้ Paired sample t-test	36
ค.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	125
ค.2 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	126
ค.3 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	127
ค.4 ช่วงร้อยละความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักศึกษาเกลี่มตัวอย่าง	128
ค.5 คะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	129
ค.6 คะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	130
ค.7 คะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	131

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไออกอนิกของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม	27
4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนสอบหลังเรียนปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไออกอนิกของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม	27
4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนวิชาปฏิบัติการของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม	29
4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม	30
4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนวิชาปฏิบัติการของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	31
4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	32
4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	33
4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนแบบฟีกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง	35
ก.1 อุปกรณ์การกรองแบบลดความดัน	51
ก.2 การระเหยของเหลวตัววาย water bath โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ	53
ก.3 ขั้นตอนการเกิดสารละลาย	57
ก.4 แคลอริมิเตอร์อย่างง่ายที่ใช้หาเนอนทัลปีของสารละลาย	59
ก.5 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า	81
ก.6 การขนส่งและการระบายออกซิเจน – คาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี ของโลกยุคโลกาภิวัตน์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและเศรษฐกิจของทุกประเทศรวมทั้งประเทศไทยด้วย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงหลักสูตรการศึกษาของชาติ ซึ่งถือเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาของประเทศไทยเพื่อสร้างคนไทยให้เป็นคนดี มีปัญญา มีความสุข มีความสามารถที่จะแข่งขันและร่วมมืออย่างสร้างสรรค์ในเวทีโลก ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนการสอน

การจัดการเรียนรู้ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2545 พร้อมกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องและพระราชบัญญัติการศึกษาภาคบังคับ พ.ศ. 2545) ได้กำหนดให้การจัดการศึกษาต้องเป็นไปเพื่อพัฒนาคนให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ทั้งร่างกาย จิตใจ สติปัญญา ความรู้ และคุณธรรม มีจริยธรรมและวัฒนธรรมในการดำรงชีวิต สามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่น ได้อย่างมีความสุข ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด ต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามมาตรฐานชาติและเด็มตามศักยภาพ การจัดการศึกษา ทั้งการศึกษาต้องเน้นความสำคัญทั้งความรู้ คุณธรรม กระบวนการเรียนรู้ และบูรณาการตามความเหมาะสม ของแต่ละระดับการศึกษา ในเรื่องความรู้เกี่ยวกับตนเอง และความสัมพันธ์ของตนเองกับสังคม ได้แก่ ครอบครัว ชุมชน ชาติและสังคม รวมถึงความรู้เกี่ยวกับประวัติศาสตร์ความเป็นมาของสังคมไทย และระบบการเมืองการปกครองในระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข ความรู้และทักษะด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับศาสนา ศิลปะ วัฒนธรรม การกีฬา ภูมิปัญญาไทย และการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญา ความรู้และทักษะทางด้านคณิตศาสตร์และด้านภาษา เน้นการใช้ภาษาไทยอย่างถูกต้อง และการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์และด้านภาษา เน้นการใช้ภาษาไทยอย่างถูกต้อง ความรู้และทักษะในการประกอบอาชีพและการดำรงชีวิตอย่างมีความสุข จัดเนื้อหาสาระ และกิจกรรมให้สอดคล้องกับความสนใจและความสนใจของผู้เรียน โดยคำนึงถึงความแตกต่าง ระหว่างบุคคล ฝีกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้

มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา โดยจัดให้มีกิจกรรมที่เอื้อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการฝึกปฏิบัติ หรือประสบการณ์จริง ส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สอนสามารถจัดบรรยายศาสตร์ภาพแวดล้อม ถือการเรียน

การจัดการเรียนการสอนในด้านวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมายังไม่สามารถตอบสนองหลักการดังกล่าวข้างต้นได้ เพื่อให้สอดคล้องและสนองตอบศักยภาพของผู้เรียนแต่ละคน ผู้วิชาเห็นว่าการจัดการเรียนการสอนจำเป็นต้องใช้นวัตกรรมใหม่ ๆ ซึ่งนวัตกรรมที่ใช้ในการเรียนการสอนนี้จะต้องเป็นนวัตกรรมที่ไม่ซับซ้อนและยากเกินไป ซึ่งความยากง่ายของนวัตกรรมมีอิทธิพลอย่างมากต่อการยอมรับนำไปใช้เข้าใจได้ง่าย ใช้ได้สะดวก การยอมรับนำไปใช้ก็มักเกิดขึ้นได้ง่าย ไม่ต้องใช้เวลาในการเผยแพร่มากนัก ไม่เสียค่าใช้จ่ายแพงจนเกินไป วัสดุอุปกรณ์และการบำรุงรักษาที่มีค่าใช้จ่ายสูงย่อมได้รับการยอมรับและนำไปใช้น้อยกว่าวัตกรรมที่มีค่าใช้จ่ายถูกกว่า เนื่องจากผู้ใช้งานจำนวนมากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ แม้จะมีความต้องการใช้แต่ขาดงบประมาณ ก็ไม่สามารถใช้ได้ และต้องเป็นนวัตกรรมที่สามารถที่อำนวยความสะดวกในการใช้มักได้รับการยอมและนำไปใช้มากกว่าวัตกรรมที่ผู้ใช้จะต้องนำไปจัดทำเพิ่มเติมซึ่งผู้ใช้จะต้องใช้เวลาจัดเตรียมเพิ่มขึ้น เป็นนวัตกรรมที่ไม่กระทบกระเทือนต่อบริบทเดิมมากนัก เป็นนวัตกรรมที่มีคนเกี่ยวข้องไม่นัก และเป็นนวัตกรรมที่ให้ผลชัดเจน

การจัดการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยราชภัฏหลักสูตร วท.บ. และ ก.บ. จำเป็นต้องมีการจัดการศึกษาให้บัณฑิตให้สอดคล้องกับความต้องการของห้องถีนและเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของสังคม โดยมีการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้บัณฑิตมีคุณลักษณะที่พึงต้องการอันได้แก่ มีเจตคติ ทักษะ กระบวนการ และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีความสัมพันธ์กับวิถีชีวิตและนำไปประกอบอาชีพได้มีคุณธรรม และปัญญา รู้จักพัฒนาตนเองและเรียนรู้ตลอดชีวิต มีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและภาษาต่างประเทศในระดับที่ติดต่อสื่อสารได้มีจิตสำนึกรักการเรียนรู้ พลังงาน สิ่งแวดล้อมและศิลปกรรมห้องถีน เพื่อส่งเสริมสนับสนุนให้มีการศึกษาค้นคว้า และวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ทั้งในเชิงวิชาการและต่อสังคม เพื่อส่งเสริมให้มีการประดิษฐ์คิดค้น พัฒนา ปรับปรุงและถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับวิถีชีวิต โดยนำภูมิปัญญา ห้องถีนมาประยุกต์ให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด เพื่อให้บัณฑิตได้บริการทางด้านวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่สังคม

การจัดการเรียนในการสอนในหลักสูตรสาขาวิชาเคมี มีการเปิดสอนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1 (Inorganic Chemistry Laboratory 1) ซึ่งในคำอธิบายรายวิชาได้มีการกำหนดให้ทำปฏิบัติการเกี่ยวกับสมบัติของสารประกอบไฮอนิก โคลเวเลนต์ เช่น การนำไฟฟ้า

การละลาย การจัดเรียนอนุภาคในโครงผลึกและความเป็นข้าว การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน ความว่องไวของการทำปฏิกริยาของธาตุหมู่ 1A – 7A กับน้ำ และกรดเจือจาง การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน รีดักชัน และปฏิกิริยาการเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า การเรียนการสอนในวิชาดังกล่าวจะเน้นทักษะปฏิบัติการเพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมีอนินทรีย์ 1 ได้ดียิ่งขึ้น และในการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวได้นำเอาบทปฏิบัติการ จำนวน 6 เรื่อง ได้แก่ 1) การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก 2) การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบโคลาเลนต์ 3) โครงสร้างผลึก 4) ลำดับความว่องไวในปฏิกริยาของธาตุ 5) สมบัติของธาตุทรายชิชัน 6) ปฏิกริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนและวิจัยมีความเห็นว่าเพื่อให้นักศึกษาได้เกิดทักษะอย่างเต็มที่และก่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน ซึ่งนักศึกษาดังกล่าวได้ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในภาคเรียนที่ 1/ 2550 และนักศึกษากลุ่มดังกล่าวได้ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในภาคเรียนที่ 1/ 2550 และนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโตรเจนคาร์บอนเนต ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแลตทิซ ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโคลาเลนต์และปฏิกริยาไฮอ่อนิก และบทปฏิบัติการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับคำอธินายรายวิชาซึ่งเป็น บทปฏิบัติการที่ 1 ที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการค้นคว้าอิสระ

เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ.4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน จากการจัดการเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก

1.3 ขอบเขตการค้นคว้าอิสระ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ใช้บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาคำอธินายรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในเรื่อง

สมบัติของสารประกอบไออกอนิก โดยในบทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไออกอนิกประกอบด้วย 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของไโซเดียมไฮโคลเจนคาร์บอเนต ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงาน latent ทิช ตอนที่ 3 สารประกอบไออกอนิกสารประกอบโโคเวเลนต์และปฎิกริยาไออกอนิก โดยได้ดำเนินการจัดการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ใช้เวลาในการจัดการเรียนการสอนในหัวข้อดังกล่าวจำนวน 9 คาบๆ ละ 50 นาที ทำการศึกษา กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาปฎิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 นวัตกรรม หมายถึง การนำวิธีการใหม่ๆ มาปฏิบัติ หลังจากได้ผ่านการทดลองหรือได้รับการพัฒนามาเป็นขั้นๆ แล้ว โดยเริ่มนماตั้งแต่การคิดค้น (invention) พัฒนาการ (development) ซึ่งอาจจะเป็นไปในรูปของโครงการทดลองปฎิบัติก่อน (pilot project) แล้วจึงนำไปปฏิบัติจริง ซึ่งมีความแตกต่างไปจากการปฏิบัติเดิมที่เคยทำมา

1.4.2 นวัตกรรมด้านการเรียนการสอน หมายถึง แนวคิด วิธีการ หรือสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นสิ่งใหม่ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพทางการเรียนการสอน นวัตกรรมอาจเป็นสิ่งใหม่ทั้งหมด หรือใหม่เพียงบางส่วน หรือใหม่ในบริบทหนึ่งหรือในช่วงเวลาหนึ่งก็ได้ สิ่งที่เป็นนวัตกรรมอาจเป็นสิ่งใหม่ที่กำลังอยู่ในกระบวนการพิสูจน์ทดสอบ หรือได้รับการยอมรับนำไปใช้แล้วแต่ยังไม่แพร่หลาย หรือยังไม่เป็นส่วนหนึ่งของระบบงานปกติ หากมีการยอมรับนำไปใช้อย่างเป็นปกติในระบบงานแล้ว จะไม่ถือว่าสิ่งนั้นเป็นนวัตกรรมอีกต่อไป

1.4.3 บทปฎิบัติการ หมายถึง เอกสารที่ใช้ประกอบการทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามทฤษฎีหรือฝึกงานเพื่อให้เกิดความชำนาญ

1.4.4 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่ได้จากการสอบ จากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองและการทดสอบรวม

1.4.5 แบบทดสอบก่อนเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ของนักศึกษาก่อนลงมือเรียนปฎิบัติการ

1.4.6 แบบทดสอบหลังเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ของนักศึกษา

หลังเรียนปฏิบัติการ

1.4.7 นักศึกษา หมายถึง ผู้กำลังศึกษาอยู่ในสถาบันหรือสถาบันสมทบของสถาบันครู ตามหลักสูตรสภาพการฝึกหัดครู

1.4.8 หลักสูตรปริญญาตรี 4 ปี หมายถึง หลักสูตรที่กำหนดให้มีจำนวนหน่วยกิตรวมไม่น้อยกว่า 120 หน่วยกิต ใช้เวลาศึกษาไม่น้อยกว่า 6 ภาคการศึกษาปกติ และไม่เกิน 16 ภาคการศึกษา ปกติ สำหรับการลงทะเบียนเรียนเต็มเวลา และไม่น้อยกว่า 14 ภาคการศึกษาปกติและไม่เกิน 24 ภาค การศึกษาปกติสำหรับการลงทะเบียนเรียนไม่เต็มเวลา

1.4.9 หลักสูตรปริญญาตรี 5 ปี หมายถึง หลักสูตรที่กำหนดให้มีจำนวนหน่วยกิตรวมไม่น้อยกว่า 150 หน่วยกิต ใช้เวลาศึกษาไม่น้อยกว่า 8 ภาคการศึกษาและไม่เกิน 20 ภาคการศึกษาปกติ สำหรับลงทะเบียนเรียนเต็มเวลา และไม่น้อยกว่า 17 ภาคการศึกษาปกติและไม่เกิน 30 ภาคการศึกษา ปกติสำหรับการลงทะเบียนเรียนไม่เต็มเวลา

1.4.10 ค.บ. หมายถึง ครุศาสตรบัณฑิต

1.4.11 วท.บ. หมายถึง วิทยาศาสตรบัณฑิต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นข้อมูลในการปรับปรุงการเรียนการสอนสำหรับวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรี ให้เหมาะสมกับพื้นฐานของนักศึกษา

1.5.2 เป็นแนวทางในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตาม เนื้อหาอื่นๆ ต่อไป

1.5.3 เป็นแนวทางในการทำการศึกษาวิจัยในระดับสูงต่อไป

1.6 สมมติฐานของการศึกษาอิสระ

1.6.1 บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก มีลักษณะที่เหมาะสมกับนักศึกษาอย่างที่มีพื้นฐานการศึกษาในรายวิชาสาขาเคมีแตกต่างกัน

1.6.2 บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก ให้ผลลัพธ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.6.4 นักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีคะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายบทปฏิบัติการทั้ง 3 ตอน ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไอกอนิก ผู้ศึกษาค้นคว้าอิสระได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังนี้

- 2.1 การสอนแบบทดลอง
- 2.2 คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน
- 2.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการประเมินคุณภาพของแบบทดสอบ
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสอนแบบทดลอง

2.1.1. ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลอง

สำหรับวิธีการสอนแบบทดลองนั้นใช้สำหรับเนื้อหาวิชาการเทคนิคโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นวิธีการสอนที่เหมาะสมสำหรับการสอนหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่มีงานปฏิบัติเป็นพื้นฐาน การทดลองเป็นวิธีการสอนที่ดีเยี่ยม ทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาแจ่มแจ้ง ให้อcasแก่ผู้เรียนและมีผู้สรุปความหมายไว้คล้ายคลึงกันดังต่อไปนี้

ลือ การุณยะวนิช และคณะ (2529 : 42) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่า เป็นการสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ ๆ และข้อเท็จจริงจากการสอนawanและทดลองนั่นเอง วิธีนี้ผู้เรียนจะเป็นผู้ปฏิบัติการทดลองในห้องเรียนปฏิบัติการ ซึ่งไม่เหมือนกันกับวิธีการสอนแบบสาธิต ที่ผู้สอนท่านนั้นจะดำเนินการทดลอง ในขณะที่ผู้เรียนเป็นผู้ผ้าดู

ไชยชาญ หินเกิด (2528 : 13) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่า วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) คือ การสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่ได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว ผู้เรียนก็ทำการทดลองตามเนื้อหา ทฤษฎีที่ได้เรียนมาเพื่อนำผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ การทดลองปฏิบัติทดลองในแต่ละเนื้อหาทำการสรุปผลการวิเคราะห์ถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎี โดยวิธีการสอนawan ค้นคว้าและปฏิบัติการทดลอง วิธีการสอนแบบทดลองนี้ผู้สอนต้องเตรียมในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทั้งคู่มือในการฝึกทดลองแต่ละขั้นตอน โดยระบุขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับ

ขั้นตอน จนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง การสอนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองโดยทั่วถึงกัน เพื่อที่จะได้ศึกษาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง

พิศนา แรมมณี (2550 : 333) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่า วิธีสอนโดยใช้การทดลองคือกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการที่ผู้สอน/ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง ผู้สอนให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนและให้ผู้เรียนลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ที่ได้รับจากการทดลอง

ปัญญา สังฆกิริมย์ และคณะ (2550 : 58) ได้ให้ความหมายของวิธีสอนแบบทดลองว่า เป็นวิธีการที่ผู้สอนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติการศึกษาค้นคว้าหาความรู้ การทดลองด้วยตนเองในสถานการณ์ต่างๆ ทั้งสถานการณ์จริงและสถานการณ์ที่จำลอง เพื่อพิสูจน์หาข้อเท็จจริงหรือสมมติฐานทำให้เกิดความรู้ขึ้นมาใหม่ โดยกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐานการทดลองลงมือปฏิบัติตามขั้นตอน เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ไพบูลย์ สินลารัตน์ (2523 : 94) ได้ให้ความหมายของวิธีสอนแบบทดลองว่า เป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบความรู้หรือเนื้อหาที่เรียนไปว่าได้กันความรู้ใหม่ด้วยตนเอง ได้ประยุกต์ปัญหา กับสภาพจริง ได้ฝึกและลงมือทำตามความรู้ที่เรียนไป

บริชา เศรษฐีชร (2524 : 29) ได้ให้ความหมายของวิธีสอนแบบทดลองว่า เป็นการให้ผู้เรียนมีโอกาสได้ปฏิบัติเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน ได้มีโอกาสใช้ หรือรู้จักเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ

2.1.2 ความมุ่งหมายของการสอนแบบทดลอง พอสรุปได้ดังนี้

2.1.2.1 เพื่อพัฒนาทักษะในการใช้เครื่องมือต่างๆ

2.1.2.2 เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง

2.1.2.3 เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในการทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้

2.1.2.4 เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียน ในการรวบรวมความสัมพันธ์ของความคิด หลักการและความรู้ต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหาของวิชานั้น

2.1.3 วิธีดำเนินการ โดยทั่วไปการทดลองหรือการปฏิบัติการทดลองประกอบด้วย

2.1.3.1 ผู้สอนกำหนดการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหา และหลักการที่บรรยายในชั้นเรียน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นตอน ๆ หรือเป็นเรื่อง ๆ แล้วแต่เนื้อหา

2.1.3.2 จัดทำคู่มือการทดลอง (Laboratory Manual) ให้กับนักศึกษา ซึ่งภายในประกอบด้วยชุดมุ่งหมาย เครื่องมือและอุปกรณ์ แนวทางปฏิบัติ รวมทั้งคำตาม ปัญหาหรือสิ่งอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองแล้วแจ้งนักศึกษาให้อ่านล่วงหน้า

2.1.3.3 ผู้สอนและผู้ควบคุมห้องทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมืออย่างเป็นระเบียบเป็นขั้นตอนและมีมากพอ กับจำนวนผู้เรียน

2.1.3.4 นักศึกษาดำเนินการทดลองตามคำแนะนำของผู้สอนหรือผู้ควบคุม ห้องทดลองตามลำดับขั้นตอนและมีมากพอ กับจำนวนผู้เรียน

2.1.3.5 ผู้เรียนเขียนรายงานและข้อคิดเห็นตามแนวทางที่ผู้สอนแนะนำหรือบ่งไว้ในรายงาน

2.1.3.6 อภิปรายร่วมกันถึงผลการทดลองและวิธีการทดลองที่ได้ทำเสร็จสิ้น รวมทั้งข้อคิดเห็นที่สัมพันธ์กับการทดลองที่ผ่านไปแล้ว และเตรียมการเพื่อการทดลองครั้งใหม่

จะเห็นได้ว่าก่อนที่ผู้เรียนจะทำการทดลองและเขียนรายงาน รวมทั้งการอภิปรายผลลัพธ์ที่สำคัญก็คือการจัดทำคู่มือการทดลองให้กับผู้เรียนซึ่งประกอบไปด้วยใบเนื้อหา (Information Sheet) และใบทดลอง (Experiment Sheet)

ใบเนื้อหา คือ เอกสารที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับหัวเรื่องที่จะทำการทดลองประกอบไปด้วยเนื้อหาที่จำเป็น โดยเพียงแค่บทสรุปสั้นๆ เท่านั้น และใบเนื้อหาที่คืนนั้น ต้องอธิบายถึงเนื้อหาต่างๆ ที่เป็นจุดสำคัญของเรื่องนั้นอย่างเด่นชัด

ใบทดลอง คือ เอกสารที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองปฏิบัติการ ในหัวข้อนั้น ๆ มีตั้งแต่ชื่อเรื่องที่จะทดลอง วัสดุประสงค์เชิงพุทธิกรรม สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง อุปกรณ์ วิธีทดลอง รายงานผลการทดลอง วิจารณ์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และเสนอแนะ

2.1.3.7 ตอบคำถามเพื่อวัดผลหลังการทดลอง

การสอนแบบทดลอง เป็นวิธีการดำเนินงานหรือการใช้หลักสูตรถ้าต้องการเตรียมนักศึกษาเข้าสู่งานแล้ว หลักสูตรจะต้องเน้นที่ความสอดคล้อง (Relevance) สำหรับเพื่อหางานไม่แค่นักศึกษาควรรู้อะไร ทำอะไรได้ ในการปฏิบัติงานจริงต้องสอดคล้องกับความรู้ ทักษะ เจตคติ และค่านิยม ผลที่ตามมาก็คือ จะต้องเน้นภาคปฏิบัติอย่างมาก เวลาที่คนทำงาน ส่วนมากจะต้องประยุกต์ปฏิบัติ การทดลองก็ต้องเป็นภาคปฏิบัติด้วย เป็นการจัดให้นักศึกษาได้รับ การถ่ายทอดความรู้ ทักษะ และเจตคติที่สอดคล้องกับหลักสูตรการสอนแบบทดลอง (ไชยชาญ พินเก็ค, 2528 : 13)

2.1.4 ขั้นตอนสำคัญของการสอนที่ขาดไม่ได้ ประกอบด้วย

2.1.4.1 ผู้สอน/ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง

2.1.4.2 ผู้สอนให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลอง ให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองแก่ผู้เรียน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

2.1.4.3 ผู้เรียนลงมือทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นตามขั้นตอนที่กำหนด และบันทึกข้อมูลการทดลอง

2.1.4.4 ผู้เรียนวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

2.1.4.5 ผู้สอนและผู้เรียนอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้

2.1.4.6 ผู้สอนประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

2.1.5 เทคนิคและข้อเสนอแนะต่าง ๆ

เพื่อการสอนโดยการทดลองให้มีประสิทธิภาพ

2.1.5.1 การเตรียมการ ผู้สอนจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมาย กำหนดตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลองและกระบวนการหรือขั้นตอนในการดำเนินการทดลองให้ชัดเจน รวมทั้งจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม และลงซ้อมทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อจะได้เรียนรู้ประเด็นปัญหาข้อข้อซึ่งหรืออุปสรรคต่าง ๆ ซึ่งอาจนำมาใช้ในการปรับขั้นตอนการดำเนินการและรายละเอียดต่าง ๆ ให้รักภูมิขึ้น ผู้สอนอาจจำเป็นต้องทำเอกสารคู่มือการทดลองให้ผู้เรียน และอาจจัดทำประเด็นคำถามที่จะให้ผู้เรียนหาคำตอบหรือแนวทางที่จะให้ผู้เรียนสังเกตผลการทดลองนอกจานนี้ในบางกรณีที่การทดลองต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ที่จำเป็น ซึ่งหากผู้เรียนขาดความรู้ดังกล่าวจะไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงควรมีการตรวจสอบความรู้ของผู้เรียนก่อนให้ทำการทดลอง โดยผู้สอนจะต้องจัดเตรียมแบบทดสอบไว้ด้วยสำหรับการทดลองที่มีอันตราย เช่น การทดลองทางเคมี ผู้สอนจะต้องตรวจสอบความปลอดภัย รวมทั้งเตรียมการทั้งทางด้านป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นด้วย

2.1.5.2 การนำเสนอเรื่อง/ตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็น

ผู้นำเสนอบัญหาที่จะใช้ในการทดลองแต่ถ้าทำให้ผู้เรียนมีความรู้สึกว่าปัญหามาจากตัวผู้เรียนเองได้ ก็จะยิ่งดี จะทำให้การเรียนรู้หรือการทดลองนั้นมีความหมายสำหรับผู้เรียนมากขึ้น

2.1.5.3 การให้ความรู้/ขั้นตอน/รายละเอียดในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็น

ผู้กำหนดขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองเอง หรืออาจให้ผู้เรียนร่วมกันวางแผนและกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมกับสาระ แต่การให้ผู้เรียนร่วมกันดำเนินการนั้นจะช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นอีกและผู้เรียนจะระดับรู้มากขึ้น

เพราะเป็นผู้คิดเอง อายุ่งไรก์ตาม ครูจำเป็นต้องคอมบูดแลให้คำปรึกษาและความช่วยเหลืออย่าง ใกล้ชิด

2.1.5.4 การทดลอง การทำลองทำได้หลายแบบ ผู้สอนอาจให้ผู้เรียนลงมือทดลองตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด โดยครูทำหน้าที่สังเกตและให้คำแนะนำหรือให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ผู้เรียน หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองเอง ให้ผู้เรียนสังเกต แล้วทำการทดลองตามไปทีละขั้น หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองให้ผู้เรียนดูจนจบกระบวนการแล้วให้ผู้เรียนไปทำการทดลองด้วยตนเอง ผู้สอนจะใช้เทคนิคใดนั้นขึ้นกับความเหมาะสมกับลักษณะของการทดลองครั้งนั้น ผู้เรียนจะเรียนด้วยวิธีนี้ได้ดี หากมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็น ผู้สอนจึงควรฝึกฝนให้ผู้เรียนก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลอง หรือไม่ก็ต้องฝึกไปพร้อม ๆ กัน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวมี 13 ทักษะ ดังนี้

- 1) ทักษะการสังเกต
- 2) ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล
- 3) ทักษะการจำแนกประเภท
- 4) ทักษะการวัด
- 5) ทักษะการใช้ตัวเลข
- 6) ทักษะการสื่อความหมาย
- 7) ทักษะการพยากรณ์
- 8) ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซ (space) กับเวลา
- 9) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร
- 10) ทักษะการตั้งสมมติฐาน
- 11) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร
- 12) ทักษะการทดลอง
- 13) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป

ผู้สอนจะสอนด้วยวิธีนี้ให้ได้ผลดี จำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะ 13 ประการดังกล่าวจึงจะสามารถช่วยฝึกฝนผู้เรียนตามปัญหาและความต้องการของผู้เรียนได้

2.1.5.5 การรวบรวมข้อมูล ผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนในการสังเกตการณ์ทดลอง บันทึกข้อมูลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ รวมทั้งให้ความเอาใจใส่ในกระบวนการทดลอง และกระบวนการทำงานร่วมกันและผู้เรียนด้วย

2.1.5.6. การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ ผู้สอนควรให้

คำแนะนำแก่ผู้เรียนเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผล ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องอื่น ๆ ได้อีกมาก นอกจากนี้ผู้สอนควรให้ผู้เรียนมีการวิเคราะห์อภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการในการแสวงหาความรู้ กระบวนการทำงานและกระบวนการอื่นๆ และสรุปการเรียนรู้ร่วมกันด้วย

2.1.6 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง

2.1.6.1 ข้อดี

1) เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้ฝ่า�认กระบวนการต่าง ๆ ได้พัฒนาทักษะการทดลอง และเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเอง จึงเกิดการเรียนรู้ได้ มีความเข้าใจ และจะทำการเรียนรู้นั้นได้ดี

2) เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการผลิต และทักษะกระบวนการกลุ่ม รวมทั้งได้พัฒนาลักษณะนิสัยไฟรุ่ง

3) เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมาก จะทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้

2.1.6.2 ข้อจำกัด

1) เป็นวิธีสอนที่มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุ สำหรับผู้เรียนจำนวนมาก หรือในกรณีที่ต้องออกไปเก็บข้อมูลนอกสถานที่ ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายค่าพาหนะ ที่พัก และวัสดุต่าง ๆ ด้วย

2) เป็นวิธีสอนที่ใช้เวลา長 เนื่องจากแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลา

3) เป็นวิธีที่ผู้สอนต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะกระบวนการ

ทางวิทยาศาสตร์ จึงจะสามารถสอนและฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี (พิศนา แ xenon, 2550 :

333)

2.2 คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน

2.2.1 คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน

คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน วาสนา ชาวaha (2522 : 45) ได้กล่าวสรุปเกี่ยวกับคุณค่าของสื่อการเรียนการสอนซึ่งได้จากการวิจัยสื่อการเรียนการสอนชนิดต่างๆ โดยมีได้จำกัดเฉพาะชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วสื่อการเรียนการสอนประเภทเครื่องมือหรืออุปกรณ์

(Hardware) ประเททวัสดุ (Software) และประเททเทคนิคหรือวิธีการ (Technique or Method) มีคุณค่าต่อการสอนดังนี้

- 2.2.1.1 ช่วยให้คุณภาพของการเรียนรู้ดีขึ้น
- 2.2.1.2 ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้ในปริมาณมากขึ้นในเวลาที่กำหนด
- 2.2.1.3 ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในการเรียนการสอน
- 2.2.1.4 ช่วยส่งเสริมการคิดและการแก้ปัญหาในกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน
- 2.2.1.5 ช่วยให้สามารถเรียนรู้ในลิ่งที่เรียนได้ล้ำก้าวโดยการช่วยแก้ปัญหา

ข้อจำกัด

- 2.2.2 การพิจารณาเลือกสื่อการเรียนการสอน
 - 2.2.2.1 ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายเชิงพุทธิกรรม
 - 2.2.2.2 เหมาะสมกับกิจกรรมหรือประสบการณ์ที่จัดขึ้นเพื่อการเรียนการสอน
 - 2.2.2.3 เหมาะสมกับวัยและความสนใจของผู้เรียน
 - 2.2.2.4 คำนึงถึงการประยัดเงิน สื่อที่เลือกมาใช้ควรให้ผลคุ้มค่ากับการลงทุน
 - 2.2.2.5 ใช้ได้สะดวก และปลอดภัย

2.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.3.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Academic achievement) หมายถึงคุณลักษณะและประสบการณ์ของบุคคลอันเกิดจากการเรียนการสอน เป็นการเปลี่ยนแปลงพุทธิกรรมและประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกิดจากการฝึกฝนอบรม หรือจากการสอนการวัดผลสัมฤทธิ์ จึงเป็นการตรวจสอบระดับความสามารถหรือความสำเร็จพัฒนาตัวเอง หรือความสำเร็จ (Level of Accomplishment) ของบุคคลว่าเรียนรู้เท่าไร ความสามารถชนิดใด

มีผู้ให้ความหมายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ไว้คล้ายคลึงกันหลายความหมายดังนี้

ศุภิน พิมโภน (2528 : 9) ให้ความหมายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้ว่าเป็นแบบทดสอบที่มุ่งวัดว่านักเรียนมีความรู้ หรือความสามารถที่เกิดจากการเรียนการสอนมากน้อยเพียงใด

กานดา พุนลาภทวี (2528 : 11) ได้ให้ความหมายแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ว่า เป็นแบบทดสอบที่วัดความรู้ความสามารถค้านต่าง ๆ เมื่อได้รับประสบการณ์เฉพาะอย่างไปแล้วซึ่ง

เป็นการวัดความสามารถทางด้านวิชาการต่างๆ โดยมุ่งที่จะวัดว่านักเรียนมีความรู้หรือทักษะในวิชานี้มากน้อยเพียงใด

ภัตรา นิคมานนท์ (2538 : 7) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ความสามารถ ทักษะเกี่ยวกับด้านวิชาการที่ได้เรียนรู้มาในอดีตว่ารับรู้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วมักใช้วัดหลังจากการทำกิจกรรมแล้ว เพื่อประเมินการเรียนการสอนว่าได้ผลเพียงใด

2.3.2 การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสามารถวัดได้ 2 แบบ ตามจุดมุ่งหมายและลักษณะ วิชาที่สอนคือ

2.3.2.1 การวัดด้านปฏิบัติ เป็นการตรวจสอบวัดระดับความสามารถในการปฏิบัติ หรือทักษะของผู้เรียน โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้แสดงความสามารถดังกล่าวในรูปแบบการกระทำการจริง ให้ออกมาเป็นผลงาน เช่น วิชาศิลปศึกษา พลศึกษา การซ่าง เป็นต้น การวัดแบบนี้ต้องวัดโดยใช้ข้อสอบภาคปฏิบัติ (Performance Test)

2.3.2.2 การวัดด้านเนื้อหา เป็นการสอบความสามารถเกี่ยวกับเนื้อหาวิชา (Content) จันเป็นประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน รวมถึงพฤติกรรมความสามารถด้านต่าง ๆ สามารถวัดโดยใช้ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (Achievement Test)

2.3.3.3 สิ่งที่ควรคำนึงในการวัดผลสัมฤทธิ์

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวัดผลการเรียนรู้ นอกจากคำนึงถึงความครอบคลุมเนื้อหาและการใช้คำถามที่ดีแล้ว ยังต้องคำนึงถึงพฤติกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่เป็นจุดมุ่งหมายของหลักสูตร สามารถแบ่งพฤติกรรม ต่าง ๆ ออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 6 ชนิด คือ

- 1) ความรู้ (Knowledge)
- 2) ความเข้าใจ (Comprehension)
- 3) การนำไปใช้ (Application)
- 4) การวิเคราะห์ (Analysis)
- 5) การสังเคราะห์ (Synthesis)
- 6) การประเมินผล (Evaluation)

2.4 แบบทดสอบ

2.4.1 ความหมายของแบบทดสอบ

แบบทดสอบ (Test) คือเครื่องมือใช้ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยทางการศึกษานิดหนึ่ง (บุญเรียง บรรศิลป์, 2539 : 75) หรือเป็นเครื่องมือการวัดผลทางการเรียนที่เป็นชุดคำถาที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้เรียนตอบคำถาน (เสาวนีย์ สิกขานบัณฑิต, 2528 : 85) สรุปความหมายว่าแบบทดสอบคือชุดของคำถาน หรือข้อปัญหาที่ออกแบบสร้างขึ้นมาอย่างมีระบบและมีกระบวนการเพื่อค้นหาพฤติกรรมของผู้ที่ตอบ ซึ่งต้องให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวัด

2.4.2 วัตถุประสงค์ของการใช้แบบทดสอบ

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Achievement Test) เป็นแบบทดสอบที่ใช้วัดสติปัญญาด้านต่างๆ ของผู้เรียนที่ได้รับจากประสบการณ์ในเนื้อหาที่ได้เรียนไปแล้ว ซึ่งจะเป็นการแสดงออกของการเรียนรู้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2535 : 102) การจัดการเรียนการสอนจะต้องมุ่งหวังให้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ผู้สอนจะกำหนดวัตถุประสงค์ที่จะสามารถสังเกตเห็นได้แล้ววัดได้ซึ่งเรียกว่าวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.4.2.1 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (เสาวนีย์ สิกขานบัณฑิต, 2528 : 70) ได้สรุปหลักการของ Bloom และคณะด้านวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของการเรียนรู้ไว้ 3 ด้านคือ พุทธิพิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย

พุทธิพิสัย (Cognitive Domain) หมายถึง พฤติกรรมด้านความสามารถของการเรียนรู้ทางด้านสติปัญญาหรือสมอง พุทธิพิสัยเป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ด้านต่างๆ 6 ด้าน ต่อไปนี้

1) ด้านความรู้ (Knowledge) หรือความจำเป็น คือ ความสามารถในการจำสิ่งที่ได้เรียนมาแล้ว คำที่ใช้พฤติกรรมเหล่านี้ เช่น บอก อธิบาย ให้ Hinayan เกี่ยน เป็นต้น

2) ด้านความเข้าใจ (Comprehension) คือความสามารถในการเข้าใจเนื้อหาต่าง ๆ ที่ได้เรียนไปแล้ว คำที่ใช้แสดงพฤติกรรมถึงความเข้าใจ เช่น สรุป จับใจความ ศึกษาหมาย

3) ด้านการนำไปใช้ (Application) คือความสามารถในการพิจารณา เอาเนื้อหาต่าง ๆ และความรู้ที่ได้เรียนไปแล้วมาใช้ในสถานการณ์ที่แท้จริง

4) การวิเคราะห์ (Analysis) คือ ความสามารถในการจำแนกแยกแยะเนื้อหาและความรู้ที่ได้เรียนไปแล้วว่าแต่ละส่วนมีความสำคัญอย่างไร

5) การสังเคราะห์ (Synthesis) คือความสามารถในการนำส่วนย่อยต่าง ๆ



ของเนื้อหาที่ได้เรียนไปแล้วมาร่วมกันจัดเป็นหมวดหมู่ พฤติกรรมที่แสดงอยู่ในด้านความสามารถทางการสังเคราะห์ได้แก่ การอธิบายหรือถ่ายทอดความคิดหรือการเสนอวิธีการใหม่ๆ

6) การประเมินค่า (Evaluation) คือ ความสามารถในการพิจารณาและประเมินค่าสิ่งที่ได้เรียนมา การประเมินค่านั้นอาจใช้เกณฑ์ที่ตั้งขึ้นเองหรือจากเกณฑ์ที่มีผู้กำหนดไว้แล้ว

จิตพิสัย (Affective Domain) หมายถึง พฤติกรรมที่เกี่ยวกับความรู้สึก เช่น ด้านทัศนคติ ค่านิยม เป็นต้น

ทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) หมายถึง พฤติกรรมที่เกี่ยวกับ การกระทำหรือด้านการปฏิบัติ

แบบทดสอบทั่วไปจะพิจารณาด้วยวัดพฤติกรรมของผู้เรียนทางด้านพุทธิพิสัย มากกว่าทางด้านจิตพิสัยและทักษะพิสัย

2.4.3 ลักษณะของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ดี

กัตรา นิคมานนท์ (2539 : 8) สรุปลักษณะแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ดีไว้ดังนี้

2.4.3.1 ความเที่ยงตรง (Validity) เป็นลักษณะที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เครื่องมือวัดผลนั้นมีคุณภาพที่ดี เพราะเป็นการแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือนั้นสามารถวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัดได้ตรงและครบถ้วนตามเนื้อหาที่ต้องการ ตรงตามจุดมุ่งหมาย ตรงตามสภาพความเป็นจริงและวัดแล้วสามารถนำผลการวัดไปพยากรณ์หรือคาดคะเนอนาคตได้

2.4.3.2 ความเชื่อมั่นสูง (Reliability) เครื่องวัดผลที่ดีวัดสิ่งเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง ผลที่ได้จากการวัดจะเหมือนกันหรือต่างกันน้อยมาก

2.4.3.3 ความเป็นปรนัย (Objectivity) เครื่องมือที่มีความเป็นปรนัย จะมีความชัดเจนในตัวเอง เช่น ข้อสอบที่มีเป็นปรนัย จะมีความชัดเจนอยู่ 3 ประการ คือ คำถามชัดเจน อ่านแล้วเข้าใจตรงกัน คำตอบแน่นอน ได้ตรวจสอบได้คะแนนตรงตามกัน ประสิทธิภาพที่ดี แบ่งความหมายคะแนนให้ตรงกัน เป็นต้น

2.4.3.4 ความยากง่ายที่เหมาะสม (Difficulty) “ไม่ยากเกินไปและไม่ง่ายเกินไป” ข้อสอบข้อใดที่มีคนตอบถูกมากแสดงว่าง่าย ข้อที่มีคนตอบถูกน้อยแสดงว่ายาก ค่าความยากง่ายของข้อสอบ (p) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.00 ข้อสอบที่ค่า p อยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 ซึ่งเป็นข้อสอบที่ค่อนข้างยาก ปานกลางและค่อนข้างง่าย

2.4.3.5 อำนาจจำแนก (Discrimination) หมายถึงความสามารถแบ่งแยกผู้สอบได้อย่างถูกต้อง ข้อสอบที่มีอำนาจ หมายถึง ข้อสอบที่คนเก่งตอบถูก คนอ่อนตอบผิด ข้อสอบที่จำแนกกลับคนเก่งจะตอบผิด และคนอ่อนตอบถูก และข้อสอบที่จำแนกไม่ได้คือคนเก่งและคนอ่อนตอบถูก

และผิดพอ ๆ กัน สำนักงานจำแนกของข้อสอบ (r) มีค่าอยู่ระหว่าง -1.00 ถึง $+1.00$ ค่า r เป็นเครื่องหมายลบ หมายถึงว่าจำแนกกลุ่มคนเก่งตอบถูกน้อยกว่าคนอ่อน r มีเครื่องหมายบวก หมายความว่าจำแนกได้คนเก่งตอบถูกมากกว่าคนอ่อน ข้อสอบที่มีค่า r ใกล้ศูนย์ ($r = -0.19$ ถึง $+0.19$) เป็นข้อสอบที่จำแนกไม่ได้ เพราะคนเก่งตอบถูกพอ ๆ กับคนอ่อนข้อสอบที่ดีควรมีค่า r อยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 1.00

2.4.3.6 ประสิทธิภาพ (Efficiency) คือเครื่องมือที่สามารถทำให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด เชื้อตื้อได้มากโดยใช้วิธีที่สะดวก รวดเร็ว คล่องตัว แต่เสียเวลาน้อย ลงทุนน้อย และใช้แรงงานน้อย

2.4.3.7 ความยุติธรรม (Fair) ไม่เปิดโอกาสให้มีการได้เปรียบ หรือเสียเปรียบ กันระหว่างผู้ถูกวัดด้วยกัน

2.4.3.8 ใช้คำถามตามลึก (Searching) ข้อสอบที่ดีต้องถามให้ผู้ตอบใช้ความสามารถในการคิดค้นก่อนที่จะตอบ

2.4.3.9 ใช้คำถามขั้นต้น (Exemplary) ลักษณะที่ท้าทายให้ผู้สอบอยากรู้ อยากรตอน และทำด้วยความเต็มใจ

2.4.3.10 คำถามเฉพาะเจาะจง (Definite) ไม่ถามกว้างเกินไป หรือถามคลุมเครือ ให้คิดได้หลายແง່ຫຍາມນຸ້ມ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุบลรัตน์ ชลินเงิน, (2542) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เรื่องความร้อน สาร และแสง ของนักศึกษาชั้น ประถมศึกษาปีที่ 6 ที่สอนโดยใช้กระบวนการวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครู โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ กลุ่มสร้างเสริมประสบการณ์ชีวิต เรื่องความร้อน สาร และแสง ของนักศึกษาชั้น ประถมศึกษาปีที่ 6 ที่สอนโดยใช้กระบวนการวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครู โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย แผนการสอนโดยใช้กระบวนการวิทยาศาสตร์ แผนการสอนตามคู่มือครู แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แผนการสอนโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แผนการสอนตามคู่มือ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รูปแบบในการวิจัยครั้งนี้ใช้แบบ The Pretest – Posttest Equivalent Group Design นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าสถิติใช้ t – test ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการ

ทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มทดลองที่สอนโดยใช้กระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนิกโดยศึกษาเปรียบเทียบกับนักศึกษาจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี) จำนวน 15 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี) จำนวน 22 คน ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 วิเคราะห์หลักสูตร
- 3.2 กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย
- 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.4 วิธีดำเนินการ
- 3.5 วิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร

การวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา ถือว่ามีบทบาทสำคัญในการจัดการศึกษาทุกระดับ หลักการและแนวทางจัดให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ กระบวนการหรือวิธีการ โดยสามารถที่จะระบุสิ่งที่จะสอน ระบุสิ่งที่ผู้เรียนจะเรียนสามารถแยกกันได้ภายในสถานศึกษาและยังเป็นกิจกรรมทางการศึกษาที่จัดให้กับผู้เรียน เป็นระบบจัดประสบการณ์ทั้งปวงของผู้เรียนที่จัดโดยสถานศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนพึงบรรลุและหลักสูตรที่ดีควรมีการพัฒนาและปรับปรุงอยู่เสมอ ควรมีทิศทางมีการยึดหยุ่นที่ดีและมีความสอดคล้องกับความต้องการในการพัฒนาประเทศชาติ โดยด้วยที่นี่ที่บ่งถึง ความสำเร็จคือ สามารถเข้าสู่งานและมีความก้าวหน้าในอาชีพ ประสบความสำเร็จในหน้าที่การทำงาน ที่ประกอบอาชีพในสังคมได้ดี

หลักสูตรเป็นการจัดประสบการณ์และเนื้อหาวิชาให้แก่ผู้เรียน เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนให้เป็นไปตามที่ต้องการ หลักสูตรของวิชาหนึ่งๆ มิใช่เป็นสิ่งตีพิมพ์ที่ทำไว้เป็นเล่ม เท่านั้น การวิเคราะห์หลักสูตรเป็นสิ่งจำเป็นที่เป็นประโยชน์หลายประการ โดยเฉพาะเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนที่เป็นประโยชน์หลายประการ โดยเฉพาะเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนที่

จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ผลการวิเคราะห์หลักสูตร เป็นแนวทางวางแผนการสอนและการสอบให้ได้ถูกต้องตามความต้องการของหลักสูตร

การวิเคราะห์หลักสูตรเป็นกระบวนการที่จะช่วยให้ผู้ที่ทำการสอนทราบว่าในรายวิชา นั้น ๆ มีจุดประสงค์ที่จะต้องสอนให้ผู้เรียนเกิดพฤติกรรมอะไร มีเนื้อหาอะไรบ้างและจะออกข้อสอบอย่างไร จึงจะสอดคล้องกับการสอนและสนับสนุนจุดประสงค์ของหลักสูตรรายวิชานั้น

หลักสูตรหมายถึงกิจกรรมและประสบการณ์ทั้งหมดที่จัดให้ผู้เรียนซึ่งประกอบด้วย สิ่งสำคัญ 3 ประการ คือ จุดประสงค์เชิงพุทธิกรรม กิจกรรมด้านการสอน งานประเมินผล

โดยทั้ง 3 ส่วนนี้มีความสอดคล้องกันและปฏิบัติไปในแนวทางอันเดียวกันนั้นคือ เมื่อ กำหนดจุดประสงค์เชิงพุทธิกรรมให้เกิดแก่นักศึกษาอย่างไร ต้องจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ ผู้เรียนเกิดพุทธิกรรมนั้น การวัดผลและประเมินผลก็จะต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพุทธิกรรม ด้วย

จากการศึกษารายละเอียดของหลักสูตร รายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1 นั้นพบว่า รายวิชานี้ระบุให้ทำปฏิบัติการเกี่ยวกับสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก โคลเวเลนต์ เช่น การนำไปฟื้น การละลาย การจัดเรียงอนุภาคในโครงผลึกและความเป็นขี้ การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน ความว่องไวของการทำปฏิกริยาของธาตุหนู่ 1A – 7A กับน้ำและกรดเจือจาง การเปลี่ยนแปลงเลขของชีเดชั้นของธาตุทรานซิชั่น ปฏิกริยาออกซิเดชั่น รีดักชั่น ปฏิบัติการเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า ซึ่ง จากเนื้อหาดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็นหัวเรื่องดังต่อไปนี้ การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบโคลเวเลนต์ โครงสร้างผลึก ลำดับความว่องไวในปฏิกริยาเคมีของธาตุ สมบัติของธาตุแทرنซิชั่น ปฏิกริยาออกซิเดชั่น – รีดักชั่น

การจัดการการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1 มีการจัดการเรียนการสอน จำนวน 1(0 – 3) หน่วยกิต โดยมีภาคปฏิบัติ 3 คาบ ๆ ละ 50 นาทีต่อสัปดาห์ สำหรับการเรียนการสอนจำนวน 1 ภาคการเรียน คิดเป็น 16 สัปดาห์ โดยบทปฏิบัติการที่นำมาใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1 มีจำนวน 9 เรื่อง ซึ่งมีความสอดคล้องกับเนื้อหาภาคทดลองดูของรายวิชาเคมีอนินทรี 1 ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดสารไฮอ่อนิก วัสดุจักรน้ำเงิน สารเบอร์ พลังงานแลตทิชและผลึกของสารประกอบไฮอ่อนิก ทฤษฎีพันธะโคลเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุล สมบัติและสารประกอบของธาตุในหมู่ต่าง ๆ โดย โลหะผสม สารกึ่งตัวนำ เคมีของสาร อนินทรีในตัวทำละลายที่เป็นน้ำและที่ไม่ใช่น้ำ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกหัวข้อที่จะศึกษาคือหัวข้อที่ 1 เรื่องการเตรียมและ

การศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก ชั้งบทปฏิบัติการดังกล่าวประกอบด้วย 3 ตอนข้อย ได้แก่

ตอนที่ 1 การเตรียมและศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ตอนที่ 2 เอ็นทัลปีของสารละลายและพลังงาน latent ทิช

ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโคลเวนต์ และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก

3.2 การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ประชากรและกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะดังนี้

3.2.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี นักศึกษา ระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี) และนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี)

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี) จำนวน 15 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ทั่วไป (เคมี) จำนวน 22 คน ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2550

3.2.3 นักศึกษากลุ่มตัวอย่างได้ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาในสาขาวิทยาศาสตร์ใน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 จนถึงภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 สำหรับนักศึกษากลุ่ม ตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี และนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ส่วนนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ได้ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาต่าง ๆ ตั้งแต่ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2548 จนถึงภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 ตามแผนการเรียนตลอด หลักสูตร

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือเพื่อศึกษาเบริยบทีบันผลลัพธ์ทางการเรียน ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างซึ่งประกอบด้วย

3.3.1 บทปฏิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิกเพื่อ จัดการเรียนการสอนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 โดยมีระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง รวม 3 วัน ๆ ละ 3 คาบ ๆ ละ 50 นาที รวมเป็น 9 คาบ การทดลองเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติ ของสารประกอบไฮอ่อนิกประกอบด้วย 3 ตอน ใช้เวลาทดลองตอนละ 3 คาบ ได้แก่ ตอนที่ 1

การเตรียมและศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลาย และพลังงานแผลตทิช ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอนิก สารประกอบโภเวเลนต์และปฏิกิริยาไฮอนิก

ในการจัดการเรียนการสอนได้กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทปฏิบัติการ เป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่มีความหมายสมกับสภาพของผู้เรียนและความสนใจนั่น ๆ เพื่อนำไปใช้ริงกับนักศึกษา กลุ่มตัวอย่าง

3.3.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนิก สำหรับนักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่าง วท.บ. 4/2 เคมี ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 20 ข้อ แบบปรนัย 5 ตัวเลือก โดยใช้ทดสอบนักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่างก่อนทำปฏิบัติการและหลังจากทำปฏิบัติการทั้ง 3 ตอน รวมทั้งทำแบบรายงานผลการทดลองแต่ละตอนเบียร์อยแล้ว

3.3.3 แบบฝึกหัดท้ายบทของบทปฏิบัติการของแต่ละตอน

3.4 วิธีการดำเนินการ

3.4.1 ศึกษาคำอธิบายรายวิชาและกำหนดจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามคำอธิบายรายวิชา จากนั้นวางแผนการจัดการเรียนรู้ โดยจัดลำดับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้และกิจกรรมการการจัดการเรียนการสอนพร้อมทั้งการวัดผลและประเมินผล

3.4.2 จัดเตรียมสถานที่และวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือตามบทปฏิบัติการที่วางไว้ให้นักศึกษา กลุ่มละ 1 ชุด รวมทั้งเอกสารบทปฏิบัติการ แบบบันทึกผลการทดลองเพื่อแจกให้นักศึกษา กลุ่มตัวอย่างคนละ 1 ชุด

3.4.3 ดำเนินการโดยผู้สอนแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้เรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนิกให้นักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่างทราบ จากนั้นให้นักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่าง ทำแบบทดสอบก่อนทำปฏิบัติการ (pre – test) แบบปรนัยชนิด 5 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อใช้เวลา 20 นาที

3.4.4 ผู้สอนแบ่งกลุ่มนักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่างแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 3 คน แล้วแยกบทปฏิบัติการให้คนละ 1 ชุด เพื่อให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการทำปฏิบัติการทุกคนและเห็นว่ามีความสอดคล้องกับอุปกรณ์และเครื่องมือที่ได้จัดเตรียม นักศึกษาศึกษาเอกสารบทปฏิบัติการที่ได้รับแจก ผู้สอนแนะนำวิธีการทดลอง ทำจัดทำรายงานผลการทดลอง และแนะนำควรปฏิบัติการในขณะทำการทดลอง

3.4.5 นักศึกษาทุกกลุ่มตัวอย่างบันทึกรายงานผลการทดลองและตอบคำถามก่อนและหลัง

การทดลอง ส่งอาจารย์ผู้ควบคุมคนละ 1 ชุด ทุกครั้งหลังจากเสร็จสิ้นการทำปฏิบัติการในแต่ละ ตอน คนละ 1 ชุด

3.4.6 เมื่อเสร็จสิ้นการทำปฏิบัติการทั้ง 3 ตอนให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบ หลังเรียน (post – test) พร้อมกันทั้งหมด โดยใช้ข้อสอบชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน ซึ่งมี ข้อสอบจำนวน 20 ข้อ เป็นข้อสอบชนิด 5 ตัวเลือก

3.4.7 ทำการรวมรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลข้อมูล

3.4.8 จัดทำรายงานผลการวิจัย

3.5 ระยะเวลา

เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างในการทำปฏิบัติการเรื่องการ เตรียมและศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไออ้อนิกจำนวน 3 ตอน ใช้เวลาจำนวน 9 คาบ ๆ และ 50 นาที โดยเวลาทั้งหมดมีกิจกรรมที่นักศึกษาจะต้องทำได้แก่

3.5.1 ทำแบบทดสอบก่อนเรียนประมาณ 20 นาที ใช้ทดสอบนอกเวลาเรียน

3.5.2 ขึ้นนำเข้าสู่บทเรียนและดำเนินกิจกรรมตามแบบปฏิบัติการและขึ้นสรุปผลใช้เวลา ตอนละ 3 คาบ ๆ ละ 50 นาที รวมใช้เวลา 9 คาบ

3.5.3 ทำแบบทดสอบหลังเรียนประมาณ 20 นาที ใช้ทดสอบนอกเวลาเรียน

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ทำการศึกษาค้นคว้าได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติในการวิเคราะห์เพื่อ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติ ของสารประกอบ ไอออนิก ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยพิจารณาจากผลคะแนนก่อน เรียนและหลังเรียน รวมทั้งแบบฝึกหัดท้ายการทำทดลอง ใช้สถิติ t - test แบบ Paired Simple t - test โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Science) for Windows

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

\bar{X} แทน ค่าคะแนนเฉลี่ย

SD แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง

t แทน ค่าสถิติทดสอบที่ใช้เปรียบเทียบค่าวิถีกุตจากการแยกแบบ t

เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

df แทน ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

* แทน มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผู้กันค่าวิเคราะห์ทำการรวมข้อมูล วิเคราะห์และรายงานผลด้านต่าง ๆ ได้แก่

3.6.1 ข้อมูลรายละเอียดของรายวิชาสาขาเคมีที่นักศึกษากลุ่มตัวอย่าง ได้ลงทะเบียน

เรียนตามแผนการเรียนตลอดหลักสูตร

3.6.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนวิชาปฏิบัติการของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

3.6.3 รายงานคะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนรายวิชาปฏิบัติการของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

3.6.4 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากคะแนนสอบของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างในภาพรวมและแยกตามระดับ

3.6.5 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายการทดสอบแต่ละตอนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

3.6.6 เปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาแต่ละระดับ

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสามบัญชีของสารประกอบน้ำอ่อนนิก ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มที่ลงทะเบียนรายวิชา ปฎิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550 ซึ่งได้แก่นักศึกษาระดับปริญญาตรี ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน และนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างที่ลงทะเบียนรายวิชาปฎิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 ในภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2550 ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ ค.1 - ค.7 ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า t เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

\bar{X}	แทน	ค่าคะแนนเฉลี่ย
SD	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N	แทน	จำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง
t	แทน	ค่าสถิติทดสอบที่ใช้เปรียบเทียบค่าวิถีตจากการแจกแจงแบบ t เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ
df	แทน	ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)
*	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.2 ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 การวิเคราะห์พื้นฐานการเรียนวิชาเคมีของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลการลงทะเบียนรายวิชาของสาขาวิชาเคมีคณิตวิทยาศาสตร์ของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ระดับ วท.บ. 4/2

เคมี ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) และระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเคมีอนินทรี 1 ซึ่งนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 ระดับมีพื้นฐานการเรียนในรายวิชาของสาขาวิชาเคมีที่แตกต่างกัน คังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายวิชาของสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่นักศึกษากลุ่มตัวอย่างได้ลงทะเบียนเรียนตามแผนการเรียนตลอดหลักสูตร จนถึงภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550

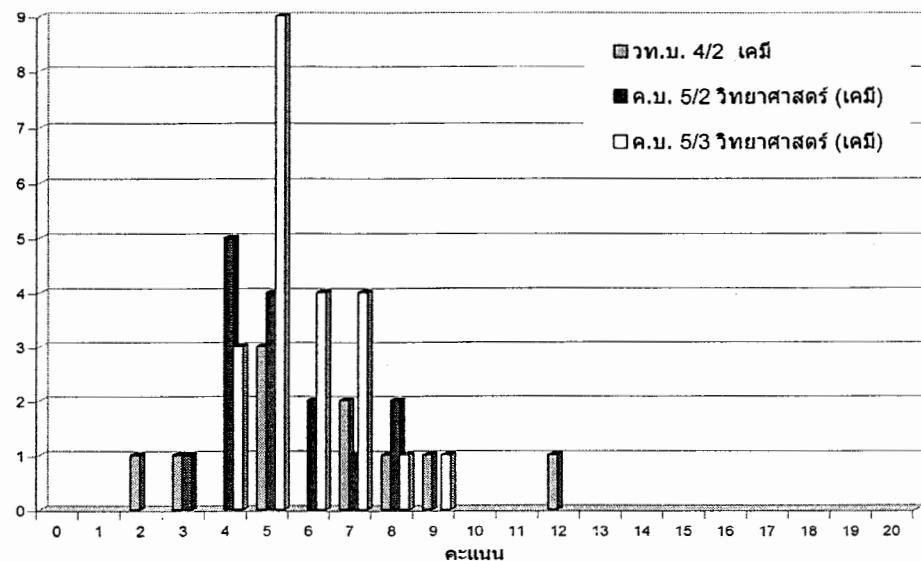
นักศึกษา	รหัสวิชา/ชื่อวิชา	หน่วยกิต	ภาคเรียน/ปีการศึกษา
เคมี วท.บ. 4/2	4021108 เคมีทั่วไป	3(3 – 0)	1/2549
	4021109 ปฏิบัติการเคมีทั่วไป	1(0 – 3)	1/2549
	4022201 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0)	1/2550
	4022202 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3)	1/2550
	4022307 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0)	1/2550
	4022308 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3)	1/2550
เคมี วท.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	4021105 เคมี 1	3(3 – 0 – 6)	1/2549
	4021106 ปฏิบัติการเคมี 1	1(0 – 3 – 1)	1/2549
	4022102 เคมี 2	3(3 – 0 – 6)	2/2549
	4021103 ปฏิบัติการเคมี 2	1(0 – 3 – 1)	2/2549
	4022201 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0 – 6)	1/2550
	4022202 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3 – 1)	1/2550
	4022307 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0 – 6)	1/2550
	4022308 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3 – 1)	1/2550
เคมี วท.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	SCIE301a เคมีทั่วไป	5(3 – 2 – 3)	1/2548
	4022102 เคมี 2	3(3 – 0 – 6)	1/2549
	4022103 ปฏิบัติการเคมี 2	1(0 – 3 – 1)	1/2549
	4022201 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0 – 6)	1/2550
	4022202 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3 – 1)	1/2550
	4022307 เคมีอนินทรี 1	3(3 – 0 – 6)	1/2550
	4022308 ปฏิบัติการเคมีอนินทรี 1	1(0 – 3 – 1)	1/2550

จากตารางที่ 4.1 นักศึกษาถูก詢問ตัวอย่างทั้ง 3 ระดับมีพื้นฐานการเรียนวิชาสาขาเคมีที่แตกต่างกัน โดยก่อนลงทะเบียนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 นั้นนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคเม่ ได้ลงทะเบียนรายวิชาของสาขาเคมีเพียง 2 รายวิชาคือ เคมีทั่วไปและปฏิบัติการเคมีทั่วไปในชั้นปีที่ 1 ในขณะที่นักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ได้เรียนวิชา เคมี 1 และ เคมี 2 ควบคู่กับปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 ในชั้นปีที่ 1 เช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแผนการเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) แม้ว่าจะเป็นนักศึกษาคณะเดียวกันแต่แผนการเรียนที่ใช้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ใช้หลักสูตรการศึกษาที่เป็นหลักสูตรที่ยังไม่ได้ปรับปรุง แผนการเรียนจึงต่างจากนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จะเห็นได้ว่านักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) นั้น ในชั้นปีที่ 1 ได้เรียนวิชาเคมีทั่วไป 5 หน่วยกิต ซึ่งประกอบด้วยบรรยาย 3 หน่วยกิตและปฏิบัติการ 2 หน่วยกิต นอกจากนั้นยังเรียนวิชาเคมี 2 ควบคู่กับวิชาปฏิบัติการเคมี 2 เมื่อปีชั้นปีที่ 2 ด้วย ข้อสังเกตของนักศึกษาถูก詢問ตัวอย่างอีกประการคือ นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคเม่ และนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) เรียนวิชาเคมีอนินทรีย์ 1 ควบคู่กับปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 เมื่อปีชั้นปีที่ 2 แต่นักศึกษาอีกกลุ่มคือระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) เรียนวิชาเดียวกันนี้เมื่อศึกษาอยู่ในชั้นปีที่ 3 ความแตกต่างของพื้นฐานการเรียนวิชาเคมีของนักศึกษาถูก詢問ตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้พิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางการเรียน

4.2.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ทางการเรียนจากคะแนนสอบของนักศึกษาถูก詢問ตัวอย่าง

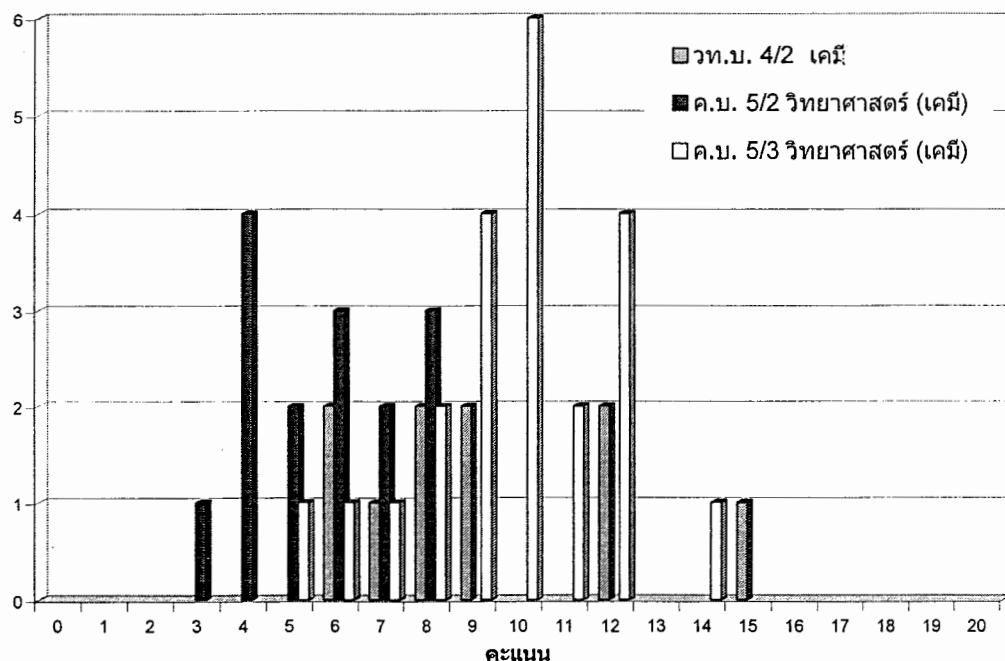
การศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางการเรียนรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 โดยใช้แบบประเมินการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไออ่อนิกของนักศึกษา กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม ผู้วิจัยรวมข้อมูลจากแบบทดสอบซึ่งเป็นข้อสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ผลการทดสอบก่อนและหลังเรียนด้วยแบบทดสอบเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ ก.1 - ก.3 ซึ่งสรุปได้ดังแผนภูมิในภาพที่ 4.1 และ 4.2

จำนวน (คน)



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนปฐบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษา สมบัติของสารประกอบไฮอนิกของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

จำนวน (คน)



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบคะแนนสอบหลังเรียนปฐบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษา สมบัติของสารประกอบไฮอนิกของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

จากการทดลองในภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาในภาพรวมของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้งหมด จะเห็นว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีคะแนนทดสอบก่อนเรียนน้อยกว่า 10 คะแนน จากระดับเฉลี่ย 20 คะแนน คะแนนต่ำสุดและสูงสุดก่อนเรียนคือ 2 และ 12 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนสอบหลังจากนักศึกษาได้ทำปฏิบัติการแล้วดังแสดงในภาพที่ 4.2 พบร่วมนักศึกษาส่วนใหญ่ได้คะแนนสูงกว่าก่อนเรียนปฏิบัติการ นอกจากนี้คะแนนสูงสุดและคะแนนต่ำสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยและมีค่าเป็น 3 และ 15 ตามลำดับ การพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนสามารถนำมาคำนวณหาค่าทางสถิติต่างๆ ได้แก่ ค่าคะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาแต่ละระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

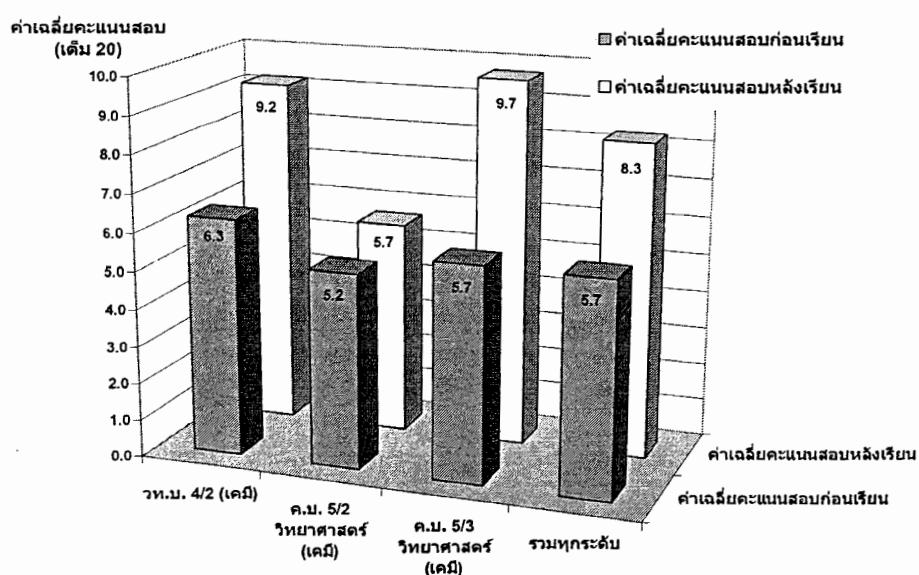
ตารางที่ 4.2 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ	ผลก่อนเรียน	ผลหลังเรียน
ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	คะแนนเฉลี่ย	6.3	9.2
	คะแนนต่ำสุด	2	6
	คะแนนสูงสุด	12	15
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	2.9	2.9
	N = 10		
ระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	คะแนนเฉลี่ย	5.2	5.7
	คะแนนต่ำสุด	3	3
	คะแนนสูงสุด	8	8
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.5	1.7
	N = 15		
ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	คะแนนเฉลี่ย	5.7	9.7
	คะแนนต่ำสุด	4	5
	คะแนนสูงสุด	9	14
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.3	2.1
	N = 22		

ตารางที่ 4.2 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา각กลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

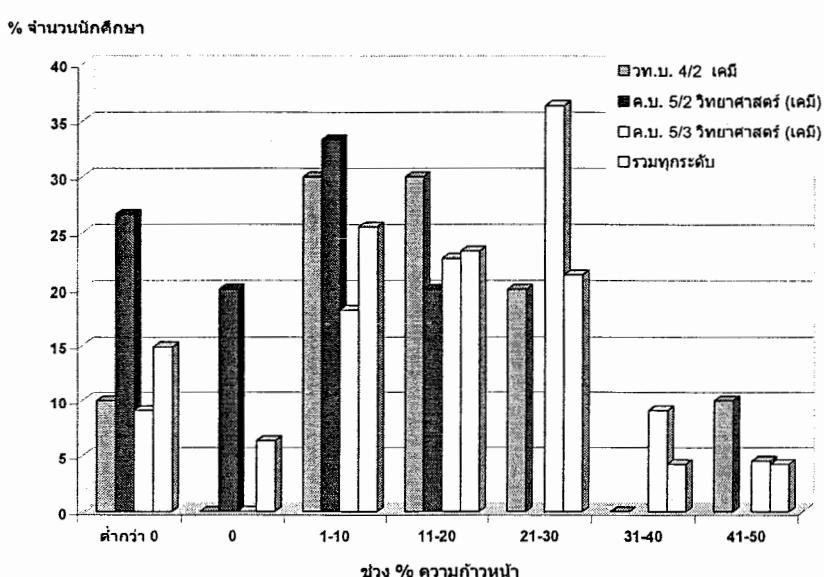
กลุ่มตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ	ผลก่อนเรียน	ผลหลังเรียน
รวมทุกระดับ	คะแนนเฉลี่ย	5.7	8.3
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.8	2.8
	N = 47		

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนวิชาปฏิบัติการของนักศึกษา จะเห็นได้ว่านักศึกษาทุกระดับมีค่าคะแนนเฉลี่ยสอบสูงขึ้นหลังจากเรียนปฏิบัติการแล้ว ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.3 และจากการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) พบว่า นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เค้มีความแตกต่างกันมาก และมากกว่านักศึกษาอีก 2 กลุ่มคือ นักศึกษา ระดับ ค.บ. 5/2 และ 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) นอกจากนี้ความแตกต่างของคะแนนที่ได้หลังจากเรียนปฏิบัติการแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเรียนพบว่าไม่แตกต่างกันยกเว้นในกลุ่มของนักศึกษา ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ซึ่งพบความแตกต่างของคะแนนมากขึ้นหลังจากการทดลอง แล้ว



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา各กลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

จากค่าเฉลี่ยคะแนนสอบดังภาพที่ 4.3 จะเห็นได้อ้างชัดเจนว่านักศึกษาแต่ละกลุ่มนี้ เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าหลังจากเรียนปฏิบัติการแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคเม และระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคเม) อ้างไว้ตามสำหรับนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคเม) นั้นพบว่าคะแนนเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบ เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ ค.4 และสรุปเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อน และหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

จากภาพที่ 4.4 นักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าอยู่ในระดับต่ำกว่า ร้อยละ 50 และจากข้อมูลในตารางภาคผนวกที่ ค.4 พบร่วมกันว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้า รวมทุกระดับคือ 12.2 เปอร์เซ็นต์โดยนักศึกษาในระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคเม) มีค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าสูงที่สุดคือ 18.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคเม 15.5 เปอร์เซ็นต์และกลุ่มที่มีความก้าวหน้าน้อยที่สุดคือนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคเม) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีความก้าวหน้าเพียง 3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาแผนภูมิจะเห็นได้ว่าในทุกระดับพบนักศึกษาที่ไม่มีความก้าวหน้าหรือมีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าต่ำกว่าศูนย์ อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของนักศึกษาส่วนใหญ่นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคเม ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคเม) และระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคเม) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1 - 30 เปอร์เซ็นต์ 1 - 10 เปอร์เซ็นต์ และ 21 - 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ข้อมูลความแตกต่างทางพื้นฐานการเรียนวิชาเคมีของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างดังตารางที่

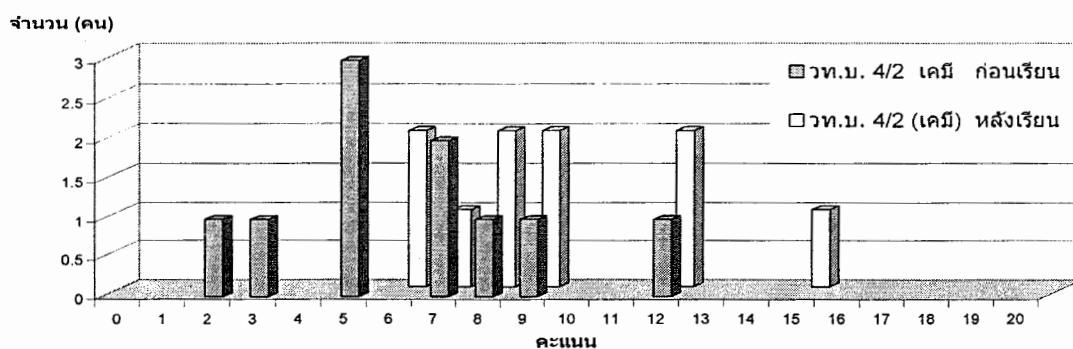
4.1 สามารถใช้อธิบายความแตกต่างของผลการเรียนของนักศึกษาได้ดังนี้ นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 และ 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีพื้นฐานการเรียนวิชาเคมีไม่แตกต่างกันมากนัก จึงมีผลการสอบก่อนเรียนที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าที่น้อยกว่านักศึกษาอีก 2 กลุ่ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีพื้นฐานทางเคมีที่น้อยกว่านักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี ที่เรียนวิชาเอกเคมี โดยตรง นอกจากนั้นหากเปรียบเทียบกับระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) แม้ว่าจะเป็นนักศึกษาคณะวิชาเดียวกัน และมีพื้นฐานการเรียนเคมีที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยก็พบว่าระดับชั้นปีของการศึกษาก็มีผลต่อการเรียนด้วย

4.2.3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากคะแนนสอบของนักศึกษาระดับ วท.บ.

4.2.3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี

ผลการทดสอบก่อนและหลังเรียนปฏิบัติการของนักศึกษาระดับ

วท.บ. 4/2 เคมี จำนวน 10 คน ดังแสดงในภาพที่ 4.5



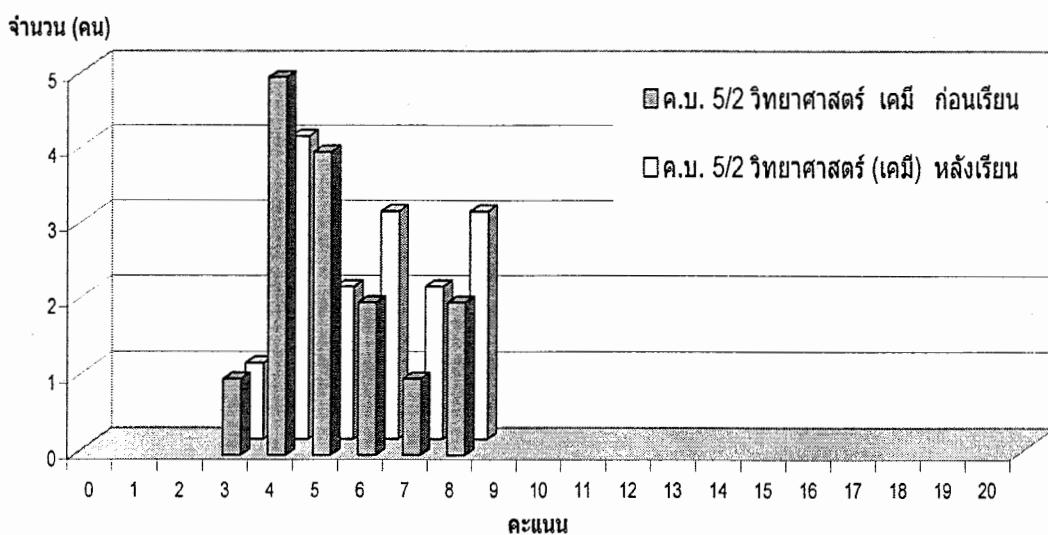
ภาพที่ 4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา

ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี

จากการที่ 4.5 และข้อมูลในตารางที่ 4.2 นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี มีความก้าวหน้าอย่างชัดเจนหลังจากเรียนปฏิบัติการแล้ว โดยค่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 6.3 เป็น 9.2 คะแนนต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 6 และคะแนนสูงสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันจาก 12 เป็น 15 อย่างไรก็ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนยังมีค่าเท่าเดิมคือ 2.9 ซึ่งมากกว่านักศึกษาอีก 2 ระดับที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่านักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี นี้มีความแตกต่างกันมาก และระดับความแตกต่างไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากทำการทดสอบแล้ว ค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียนของ

นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี มีค่ามากกว่านักศึกษาระดับ ก.บ. ทั้ง 2 กลุ่ม แสดงให้เห็นว่า นักศึกษากลุ่มนี้มีพื้นฐานที่ดีกว่านักศึกษากลุ่มตัวอย่างระดับ ก.บ. วิทยาศาสตร์ (เคมี)

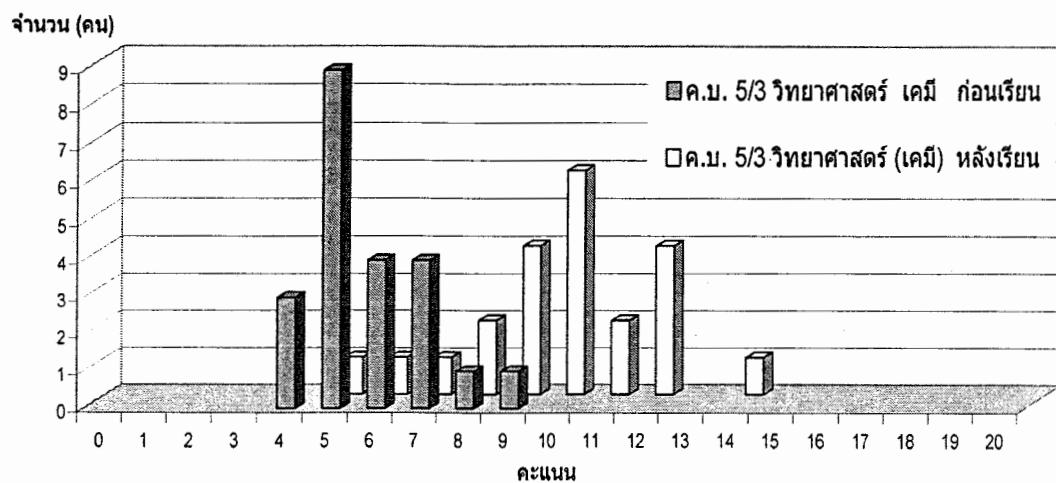
4.2.3.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ผลการทดสอบก่อนและหลังเรียนปฐบัติการของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

จากภาพที่ 4.6 และข้อมูลในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าคะแนนสอบก่อน และหลังจากเรียนปฐบัติการของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ไม่มีความแตกต่าง กันมากนัก โดยค่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 5.2 เป็น 5.7 คะแนนต่อสุดและคะแนน สูงสุดมีค่าเท่าเดิมคือ 3 และ 8 คะแนน ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนก่อนทำการ ทดลองมีค่าค่อนข้างต่ำคือ 1.5 ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 1.7 หลังทำการทดลองแล้ว แสดงให้เห็นว่า นักศึกษา ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) นี้มีความแตกต่างกันน้อย

4.2.3.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ผลคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนปฐบัติการของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษา
ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

จากภาพที่ 4.7 และข้อมูลในตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่านักศึกษา

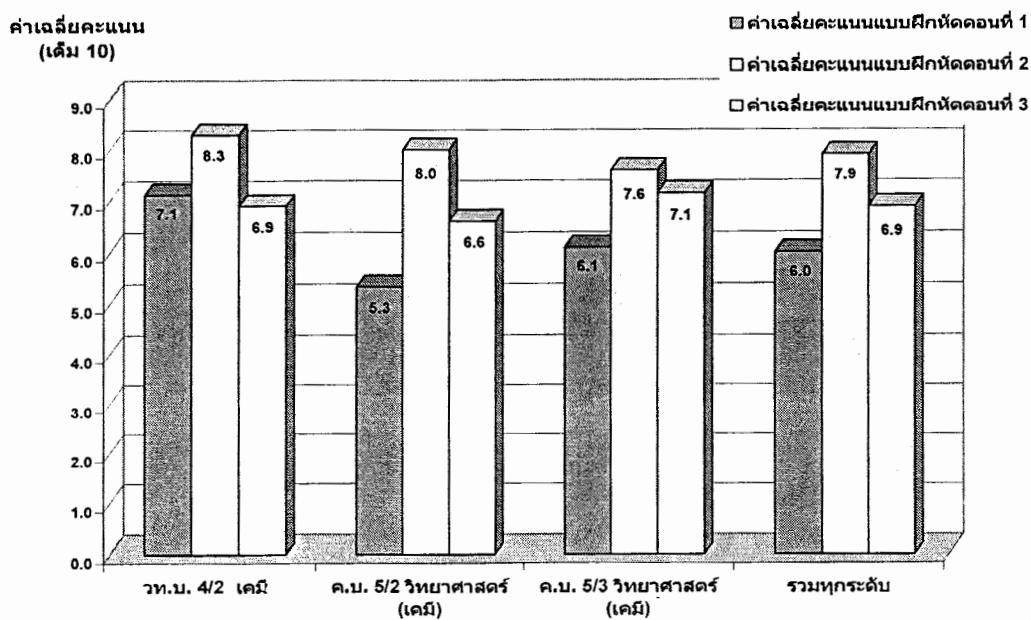
ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีความก้าวหน้าอย่างชัดเจนหลังจากเรียนปฏิบัติการแล้ว เช่นเดียวกับนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี โดยค่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 5.7 เป็น 9.7 คะแนน ต่ำสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 5 และคะแนนสูงสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันจาก 9 เป็น 15 เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพบว่าก่อนเรียนมีค่า 1.3 แสดงให้เห็นว่านักศึกษามีพื้นฐานความรู้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนสอบของนักศึกษากลุ่มนี้ พบว่ามีค่าก่อนข้างใกล้เคียงกับนักศึกษาในระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) แต่น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี แสดงให้เห็นนักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 และ ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีพื้นฐานก่อนเรียนที่ไม่แตกต่างกัน แต่น้อยกว่านักศึกษา ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี อย่างไรก็ตามหลังจากเรียนปฏิบัติการแล้วเกิดความแตกต่างของคะแนนสอบมากขึ้น โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.3 เป็น 2.1

4.2.4 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากคะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง

ข้อมูลรวมจากการทำแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ ค.5 – ค.7 นำมาคำนวณหาค่าทางสถิติต่าง ๆ ได้แก่ ค่าคะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.3 คะแนนเฉลี่ย คะแนนต่ำสุด คะแนนสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน
จากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองแต่ละตอนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าทางสถิติ	ตอนที่ 1	ตอนที่ 2	ตอนที่ 3
ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	คะแนนเฉลี่ย	7.1	8.3	6.9
	คะแนนสูงสุด	9.0	9.0	8.0
	คะแนนต่ำสุด	6.0	8.0	6.0
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.5	3.5	2.8
	N = 10			
ระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	คะแนนเฉลี่ย	5.3	8.0	6.6
	คะแนนสูงสุด	6.0	8.0	8.0
	คะแนนต่ำสุด	5.0	8.0	5.0
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.4	0.0	1.1
	N = 15			
ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	คะแนนเฉลี่ย	6.1	7.6	7.1
	คะแนนสูงสุด	8.0	8.0	8.0
	คะแนนต่ำสุด	7.0	7.0	6.0
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.3	0.5	0.6
	N = 22			
รวมทุกระดับ	คะแนนเฉลี่ย	6.0	7.9	6.9
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.2	0.5	0.9
	N = 47			



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนแบบฝึกหัดของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง

จากข้อมูลในภาพที่ 4.8 พบร่วมค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบฝึกหัดทั้งการทดลองทั้ง 3 ตอนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำแบบฝึกหัดทั้งการทดลองนักศึกษามีโอกาสที่จะปรึกษาหารือกับเพื่อน ทำให้เกิดความแตกต่างของคะแนนไม่มาก ยกเว้นในกลุ่มของนักศึกษา ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี ที่มีความแตกต่างของคะแนนมากกว่า นักศึกษาระดับ ค.บ. ทั้ง 2 กลุ่มนี้ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่าคะแนนของนักศึกษาแต่ละระดับมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบหลังเรียน นั่นคือนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี และ ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงกว่านักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

4.2.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการเรียนจากความแตกต่างระหว่าง คะแนนการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ Paired Sample t – test

ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจำนวน 47 คน ที่เรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 เรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน ได้แก่ การเตรียมและศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไนโตรเจนคาร์บอนเนต เอ็นทัลปีของสารละลายน้ำและพลังงาน latent heat สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโโคเเวนต์และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก โดยให้นักศึกษาทำแบบทดสอบก่อนลงมือทำปฏิบัติการและรวมคะแนนจากแบบทดสอบก่อนเรียน จากนั้นทำการทดสอบหลังทำปฏิบัติ

อีกครั้งใช้แบบทดสอบชุดเดียวกัน การเปรียบเทียบคะแนนทดสอบเพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาทำโดยใช้ Paired sample t-test โดยข้อมูลที่วิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างโดยใช้ Paired sample t – test

นักศึกยาระดับ	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	N	\bar{X}	df	คะแนนเต็ม	SD	t*	Sig. (2-tailed)
ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี	หลังเรียน	10	9.2	9	20	2.9	2.71	.024
	ก่อนเรียน	10	6.3	9	20	2.9		
ระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	หลังเรียน	15	5.7	14	20	1.7	0.87	.396
	ก่อนเรียน	15	5.2	14	20	1.5		
ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)	หลังเรียน	22	9.7	21	20	2.1	7.31	.000
	ก่อนเรียน	22	5.7	21	20	1.3		

ระดับนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$

จากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างจากคะแนนที่ได้ก่อนและหลังเรียนปฏิบัติการและการวิเคราะห์ผลโดยวิธี Paired sample t-test พบร่วมกันนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ นักศึกษา ระดับ วท.บ. 4/2 เคมี และนักศึกยาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีค่า Sig. เท่ากับ .024 และ .000 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือนักศึกษา 2 กลุ่มนี้มีความก้าวหน้าในการเรียนหลังจากทำการทดลองแล้ว ในทางตรงกันข้ามนักศึกยาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีค่า Sig. เท่ากับ .396 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า α แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฎิบัติการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไอกอนิก ในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอนินทรีย์ 1 กับนักศึกษาภายนอกลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ นักศึกษา ระดับ วท.บ. 4/2 เค米 จำนวน 10 คน นักศึกษา ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 15 คน และนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 22 คน ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางเรียนสาขาวิชาเคมีของนักศึกษาภายนอกลุ่มตัวอย่าง และรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบก่อนเรียน การทดสอบหลังเรียน และคะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางพื้นฐานการเรียนในสาขาวิชาเคมี วิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สถิติ t – test และเปรียบเทียบผลจากการทำแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง ผลจากการวิเคราะห์ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างพบว่า นักศึกษาภายนอกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มนี้มีผลจากการวิเคราะห์ดังนี้

นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เค米 มีการลงทะเบียนเรียนในรายวิชาเคมีทั่วไปและปฏิบัติการเคมีในชั้นปีที่ 1 ผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่า คะแนนต่ำสุดและสูงสุดก่อนเรียนคือ 2 และ 12 SD คือ 2.9 ส่วนคะแนนต่ำสุดและสูงสุดหลังเรียนคือ 6 และ 15 ค่า SD คือ 2.9 และนักศึกษาภายนอกลุ่มดังกล่าวมีร้อยละความก้าวหน้าเฉลี่ยคือ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ผลสัมฤทธิ์จากการทำแบบฝึกหัดท้ายการทดลองพบว่า มีคะแนนเฉลี่ยทั้ง 3 ตอน คือ 7.1 8.3 และ 6.9 ค่า SD คือ 1.5 3.4 และ 2.8 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้ t - test พบร่วมกันว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

นักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีการลงทะเบียนเรียนในรายวิชาเคมี 1 ปฏิบัติการเคมี 1 ในภาคเรียนที่ 1 และรายวิชาเคมี 2 ปฏิบัติการเคมี 2 ในภาคเรียนที่ 2 ชั้นปีที่ 1 ผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่า คะแนนต่ำสุดและสูงสุดก่อนเรียนคือ 3 และ 8 ค่า SD คือ 1.5 ส่วนคะแนนต่ำสุดและสูงสุดหลังเรียนคือ 3 และ 8 ค่า SD คือ 1.6 และนักศึกษาภายนอกลุ่มดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าเฉลี่ยคือ ร้อยละ 3.0 ผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบพบว่า มีคะแนนเฉลี่ยทั้ง 3 ตอน คือ 5.3 8.0 และ 6.6 ค่า SD คือ 0.4 0.0 และ 1.1 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ t - test พบร่วมกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีการลงทะเบียนเรียนในรายวิชาเคมีทั่วไป ในภาคเรียนที่ 1 ชั้นปีที่ 1 รายวิชาเคมี 2 และปฏิบัติการเคมี 2 ในภาคเรียนที่ 1 ชั้นปีที่ 2 ผลสัมฤทธิ์จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่าคะแนนต่ำสุดและสูงสุดก่อนเรียนคือ 4 และ 8 ส่วนคะแนนต่ำสุดและสูงสุดหลังเรียนคือ 6 และ 14 และนักศึกษากลุ่มดังกล่าวมีปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าเฉลี่ยคือ 18.2 เปอร์เซ็นต์ ผลสัมฤทธิ์จากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองพบว่ามีคะแนนเฉลี่ยทั้ง 3 ตอนคือ 6.0 7.5 และ 7.1 ค่า SD 1.3 0.5 และ 0.6 จากการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้ t - test พบร่วมกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบนักศึกษาทั้ง 3 กลุ่มพบว่านักศึกษามีพื้นฐานการเรียนที่แตกต่างกัน ผลสัมฤทธิ์จากแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่าคะแนนต่ำสุดและสูงสุดก่อนเรียนของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี มีความแตกต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจากนักศึกษามีพื้นฐานความรู้ที่แตกต่างกัน นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) และ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) พื้นฐานความรู้ก่อนเรียนวิชาปฏิบัติการที่ใกล้เคียงกัน และนักศึกษาเหล่านี้มีความแตกต่างกันน้อยกว่านักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังจากเรียนปฏิบัติการแล้วพบว่าพันธุ์นักศึกษาระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) มีความความก้าวหน้าน้อยกว่า นักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เคมี และ ระดับ ค.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี) โดยมีค่าเฉลี่ยปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าเพียง 3 ในขณะที่นักศึกษาอีก 2 กลุ่มมีความก้าวหน้าสูงกว่าคือ 15.5 เปอร์เซ็นต์และ 18.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จึงสรุปได้ว่านักศึกษามีความเข้าใจในเนื้อหาการเรียนมากขึ้น หลังจากการทดลองโดยใช้บทปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามความแตกต่างในด้านพื้นฐานของนักศึกษา และระดับชั้นของการเรียนมีผลทำให้นักศึกษาเรียนรู้ได้แตกต่างกัน

ผลสัมฤทธิ์จากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองพบว่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบฝึกหัดทั้ง 3 ตอนของนักศึกษาทั้ง 3 กลุ่มนี้ความแตกต่างกันน้อย เพราะในการจัดการเรียนการสอนมีการเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้แยกเปลี่ยนความรู้และความคิดเห็นต่าง ๆ และนักศึกษามีคะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายการทดลองมากกว่าร้อยละ 50

ผลวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้ t - test พบร่วมกันไม่มีความแตกต่างระหว่างคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนนักศึกษากลุ่ม

ตัวอย่างระดับ ค.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี) ไม่มีความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

ในบทปฎิบัติการมีการกำหนดจุดประสงค์ กำหนดความแผนการจัดการเรียนรู้ พร้อมบอกรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ รวมทั้งวิธีการที่ต้องเนื่อง แต่เนื่องจากบทปฎิบัติการเรื่อง การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบ ไอออนิกมีเนื้อหาที่กำหนดให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่าง ทำปฏิบัติการในแต่ละตอนค่อนข้างมาก ทำให้เวลาที่กำหนดคือตอนละ 3 คาบ ไม่เพียงพอจึงทำให้ต้องการจัดการเรียนการสอนในเวลาที่นักศึกษาสามารถใช้เวลาในการทำปฏิบัติการต่อได้อีกด้วย ไม่กระทบการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาอื่น เพื่อให้นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมากที่สุด

5.3 แนวทางการแก้ไข

เนื่องจากบทปฎิบัติการมีเนื้อหาให้ทำบทปฎิบัติการเป็นจำนวนมาก ไม่เพียงพอในเวลาที่กำหนดจึงมีการแยกเอกสารประกอบการทำปฏิบัติการ ไปล่วงหน้าเพื่อให้นักศึกษาได้อ่านและทำความเข้าใจเพื่อให้การเรียนการสอนแบบทดลองเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและใช้เวลาตามที่กำหนด ผู้สอนมีการเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือและมีการกำหนดกลุ่มผู้เรียนให้เหมาะสมกับสภาพของงานที่ทดลองที่ไม่ควรเป็นกลุ่มใหญ่มากเกินไป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนผู้เรียนจำนวน 3 คนต่อกลุ่มเพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทำงานทดลองทุกคน

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยซึ่งมีการจัดการเรียนการสอนแบบทดลองผู้สอนควรมีการเตรียมการดังต่อไปนี้

5.4.1 กำหนดจุดประสงค์ ศึกษาหลักสูตร เนื้อหา แผนการสอน แล้วกำหนดจุดประสงค์ ให้ชัดเจนว่าต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีพัฒนารูปแบบเด่นอย่างไร

5.4.2 การวางแผนการจัดการเรียนรู้ควรจัดลำดับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้และเตรียมกิจกรรมไว้ล่วงหน้า เตรียมนำเสนอเข้าสู่บทเรียน ขั้นตอนการทดลอง สรุปผล และออกแบบวิธีการประเมินผล

5.4.3 ผู้สอนเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือรวมทั้งแบบบันทึกผลการทดลอง แบบ

ประเมินผลและเอกสารให้เพียงพอ กับจำนวนนักศึกษา

5.4.4 ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของเครื่องมือ ผู้สอนควรทดลองการใช้เครื่องมือด้วยตนเองก่อนที่จะมีการทดลอง เพื่อให้เห็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ก่อนที่จะมีการทดลองจริง และเพื่อประโยชน์ต่อการให้คำแนะนำกับนักศึกษา และเน้นให้นักศึกษาใช้ความรับผิดชอบในขณะทดลอง โดยเฉพาะในส่วนที่อาจเกิดอุบัติเหตุ ได้ง่าย

5.4.5 ควรมีการเตรียมผู้เรียน โดยผู้สอนกำหนดค่ากุ่มผู้เรียนให้เหมาะสมกับสภาพของงานที่ทดลอง ไม่เป็นกลุ่มใหญ่มากเกินไป เพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการทดลองทุกคน และควรมีจำนวนวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองที่เพียงพอต่อนักศึกษา

5.4.6 นำเข้าสู่บทเรียนผู้สอนควรแจ้งชุดประสงค์ให้นักศึกษาได้ทราบ อธิบายขั้นตอนวิธีการ และแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือให้นักศึกษา และผู้สอนควรแนะนำในขณะเวลาปฏิบัติการทดลอง

5.4.7 ผู้เรียนมีการนำเสนอผลการทดลองและร่วมกันอภิปรายร่วมกันในกลุ่มและสรุปผลการทดลอง รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการเชื่อโยงของบทปฏิบัติการนั้นกับเนื้อหาที่เรียนในวิชาบรรยาย

5.4.8 ผู้สอนควรมีการประเมินผลการทดลอง อาจเป็นผู้สอนกับผู้เรียนร่วมกัน ตรวจสอบความถูกต้องพร้อมทั้งมีการนำเสนอปัญหาและวิธีการปรับปรุงแก้ไขในการทดลองครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. 2546. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2545 พร้อมกับกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องและพระราชบัญญัติการศึกษาภาคบังคับ พ.ศ. 2545). กรุงเทพมหานคร.

กานดา พุนลาภทวี. 2528. การประเมินผลการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ไชยชาญ ทินเกิด. 2528. การเปรียบเทียบผลการสอนวิชาปฏิบัติการเครื่องกลไฟฟ้าระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุดสาหกรรมหน้าบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2541. เอกสารการสอนชุดวิชาพุทธิกรรมการสอนประณมศึกษา. กรุงเทพมหานคร : ยูไนเต็ดโปรดักชั่น.

ทิคนา แรมมนณี. 2550. ศาสตร์การสอนองค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญชม ศรีสะภาค. 2540. การวิจัยการวัดผลและประเมินผล. กรุงเทพมหานคร : สุวิริยาสาสน์.

บุญเรียง ใจศิลป์. 2539. วิธีการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : พีเอ็นการพิมพ์.

ปริชา เศรษฐีธร. 2524. หลักการสอนและการฝึกประสบการณ์วิชาชีพภาคปฏิบัติ. กำแพงเพชร : สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.

ปัญญา สังขกิริมย์และคณะ. 2550. วิธีสอนการงานอาชีพและเทคโนโลยีไปสู่การจัดการเรียนรู้ของครูยกใหม่. กรุงเทพมหานคร : บริษัทอักษรเจริญทัศน์ จก. จำกัด.

ภัทร นิคมานนท์. 2538. การประเมินผลการเรียน. กรุงเทพมหานคร : บริษัทอักษรพาพัฒน์ จำกัด.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2542. พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพมหานคร : นานมีบุ๊คส์ พับลิเคชั่น.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2535. วิธีการวิจัยทางพุทธิกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : บริษัทพิงเกอร์ปริ้นแอนด์มีเดีย.

ไฟกรย์ ตินตรารัตน์. 2523. หลักและวิธีการสอนระดับอุดมศึกษา. กรุงเทพมหานคร : บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.

เยี่ยมศิริ มนัสวิมาย. บทเรียนสำเร็จรูปที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไออกอนิก. กรุงเทพมหานคร : โปรดแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ละเอียด การสอนภาษาไทยและคณิต. วิธีการสอนทั่วไป. กรุงเทพมหานคร : บริษัทชีเอ็ดดูเคชั่น.
 วารสาร ชาวดา. 2522. เทคโนโลยีการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : กราฟฟิกอาร์ต.
 สถาบันสันติ์ อุตคถุณภู. 2536. การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการผลิตสื่อการสอน. กรุงเทพมหานคร :
 วารสารพัฒนาเทคนิคการศึกษา.
 สุกิจ จิมโฉม. 2528. การวัดและการประเมินผลเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : วิทยาลัยครุ
 บ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
 สุวัฒน์ มุทธเมธा. 2532. การเรียนการสอนปัจจุบัน. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.
สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน. 2550. คู่มือนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ปี
การศึกษา 2550. สุรินทร์ : รุ่งธนเกียรติอฟเช็ท.
 เสารานี้ ศึกษาบัณฑิต. 2528. เทคโนโลยีทางการศึกษา แผนพัฒนาศรัมภกิจและสังคมแห่งชาติ
ฉบับที่ 9 ปี พ.ศ. 2545 – 2549 สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคม
แห่งชาติ. กรุงเทพมหานคร : โรงพยาบาลบันเทิงในเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ.
 อุบลรัตน์ ชลิบเงิน. 2542. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และทักษะ
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์รึ่ง ความรู้ สาร และแสง ของนักเรียนชั้น
ประถมศึกษาปีที่ 6 ที่สอนโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์กับการสอนตามคู่มือครุ.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประถมศึกษา [ISBN 974 –
 676 – 699 – 6].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทปฐมบัตการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนนิก

แผนการสอนปฏิบัติการ

เรื่อง การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก

ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโคลเจนคาร์บอนเนต

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแผลตทิช

ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโโคเวเลนต์และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก

แนวคิด

1. การสังเคราะห์สารเคมี เป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เพราะจะทำให้ได้สารใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. เมื่อสังเคราะห์สาร ได้แล้วจำเป็นต้องมีการทดสอบ เพื่อยืนยันว่าได้สารที่ต้องการสังเคราะห์จริง

3. สารประกอบไฮอ่อนิก เกิดจากอะตอมของโลหะ ซึ่งมีค่าพลังงานไฮอ่อนิเซชันต่ำเกิดพันธะกับอุ่นต่ำของโลหะซึ่งมีสัมพรรภาพอิเล็กตรอนสูง โดยอะตอมของโลหะให้ อิเล็กตรอนแก่อะตอมของโลหะแล้วได้ไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบตามลำดับ แรงดึงดูดระหว่างไฮอ่อนทั้งสองเป็นแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) หรือ แรงคูลومบ์ (Coulombic force)

4. เมื่อไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบยึดเหนี่ยวกัน เกิดโครงสร้างสารประกอบไฮอ่อนิกและ ค่าพลังงานออกมา เรียกว่า พลังงานแผลตทิช (Lattice energy)

5. พลังงานแผลตทิช หาได้โดยอาศัยกฎของ Hess'law ที่ว่า “ในปฏิกิริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยารวม จะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ในปฏิกิริยาอยู่”

6. ขั้นตอนทั้งหมดในการเกิดสารประกอบไฮอ่อนิก สามารถเขียนแสดงได้ด้วย แผนภาพที่เรียกว่า วัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ (Born Haber cycle)

7. การหาค่าพลังงานแผลตทิช ไม่สามารถหาได้จากการทดลองแต่สามารถหาได้จาก สมการบอร์น-แลนเด (Born Lande equation) หรือหาได้จากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ เมื่อทราบค่า พลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

8. สารประกอบไฮอ่อนิกจะละลายน้ำได้ดี เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีข้อเมื่อเกิดการ ละลาย เราสามารถหาค่าเอนทัลปีของสารละลายได้จากการทดลอง โดยใช้ แคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) และเราสามารถหาค่าพลังงานแผลตทิชจากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ โดยพิจารณา

เอนทัลปีของสารละลายร่วมด้วยได้

9. เมื่อสารประกอบไฮอ่อนิกเป็นของแข็ง จะไม่นำไฟฟ้า เพราะไฮอ่อนบวกและลบจะอยู่ประจำที่ในโครงผลึก แต่เมื่อยุ่งในสภาพหลอมเหลวหรือสารละลายจะนำไฟฟ้าได้ เพราะมีการเคลื่อนที่ของไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบ ต่างกับสารประกอบโภเวเดนที่เมื่อเกิดการละลาย อนุภาคของสารละลายจะอยู่ในรูปโมเลกุล ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้

10. การนำไฟฟ้าของสารละลายจะดีหรือไม่ ขึ้นกับปริมาณไฮอ่อนในสารละลาย หากสารที่เป็นตัวถูกละลายแตกตัว (Dissociation) ได้ดีจะมีปริมาณไฮอ่อนมากในสารละลาย สารละลายจะนำไฟฟ้าได้ดี

11. ในการเกิดปฏิกิริยาของสารไฮอ่อนิก เราจะแสดงเชิงพารา ไฮอ่อนที่เกิดปฏิกิริยาและโมเลกุลที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น เราเรียกว่า สมการไฮอ่อนิก (Ionic equation)

วัสดุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักศึกษาได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว สามารถ

1. เตรียมและทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโครเจนคาร์บอนเนต ได้
2. ทำการทดลองหาค่าเอนทัลปีของสารละลายได้
3. คำนวณหาค่าพลังงานแลตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิก จากวัฏจักร บอร์น - ชาเบอร์ เมื่อทราบค่าค่าพลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
4. คำนวณหาค่าพลังงานแลตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิกจากสมการบอร์น - แคนเด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้ จากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ได้
5. ทำการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารและสารละลาย ได้
6. อธิบายและเปรียบเทียบการแตกตัวเป็นไฮอ่อนของสารละลาย โดยอาศัยข้อมูลการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ทดลอง ได้
7. เผยนสมการไฮอ่อนิกรวมและไฮอ่อนิกสูตรของปฏิกิริยา ได้

กิจกรรมระหว่างเรียน

1. ทำแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ศึกษาบทเรียนสำเร็จรูป
3. ปฏิบัติการทดลองตามกำหนด
4. รายงานผลการทดลองและตอบคำถามก่อนและหลังการทดลอง

(กิจกรรมลำดับที่ 2-4 ให้ทำเป็นตอน ๆ จบแล้วจึงทำตอนต่อไป)

5. ศึกษาจากเนื้อหาท้ายบทเรียนสำเร็จรูป และศึกษาค้นคว้าจากหนังสืออ่านประกอบที่แนะนำไว้
6. ทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียน

1. สารเคมี
2. อุปกรณ์การทดลอง
3. หนังสืออ่านประกอบ

การประเมินผล

1. ประเมินจากแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ประเมินจากรายงานผลการทดลองและการตอบคำถามก่อนและหลังการทดลอง
3. ประเมินจากแบบทดสอบหลังเรียน

บทปฏิบัติการ

การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไออ้อนิก

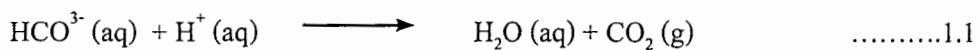
PREPARATION AND PROPERTIES OF IONIC COMPOUND

ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

(PREPARATION AND PROPERTIES OF SODIUM HYDROGEN CARBONATE)

บทนำ

การสังเคราะห์สารเคมีเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ นักเคมีต้องทำการออกแบบวิธีการและขั้นตอนในการทำให้ได้สารใหม่ จากสารธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์อื่น ในการทดลองครั้งนี้นักศึกษาจะได้สังเคราะห์สารอนินทรีย์ คือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (Sodium hydrogen carbonate, NaHCO_3) ซึ่งเป็นสารประกอบไออ้อนิก ที่ประกอบด้วยโซเดียมไออ่อน (Na^+) เป็นไออ่อนบวก และไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (HCO_3^-) เป็นไออ่อนลบ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต รู้จักกันดีในชื่อของ โซดาปิ้งบัม (Baking soda) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างทั้งในทางการค้าและในบ้านเรือน โดยเมื่อรวมกับของแข็งที่ทำให้เกิดกรด เช่น Cream of tartar (Potassium hydrogen tartrate, $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) และแป้ง (ซึ่งใส่เพื่อกันไม่ให้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตติดกับสารที่ทำให้เกิดกรดแล้วเป็นก้อน) แล้ว ใช้ทำให้เกิดการฟู ในทางการค้าเรียกผงฟู (Baking powder) เมื่อผงฟูผสมกับน้ำหรือนมแล้วตีหรือคนจะเกิดแก๊สการบันไดออกไซด์ ดังสมการ

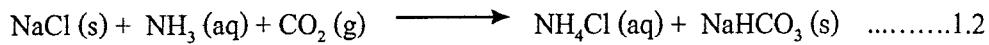


การเกิดแก๊สการบันไดออกไซด์ที่ล่อน้อย เป็นเหตุทำให้เกิดฟองแก๊สในเนื้อบัมที่มีผงฟูผสมอยู่ เมื่อนำมาไปอบหรือย่าง ก็จะทำให้เนื้อบัมฟูได้

มีการนำโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตมาใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนหลายอย่าง เนื่องจากสารนี้มีสมบัติเป็นเบสอ่อน จึงใช้เป็นยาเม็ดแอนตัซิด (Antacid tablets) หรือไบคาร์บ (Bicarb) เพื่อตัดกรดในกระเพาะอาหาร และสามารถดูดซับ (Adsorb) โมเลกุลของสารต่าง ๆ ไว้บนผิวน้ำของผลักของมันได้ค่อนข้างมาก สามารถเกิดปฏิกิริยากับไอของสารที่ทำให้เกิดกรด จึงใช้เป็นยาดับกลิ่นในบ้านเรือนได้ นอกจากนี้ยังใช้ในเครื่องดับเพลิงชนิดให้แก๊สการบันไดออกไซด์ อีกด้วย

การสังเคราะห์โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตในครั้งนี้ เป็นวิธีเดียวกันกับในทาง

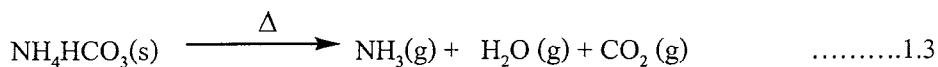
อุตสาหกรรม โดยการเติมน้ำแข็งแห้ง (Solid CO₂) ลงในสารละลายที่อิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



การเติมน้ำแข็งแห้ง เพื่อเป็นแหล่งของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำแข็งแห้งบังช่วยแยกผลผลิต 2 ชนิดคือ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH₄Cl) กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตออกจากกันด้วย เนื่องจากการเติมน้ำแข็งแห้งทำให้ปฏิกิริยามีอุณหภูมิต่ำมาก โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตจะละลายได้น้อยกว่าแอมโมเนียมคลอไรด์และแตกผลึกออกจากสารละลายอย่างรวดเร็วมาก เมื่อกรองสารที่ได้ขยะเย็นจัดก็จะได้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตเป็นของแข็งออกมา

โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีนี้ จะน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield) ประมาณ 50 % ทั้งนี้เป็นเพราะบ้างคงมีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตละลายในสารละลายน้ำพอกลางระหว่างการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reaction) ได้สารประกอบแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (NH₄HCO₃) ออกมาด้วย ดังนั้นของแข็งที่ได้จะอาจเป็นโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตผสมกับแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

อย่างไรก็ตามเราสามารถกำจัดแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตได้โดยการให้ความร้อนแก่ของแข็งที่กรองได้ จะทำให้แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตละลายไปเป็นแก๊สแอมโมเนียในน้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้นักศึกษา สามารถเตรียมและทดสอบสมบัติของสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตได้

คำถามก่อนการทดลอง

1. ในการสังเคราะห์ NaHCO₃ ครั้นี้ เราจะได้ NaHCO₃ แยกออกจากผลผลิตที่สำคัญ อีกสารหนึ่งคือ NH₄Cl บนพื้นฐานที่ว่ามีสภาพละลายได้ (Solubility) แตกต่างกันที่อุณหภูมิต่ำแต่ไม่สามารถแยก NaHCO₃ กับ NH₄Cl ออกจากกันได้บนพื้นฐานนี้ ให้นักศึกษาหาข้อมูลจาก Hand Book of Chemical เพื่อหาสภาพละลายได้ของสารทั้งสามนี้

สาร	ส่วนละลายน้ำ (g / H ₂ O 100 g)		
	ที่ 0 °C	ที่ 20 °C	ที่ 30 °C
NaHCO ₃			
NH ₄ Cl			
NH ₄ HCO ₃			

2. ให้สรุปประโยชน์ของ NaHCO₃ ในบ้านเรือนและทางการค้า

.....

.....

ข้อควรระวัง

- แอมโมเนียมเป็นสารกระตุ้นหัวใจและระบบหายใจ จึงควรใช้ในตู้คลุดกวน
- น้ำแข็งแห้งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อผิวหนัง เนื่องจากความเย็นจัดทำให้เกิดความเสียหายมีอันตรายต่อผิวหนัง
- ของผสม NaHCO₃ และ NH₄HCO₃ จะระเหยเมื่อได้รับความร้อน ต้องระวัง
- กรดไฮโดรคลอริก เป็นอันตรายต่อผิวหนัง ต้องรับถังด้วยน้ำมากๆ ทันที หากกรด

สารเคมี

- NaCl (Sodium chloride)
- NH₃ conc. (Concentrated ammonia solution)
- CO₂ (s) (Dry ice)
- 3 M HCl (Hydrochloric acid)
- Methyl red

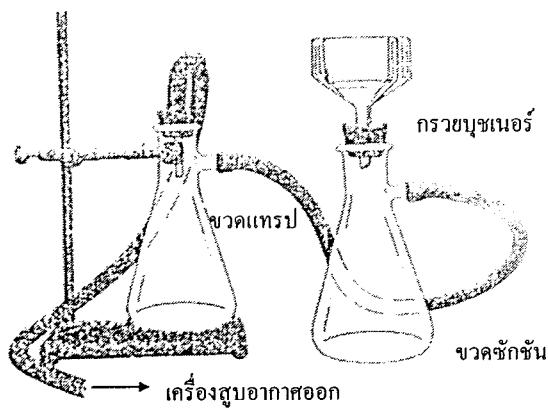
อุปกรณ์

1. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 cm^3
2. กระบอกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 50 cm^3 พร้อมมูกสำหรับปิด
3. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 150 และ 250 cm^3
4. ชามระเหย (Evaporator dish)
5. แท่นแก่วย (Stirrer)
6. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดเล็ก 4 หลอด
7. ชุดกรอง ได้แก่ กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel), ขวดซักชัน (Suction flask), ขวดแทรป (Trap flask) กระดาษกรอง และปืนดูดอากาศ ตามภาพที่ ก.1
8. เตาให้ความร้อน (Hot plate) หรือ ตะเกียงบุนเซ็น (Bunsen burner)
9. เครื่องชั่งแบบ Triple beam
10. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ถึง -50°C

วิธีทดลอง

1. การเตรียมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

1.1 เตรียมชุดสำหรับกรอง ไว้สำหรับกรองผลผลิตขณะเย็น (อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C)



ภาพที่ ก.1 อุปกรณ์การกรองแบบลดความคัน

1.2 ชั่ง NaCl ประมาณ 15 - 16 g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm^3 ที่สะอาด
(ปริมาณ NaCl มากกว่าความต้องการใช้ในการสังเคราะห์ ปริมาณที่มากเกินพอนี้จะช่วยเร่งให้ได้สารละลายอิ่มตัวในแอมโมเนียเร็วขึ้น)

1.3 ใส่สารละลาย conc. NH_3 50 cm^3 ในขวดรูปกรวยที่บรรจุ NaCl โดยทคล่องในตู้คูดคัวน

1.4 เผย่าขวดในข้อ 1.3 ประมาณ 10 - 15 นาที เพื่อให้ NaCl ละลายจนอิ่มตัว เมื่อ
อิ่มตัวแล้วจะมี NaCl ส่วนไม่ละลายเหลืออยู่

1.5 ทิ้งให้ของแข็งแยกออกจาก แล้วrinสารละลายในสองแอมโมเนียที่อิ่มตัวด้วย
NaCl ลงในบิกเกอร์ขนาด 250 cm^3 ระวังอย่าให้มีของแข็งติดอยู่ด้วย วางบิกเกอร์ไว้ในตู้คูดคัวน

1.6 คืนน้ำแข็งแห้งใส่ในบิกเกอร์ขนาด 150 cm^3 ประมาณครึ่งบิกเกอร์ (จะได้ CO_2
 $\approx 60 - 70\text{g}$) นำมาที่ตู้คูดคัวน

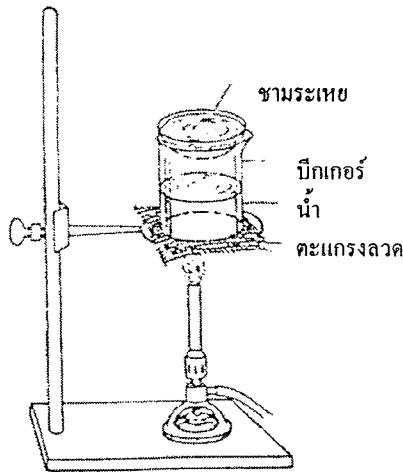
1.7 คืนน้ำแข็งแห้งใส่ในบิกเกอร์ที่มีสารละลายแอมโมเนียอิ่มตัวด้วย NaCl (ใน
ข้อ 1.5) ทีละน้อย คนให้สารผสมกันด้วยแท่งแก้ว ใส่น้ำแข็งแห้งทีละน้อย ๆ จนอุณหภูมิของ
สารผสมต่ำลง เหลือประมาณ -50°C และน้ำแข็งแห้งละลายหมด

1.8 เมื่อใส่น้ำแข็งแห้งจนหมด จะได้ของแข็งผสมระหว่าง NaHCO_3 กับ
 NH_4HCO_3 ให้บันทึกอุณหภูมิที่ปรากฏผลลัพธ์ของผลผลิต ปล่อยให้ของผสมมีอุณหภูมิสูงขึ้น
ประมาณ -5°C และน้ำแข็งแห้งละลายหมด

1.9 รีบกรองสารโดยเร็ว ก่อนที่อุณหภูมิจะสูงถึง 0°C ให้เครื่องดูดสารที่กรองได้
อีก 2 - 3 นาทีหลังจากดูดของเหลวลงไปหมดแล้ว

1.10 ชั่งน้ำหนักของชามระเหยที่สะอาด ถ่ายของแข็งในข้อ 1.9 ลงในชามระเหย

1.11 วางชามระเหยลงบนบิกเกอร์ที่มีน้ำแข็งเดือดประมาณ 10 – 15 นาที เพื่อสลาย
 NH_4HCO_3 ของแข็งในชามระเหยจะเริ่มหลอมเหลว และเกิดฟองแก๊ส ระวังอย่าให้กระเด็น



ภาพที่ ก.2 การระเหยของเหลวด้วย water bath โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ

1.12 ปล่อยให้ของแข็งและชามระเหยเย็นลง ซึ่งนำหันกของแข็งพ้อมชามระเหย

1.13 หาร้อยละผลผลิต (% yield) ของ NaHCO_3 โดยคาดคะเนว่า NaCl ละลายในสารละลาย NH_3 10 g (จากที่ใช้ 15 - 16 g เมื่อเริ่มต้น)

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

เนื่องจาก NaCl ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นและ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต เป็นของแข็งสีขาว เหมือนกันจึงต้องทำการทดสอบเพื่อยืนยันว่าได้ NaHCO_3 ไม่ได้ NaCl กลับคืนมา โดยวิธีการต่อไปนี้

2.1 ทดสอบด้วยสารละลาย 3 M HCl

2.1.1 นำหลอดทดลองที่สะอาดมา 2 หลอด ตัก NaHCO_3 ที่เตรียมได้และ NaCl เล็กน้อยใส่ในหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หยดสารละลาย 3 M HCl ลงไปหลอดละ 2 - 3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

2.1.2 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้อ 2.1.1 หากเห็นการเปลี่ยนแปลง

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรค

นำหลอดทดลองมา 2 หลอด ตัก NaHCO_3 ที่เตรียมได้ และ NaCl เล็กน้อยใส่ในหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 2 cm^3 เขย่าให้สารละลาย แล้วหยดเมทิลเรคลงไป 2 - 3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

**รายงานผลการทดลอง
การเตรียมและศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต**

ชื่อผู้รายงาน..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 2..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ผลการทดลอง

1.1 ผลจากการสังเกต เมื่อเกิดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ ในสารละลาย
แอมโมเนียเข้มข้น

.....

1.2 ผลจากการสังเกต เมื่อเติมน้ำแข็งแห้งลงไปในสารละลายอิมตัว ของโซเดียม
คลอไรด์ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น

.....

1.3 อุณหภูมิโดยประมาณเมื่อปราภูพลิกของผลผลิต

.....

1.4 การหาผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3

การทดลอง	ผลการทดลอง
น้ำหนักของชามระ夷	g
น้ำหนักของชามระ夷 + NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต	g
น้ำหนักของ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต (ผลผลิตจริง)	g
น้ำหนักของ NaCl ที่เป็นสารตั้งต้น	10 g
ผลผลิตตามทฤษฎีของ NaHCO_3	g
ผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3 ที่เตรียมได้	%

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮด록เจนคาร์บอเนต

การทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง NaHCO_3 กับ NaCl

2.1 ทดสอบด้วยสารละลายน้ำ 3 M HCl

หยด 3 M HCl ลงในสาร	ผลการทดลองที่สังเกตได้
NaHCO_3	
NaCl	

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ.....

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรด

สารละลายน้ำ	ผลการทดลองที่สังเกตได้ เมื่อหยดเมทิลเรดลงไป
NaHCO_3	
NaCl	

ขอเชิญผู้ทดลองที่ได้พร้อมเขียนสมการประกอบการอธิบาย

วิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

คำถาม

1. สามารถเตรียม NaHCO_3 ได้จากปฏิกิริยาผ่านแก๊ส CO_2 ลงไปในสารละลายน้ำ NaOH ที่เข้มข้น จะเขียนสมการแสดงการสังเคราะห์ NaHCO_3 โดยวิธีนี้

2. Na_2CO_3 เป็นสารสำคัญสารหนึ่งในทางอุตสาหกรรมซึ่งเรียกว่า โซดาแอช (Soda ash) เราสามารถเตรียมสารนี้ได้ โดยการให้ความร้อนอย่างสูงแก่ NaHCO_3 จงเขียนสมการแสดง การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้

3. HCO^3- เป็นไอออนที่สำคัญทางด้านสรีรวิทยา โดยเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ในระบบบัฟเฟอร์ที่ควบคุม pH ของเลือดมนุษย์ให้คงที่ จงค้นคว้าจากตำราว่าในระบบบัฟเฟอร์ ดังกล่าวมีสารใดเป็นองค์ประกอบอีก และจงอธิบายว่าสารละลายน้ำบัฟเฟอร์ช่วยรักษาค่า pH ให้คงที่ได้อย่างไร

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแลดทิช ENTHALPY OF SOLUTION AND LATTICE ENERGY

บทนำ

เอนทัลปีของสารละลาย (Enthalpy of solution; ΔH_{soln}) เป็นปริมาณพลังงาน (ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของความร้อน) ที่ถูกดูดเข้าไปหรือหายออกมา เมื่อละลายสารในตัวทำละลาย ซึ่งเอนทัลปีของสารละลายจะแตกต่างกัน ตามชนิดและปริมาณของตัวละลาย (Solute) ในสารละลาย (Solution) แต่โดยทั่วไปสนใจ เอนทัลปีของสารละลายที่เจือจางมาก ซึ่งหมายถึง ความร้อนที่ได้จากการละลายของตัวละลาย 1 โมล ในตัวทำละลายปริมาณมากเกินพอก เพราะฉะนั้นกรณีที่สารละลายเจือจางมาก เอนทัลปีของสารละลายของตัวละลายหนึ่ง ๆ เป็นค่าคงที่

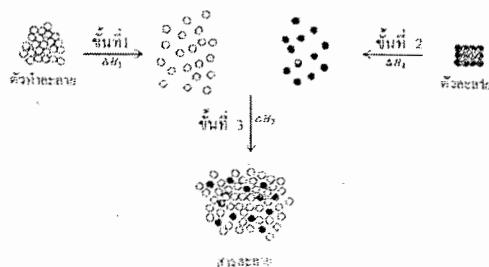
เอนทัลปีของสารละลาย เป็นผลรวมของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงจากกระบวนการละลาย ที่มี 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 โมเลกุลของตัวทำละลาย (Solvent) แยกออกจากกัน ต้องใช้พลังงานในการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล จึงเป็นกระบวนการกรดความร้อน (Endothermic process); ΔH เป็น +

ขั้นที่ 2 โมเลกุลหรืออนุภาคของตัวละลายแยกออกจากกัน ต้องใช้พลังงานในการทำลายแรงยึดเหนี่ยว เช่นเดียวกับขั้นที่ 1 จึงเป็นกระบวนการกรดความร้อน ; ΔH เป็น +

ขั้นที่ 3 โมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลายผสมกัน เกิดแรงดึงดูดต่อกันเป็นกระบวนการรายความร้อน (Exothermic process); ΔH เป็น -

พิจารณากระบวนการเกิดสารละลายทั้งสามขั้นตอน ดังภาพที่ 3 ก



ภาพที่ ก.3 ขั้นตอนการเกิดสารละลาย

จะได้ว่า

$$\Delta H_{soln} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

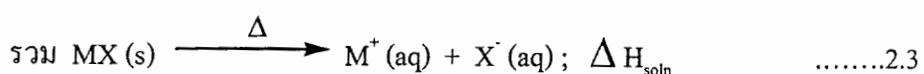
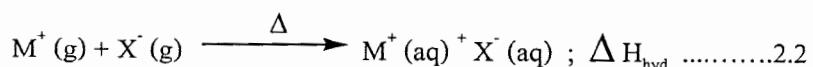
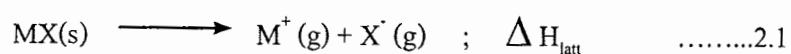
ในกรณีการละลายของของแข็ง ไออ่อนิก ในตัวทำละลายที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ไออ่อนบวกและไออ่อนลบ แยกออกจากແลตทิชพลีก (Crystal lattice) เป็น ไออ่อนอิสระในสภาพแก๊สต้องใช้พลังงานที่มีค่าเท่ากับพลังงานແลตทิช (*Lattice energy*) ; ΔH_{latt} (พลังงานແลตทิช คือพลังงานที่เกิดจากการสร้างพลีก 1 มोล จากไออ่อนบวกและไออ่อนลบมา รวมกัน)

ขั้นที่ 2 ไออ่อนบวกและไออ่อนลบในสภาพแก๊ส ถูกดูมรอนด้วยโนเลกุลของตัวทำ ละลาย เช่น น้ำ จะหายพลังงานออกมานี้ แห่งจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างไออ่อนกับตัวทำละลาย พลังงานที่หายออกมานี้ถ้าใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า พลังงานไฮเดรชัน (*Hydration energy*) ; ΔH_{hyd} แต่ถ้าเป็นตัวทำละลายอื่น ๆ เรียกว่า พลังงานโซลเวชัน (*Solvation energy*)

พลังงานไฮเดรชันนี้ แท้จริงแล้วเกิดจากการรวมกันของพลังงานสองชนิด คือพลังงาน ที่ใช้สลายพันธะไฮโคลเเจนระหว่างโนเลกุลของน้ำ กับพลังงานที่ปล่อยออกมามีอยู่ไออ่อนของตัว ละลายถูกดูมรอนด้วยโนเลกุลของน้ำ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถหาค่าพลังงานทั้งสองชนิดนี้แยก ออกจากกันได้

สำหรับสารไออ้อนิก (MX) เมื่อละลายน้ำ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ ดังต่อไปนี้



$$\Delta H_{soln} = \Delta H_{latt} + \Delta H_{hyd}$$

ΔH_{soln} อาจมีค่าเป็นบวก (คุณพลังงาน) หรือมีค่าเป็นลบ (คายพลังงาน) ซึ่งได้ เช่น

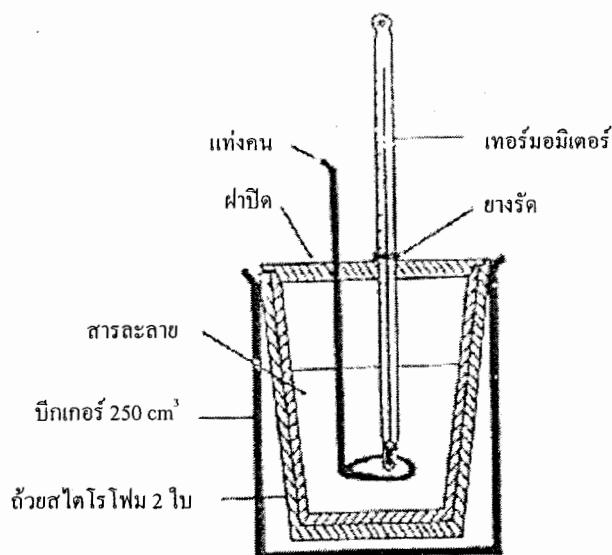
สารละลายเจือจางมาก	พลังงานไฮเดรชัน (kJ mol^{-1})	พลังงานແลตทิช (kJ mol^{-1})	เออนหัลปีของสารละลาย (kJ mol^{-1})
LiCl	- 883	+ 833	- 50
KCl	- 686	+ 690	+ 4

แสดงว่าเมื่อนำผลึก LiCl มาละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อนำผลึก KCl ละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้มีอุณหภูมิลดลง

ในทางปฏิบัติ สามารถหาค่าเออนทัลปีของสารละลายได้โดยง่าย โดยใช้เครื่องแคลอร์มิเตอร์ (Calorimeter) เราจึงไม่จำเป็นต้องแยกหาพลังงานไข่เครชันและพลังงานโครงสร้างผลึกที่จะส่วนเหล่าน้ำรวมกัน แต่สามารถหาเออนทัลปีของสารละลายโดยตรงจากการทดลอง

แคลอร์มิเตอร์ (Calorimeter)

แคลอร์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้หาความร้อนของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย เช่น เออนทัลปีของสารละลาย เออนทัลปีของการสะเทินกรด-เบสและเออนทัลปีของการสันดาป เป็นต้น
แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายแสดงได้ดังภาพที่ ก.4



ภาพที่ ก.4 แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายที่ใช้หาเออนทัลปีของสารละลาย

แคลอร์มิเตอร์อย่างง่าย ประกอบด้วยถ้วยสแต็คโรไฟฟ์ที่อยู่ในน้ำเกลือ และมีฝาปิดอย่างนิ่มแท่งแก้วสำหรับคนและเทอร์โมมิเตอร์ตีบอยู่ เทอร์โมมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของสารละลาย และแท่งแก้วใช้สำหรับคนสารละลายให้อุณหภูมิกายในถ้วยเท่ากัน แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายนี้ให้ถือว่าไม่มีความร้อนสูญเสีย (เป็นระบบที่เป็นจนวนกันความร้อน)

และความร้อนที่ได้รับโดยน้ำเย็นและส่วนต่าง ๆ ของแคลอริมิเตอร์ หาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ได้รับ} &= [(50.0\text{ g} \times 4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})(T_f - T_i) \text{ }^{\circ}\text{C}] + [(C_c \text{ J }^{\circ}\text{C}^{-1})(T_f - T_i) \text{ }^{\circ}\text{C}] \\ &= (209.2 + C_c)(T_f - T_i) \text{ J} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots .2.6$$

เมื่อ C_c คือ ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

โดย T_1 , T_2 และ T_f เป็นค่าที่วัดได้จากการทดลอง ดังนี้ จากสมการ 2.5 และ 2.6 เราสามารถคำนวณหาค่าความร้อนที่สูญเสีย ความร้อนที่ได้รับและค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ได้

การหาอนทัลปีของสารละลาย ในที่นี้ศึกษาการละลายของ NaCl ซึ่งเป็นของแข็ง ละเอียด โดยให้ NaCl ที่ร้อนน้ำหนักที่แน่นอนละลายในน้ำกลิ้น 100 cm³ ในแคลอริมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำเป็น T_3 และอุณหภูมิของสารละลาย NaCl ในน้ำเป็น T_4 ซึ่งการละลายของ NaCl เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดกลืนพลังงาน เราหาค่าอนทัลปีของสารละลาย ดังต่อไปนี้

ความร้อนที่ NaCl ได้รับ = ความร้อนที่สารละลายสูญเสีย + ความร้อนที่แคลอริมิเตอร์สูญเสีย

$$Q = ms \Delta T + C_c \Delta T \quad \dots\dots\dots .2.7$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ NaCl ได้รับ

m คือ มวลของสารละลาย (น้ำ + NaCl)

s คือ ความร้อนจำเพาะของสารละลาย = 4.184 J g⁻¹ °C⁻¹

C_c คือ ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังละลาย ($T_4 - T_3$)

ดังนี้จากสมการ 2.7 จะได้ว่า

$$Q = (ms + C_c) \Delta T$$

เมื่อคิดค่า Q ที่ NaCl ได้รับเทียบต่อ 1 โมลของ NaCl (58.5 g) ก็คือค่าอนทัลปีของสารละลายนั้นเอง (ΔH_{soln})

พลังงานแล็ตทิกซ์ (Lattice energy); ΔH_{latt}

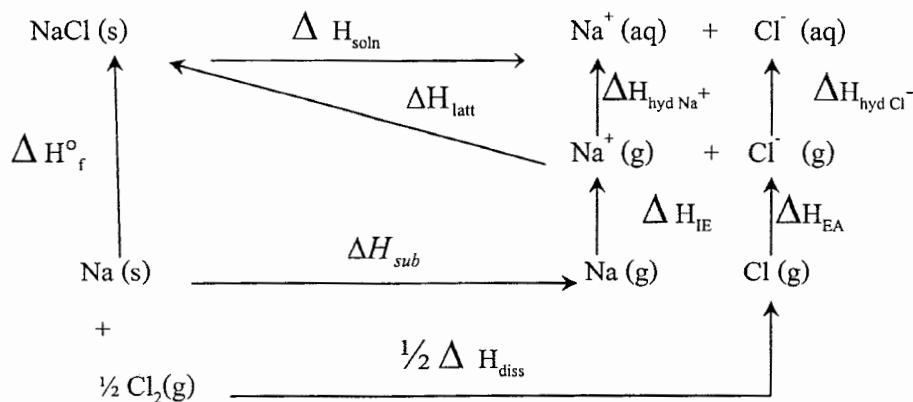
เป็นพลังงานที่คายออกมานิวเคลียร์ (Cation) และไออันบวก (Anion) ในสภาวะแก๊ส รวมกันเป็นพลิกไออกอนิก 1 โมล ดังสมการ



ΔH_{latt} มีค่าเป็นลบ (-) เนื่องจากมันคือการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน

การหาค่าพลังงานแผลตทิช ไม่สามารถหาได้โดยตรงจากการทดลอง แบบเดียวกับเงื่อนทัตปีของสารละลาย เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอ แต่เราสามารถคำนวณได้โดยอาศัย วัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ (Born - Haber cycle) ซึ่งมีพื้นฐานจาก กฎของไฮส์ (Hess's law) ที่ว่า “ในปฏิกิริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนthalpie ของปฏิกิริยาร่วมจะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนthalpie ในปฏิกิริยาอย่างอื่น” ซึ่งการรวมเป็นไปแบบพีชคณิต

วงจรบอร์น - ชาเบอร์ ที่ใช้คำนวณหาพลังงานแผลตทิชของ NaCl เมื่อพิจารณาเอนthalpie ของการละลาย NaCl ร่วมด้วย เป็นดังนี้



ΔH_{soln} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการละลาย NaCl(s) ในน้ำซึ่งหาได้จากการทดลอง (Enthalpy of solution)

$\Delta H_{hyd Na^+}$, $\Delta H_{hyd Cl^-}$ คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก Na⁺ และ Cl⁻ ถูกกลืนmoron ด้วยโนเดกุลงอนน้ำ (Enthalpy of hydration) ตามลำดับ

ΔH_{sub} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออะตอมโลหะ โขเดิมกล้ายเป็นไอ
 $\text{Na (s)} \longrightarrow \text{Na (g)}$ คือ Enthalpy of sublimation

ΔH_{diss} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก โนเดกุลงอนแก๊สคลอรินแตกออกเป็นอะตอมเดียว $\text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{Cl}(\text{g})$ คือ Enthalpy of dissociation แต่ในที่นี้ใช้เพียงครึ่งเดียว จึงเป็น $\frac{1}{2} \Delta H_{diss}$

ΔH_{IE} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อ อะตอมของโลหะ Na(g) ให้ e⁻ และเป็น Na⁺(g)
 $\text{Na (g)} \longrightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^-$ คือค่า Ionization energy
 ΔH_{EA} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อ อะตอม Cl(g) รับ e⁻
 $\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$ คือค่า Electron affinity

ΔH_f° คือ เอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงในการเกิดสารประกอบ NaCl (s) คือ
Enthalpy of formation

จากการพิจารณาของรัตน์-ชาเบอร์ ดังกล่าว และอาศัยกฎของ亥สต์ จะได้ว่า

$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{sub}} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{diss}} + \Delta H_{\text{IE}} + \Delta H_{\text{EA}} + \Delta H_{\text{hydNa}^+} + \Delta H_{\text{hydCl}^-} - \Delta H_f^\circ \quad \dots \dots \dots .2.9$$

$$\text{และ } \Delta H_{\text{latt}} = \Delta H_{\text{hydNa}^+} + \Delta H_{\text{hydCl}^-} - \Delta H_{\text{soln}} \quad \dots \dots \dots .2.10$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีต่างๆ ของโซเดียมคลอไรด์ เป็นดังนี้

$$\Delta H_{\text{hydNa}} = -401.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{hydCl}} = -363.6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ = -410.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{sub}} = 108.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{diss}} = 242.6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{IE}} = 493.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{EA}} = -364.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ในทางตรงข้ามเราสามารถถกกล่าวได้ว่า เมื่อต้องการทำให้พลีกไฮอ่อนิก 1 โนมล แยกออกจากกันเป็น ไฮอ่อนที่มีประจุต่างชนิดกันในสภาพแวดล้อม จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ พลังงานแล็ตทิชของพลีกนึ่นนั่นเอง ดังสมการ



ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ΔH มีค่าเป็นบวกของค่า ΔH_{latt} (ตัวเลขเท่ากับ ΔH_{latt})

พลังงานแล็ตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิก สามารถหาได้จาก สมการอร์น - แลนเด (Born Lande equation) ดังนี้

$$U_0 = \frac{MZ^+Z^-e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} N \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \dots \dots \dots .2.11$$

เมื่อ $U_0 = \Delta H_{\text{latt}}$ คือ ค่าพลังงานแล็ตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิก

M คือ ค่าคงตัวมาเดลุง (Madelung constant) ซึ่งกับโครงสร้างของพลีก

Z^+, Z^- คือ จำนวนประจุไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบ ตามลำดับ

e คือ ประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

N คือ เลขอโว加โดโร (Avogadro number) เท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค

π คือ มีค่าเท่ากับ 3.14

ϵ_0 คือ permittivity of free space มีค่าเท่ากับ $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-2}$

r_0 คือ ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของไอออนบวกและไอออนลบ

n คือ เลขชี้กำลัง (Born exponent) มีค่าเท่ากับชนิดของไอออนในผลึก

กรณีสารประกอบ NaCl มีค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$M = 1.74756$$

$$Z^+ = +1 \text{ (ประจุของ } \text{Na}^+)$$

$$Z^- = -1 \text{ (ประจุของ } \text{Cl}^-)$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$N = 6.02 \times 10^{23} \text{ ions mol}^{-1}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$r_0 = 2.814 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$n = 8$$

เมื่อนำค่าต่าง ๆ แทนในสมการ 2.11 ที่สามารถหาค่า ΔH_{latt} ของ NaCl จากสมการบอร์น - แلنเด ได้

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ทำการทดลองหาค่าเรอนทัลปีของสารละลายได้
2. คำนวณค่าพลังงานແلاتทิซของสารประกอบไอโอนิก จากวัสดุกรอบอร์น - ชาเบอร์ เมื่อทราบค่าพลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
3. คำนวณค่าพลังงานແلاتทิซของสารประกอบไอโอนิกจากสมการบอร์น - แلنเด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้ จากวัสดุกรอบอร์น-ชาเบอร์ได้

สารเคมี

1. NaCl (Sodium chloride)
2. H₂O (Distilled water)

อุปกรณ์

1. ชุดแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) อย่างง่าย 2 ชุด
2. เครื่องชั่งแบบ Triple beam
3. บีกเกอร์ (Beaker) 50 cm^3 และ 250 cm^3
4. กระบอกตวง (Graduated cylinder) 100 cm^3
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1°C 2 อัน
6. เตาไฟฟ้า (Hot plate)

วิธีทดลอง

1. การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

การตรวจสอบเทอร์มอมิเตอร์ เนื่องจากการทดลองนี้ต้องใช้เทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน จะต้องเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ 2 อันนี้ก่อน โดยจุ่มเทอร์มอมิเตอร์ทั้งสองในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที และอ่านอุณหภูมิ ถ้าค่าต่างกัน ก็แก้ไขโดยบวกหรือลบอุณหภูมิที่ต่างกันจากเทอร์มอมิเตอร์อีกอันหนึ่ง เช่น อันที่ 1 อ่านได้ 30°C อันที่ 2 อ่านได้ 30.2°C เมื่อนำไปใช้ทดลองเราต้องแก้ไขโดย อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์อันที่ 2 ต้องลบด้วย 0.2°C

1.1 ประกอบแคลอริมิเตอร์ดังภาพที่ 3ค

ตวงน้ำก้นลึก 50.0 cm^3 ใส่ในแคลอริมิเตอร์ตามรูป 2.2 ตั้งทิงไว้สักครู่เพื่อให้อุณหภูมิกที่ วัดอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1)

1.2 ตวงน้ำก้นลึก 50.0 cm^3 บรรจุในบีกเกอร์ แล้วอุ่นให้อุณหภูมิประมาณ $45 - 50^\circ\text{C}$ ใช้เทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งคนไปด้วยเบา ๆ เท่าน้ำร้อนลงในแคลอริมิเตอร์อีกใบหนึ่ง ปิดฝาวัดอุณหภูมิที่แน่นอนเอาไว้ให้เป็นอุณหภูมิ T_2

1.3 เริ่มจับเวลา รีบเทน้ำร้อนทั้งหมดลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำเย็น และเทอร์โมมิเตอร์พร้อมที่ค่อนขุ่นก่อนแล้ว

1.4 ปิดผ้าทันทีแล้วคนเบา ๆ ตลอดเวลา

1.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที จนครบ 5 นาที เลือกค่าที่อ่านได้ช้ามากที่สุดเป็นอุณหภูมิพสมหรืออุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย (T_p)

1.6 คำนวณความร้อนที่สูญเสียโดยนำร้อน ความร้อนที่นำเย็นได้รับ และค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ในหน่วยจูล (J)

1.7 ถ่ายน้ำออกจากแคลอริมิเตอร์ ถ้างด้วยน้ำประปา (เพื่อให้อุณหภูมิเข้าสู่

อุณหภูมิห้องเร็วที่ 2) เช็ดให้แห้ง ทิ้งไว้เย็น แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.1-1.6 เป็นการทดลองครั้งที่ 2

1.8 คำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ทั้ง 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย (C_c)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ (C_c)

$$\text{สมนติ} \quad \text{อุณหภูมิของน้ำเย็น} (T_1) = 30.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิของน้ำอุ่น} (T_2) = 48.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม} (T_f) = 37.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{น้ำหนักของน้ำอุ่น} = \text{น้ำหนักของน้ำเย็น} = 50.0 \text{ g}$$

$$(\text{น้ำมีความหนาแน่น } 1.0 \text{ g/cm}^3 \text{ ในที่นี่ใช้น้ำเย็น } 50.0 \text{ cm}^3 \text{ และน้ำอุ่น } 50.0 \text{ cm}^3)$$

การคำนวณ

$$\text{ความร้อนที่นำอุ่นคายออกมาน้ำเย็น} \quad Q = ms \Delta T$$

$$= (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (T_2 - T_f)$$

$$= (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (48.0 - 37.7) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 2,154.76 \text{ J}$$

$$\text{ความร้อนที่นำอุ่นคายออกมาน้ำเย็น} = \text{ความร้อนที่นำเย็นได้รับ} + \text{ความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ได้รับ}$$

$$Q = ms \Delta T + C_c \Delta T$$

$$\text{เมื่อ } \Delta T = T_f - T_1 = (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (37.7 - 30.9) \text{ } ^\circ\text{C} + C_c (37.7 - 30.9) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{แทนค่า } 2,154.76 \text{ J} = 1,422.56 \text{ J} + C_c (6.8 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$C_c = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\therefore \text{ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์} = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

2. หาค่าเอนกประสงค์ของสารละลายของพลีกโซเดียมคลอไรด์

นำแคลอริมิเตอร์ใบเดิมที่แห้งและประกอบตามรูป 2.1 ตวงน้ำเกลี้ยงใส่ลงไป 100 cm^3

2.2 ตั้งทิ้งไว้จนกว่าอุณหภูมิของน้ำคงที่ บันทึกอุณหภูมิไว้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1)

2.3 ชั่ง NaCl ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 8 กรัม

2.4 เริ่มจับเวลา แล้วรีบเท NaCl ทั้งหมดจากข้อ 2.3 ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำบรรจุอยู่

2.5 ปิดฝาทันที แล้วคนเบาๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา

2.6 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที จนกว่าจะได้อุณหภูมิที่มีค่าสม่ำเสมอ เป็นอุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายน (T_4)

2.7 ถังแคโลริเมเตอร์และเทอร์มомิเตอร์ ทำให้แห้งแล้วทำการทดลองใหม่อีก 2 ครั้ง เมื่อขึ้นชื่อ 2.1 ถึง 2.6 แต่เปลี่ยนน้ำหนักของ NaCl เป็น 9 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ บันทึกค่าที่ได้แล้วหาค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเออนทัลปีของสารละลายน (ΔH_{soln})

$$\text{อุณหภูมิเริ่มต้น} (T_3) \text{ ของน้ำ} = 31.05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายน} (T_4) = 30.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{น้ำหนักสารละลายน} = \text{น้ำหนักของน้ำ} + \text{น้ำหนักของ NaCl} = 108 \text{ g}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของสารละลายน} = 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{ความรุ่นความร้อนของแคโลริเมเตอร์} = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

การคำนวณ

ความร้อนที่ NaCl ได้รับ = ความร้อนที่สารละลายหายออกมา + ความร้อนที่แคโลริเมเตอร์หายออกมา

$$\begin{aligned} &= ms \Delta T + C_c \Delta T \\ &= (108 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (30.1 - 31.05) \text{ } ^\circ\text{C} + (107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}) (30.1 - 31.05) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= (-431.98 \text{ J}) + (-102.296 \text{ J}) \\ &= -534.28 \text{ J} \end{aligned}$$

การละลายของ NaCl เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบลดความร้อน

ดังนั้น ความร้อนที่ NaCl 8 g ได้รับ = 534.28 J

หรือความร้อนที่ NaCl 1 mol (58.5 g) ได้รับ (ΔH_{soln}) = 3.9 kJ mol⁻¹2.12

3. นำค่าเออนทัลปีของสารละลายน NaCl ตามสมการ 2.12 ไปคำนวณหาค่าพลังงานแผลตทิช

จากสมการ 2.10

นำค่าพลังงานแผลตทิชที่คำนวณได้นี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานแผลตทิชที่คำนวณได้ จากสมการบอร์น - แلنเด (สมการ 2.11)

**รายงานผลการทดลอง
เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแอลติช**

ชื่อผู้รายงาน..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 2..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การหาค่าความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ (C_c)

การอ่านอุณหภูมิโดยเทอร์มомิเตอร์อันที่ 1 $^{\circ}\text{C}$ อันที่ 2 $^{\circ}\text{C}$

การแก้ไข.....

ผลการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของน้ำเย็น	g	g
น้ำหนักของน้ำอุ่น	g	g
อุณหภูมิของน้ำเย็น (T_1)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิของน้ำอุ่น (T_2)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม (T_f)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำเย็น ($T_f - T_1$)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำอุ่น ($T_2 - T_f$)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
ความร้อนที่นำอุ่นจากอุกมา	J	J
ความร้อนน้ำเย็นได้รับ	J	J
ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ	J	J
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์เฉลี่ย (C_c)	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	

แสดงวิธีคำนวนหาความรุ่นของแคลอรีมิเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 1

2. การหาค่าอ่อนทัดปีของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})

2.1 ผลจากการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนัก NaCl	g	g	g
น้ำหนักน้ำ	g	g	g
น้ำหนักของสารละลายน้ำ ($NaCl + \text{น้ำ}$)	g	g	g
อุณหภูมิของน้ำ (T_3)	°C	°C	°C
อุณหภูมิสารละลาย (T_4)	°C	°C	°C
ผลต่างของอุณหภูมิ ($\Delta T = T_4 - T_3$)	°C	°C	°C
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})	kJ mol^{-1}	kJ mol^{-1}	kJ mol^{-1}
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln}) โดยเฉลี่ย	kJ mol^{-1}		

แสดงวิธีคำนวณหาเอนทัลปี (ΔH_{soln}) ของสารละลายน้ำ NaCl โดยนำข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 มาคำนวณ

นำค่า ΔH_{soln} โดยเฉลี่ยของสารละลายน้ำ NaCl ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่หาได้จากสมการ 2.9 (วัฏจักรนอร์น – ชาเบอร์)

2.2 การคำนวณ ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ตามสมการ 2.9

2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl จากการทดลอง (ข้อ 2.1) และการคำนวณได้ (ข้อ 2.2)

3. คำนวณหาค่าพลังงานแลตทิซของ NaCl (ΔH_{latt})

3.1 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl (สมการ 2.10)

โดยน้ำค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่คำนวณได้ในข้อ 2.1 มาแทนค่าพร้อมข้อมูลที่กำหนดให้

3.2 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl ตามสมการ บอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

.....
.....
.....
.....
.....

ผลการเปรียบเทียบ ΔH_{latt} ของ NaCl จากการทดลองหาค่า ΔH_{soln} ของ NaCl แล้วนำໄປแทนค่าในสมการ 2.10 กับการคำนวณจากสมการบอร์น – ແලນເດ (สมการ 2.11)

.....
.....
.....
.....
.....

วิจารณ์ผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

คำถาม

1. จงให้นิยามของคำต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี

.....
.....

ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี = จูดิ

1.2 ความร้อนจำเพาะของสาร

.....
.....

1.3 ความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

.....
.....

1.4 การเปลี่ยนแปลงแบบคุณลักษณะงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH

.....
.....

1.5 การเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH

.....
.....

2. เอนทัลปีของการละลายของ NaCl ในการทดลองครั้งนี้เป็นค่าคงที่หรือไม่
 เพราะเหตุใด

.....
.....

3. ในการทดลองครั้งนี้หากค่านอกของถ้วยสแต็โตรโฟมเปียกจะเป็นอย่างไร

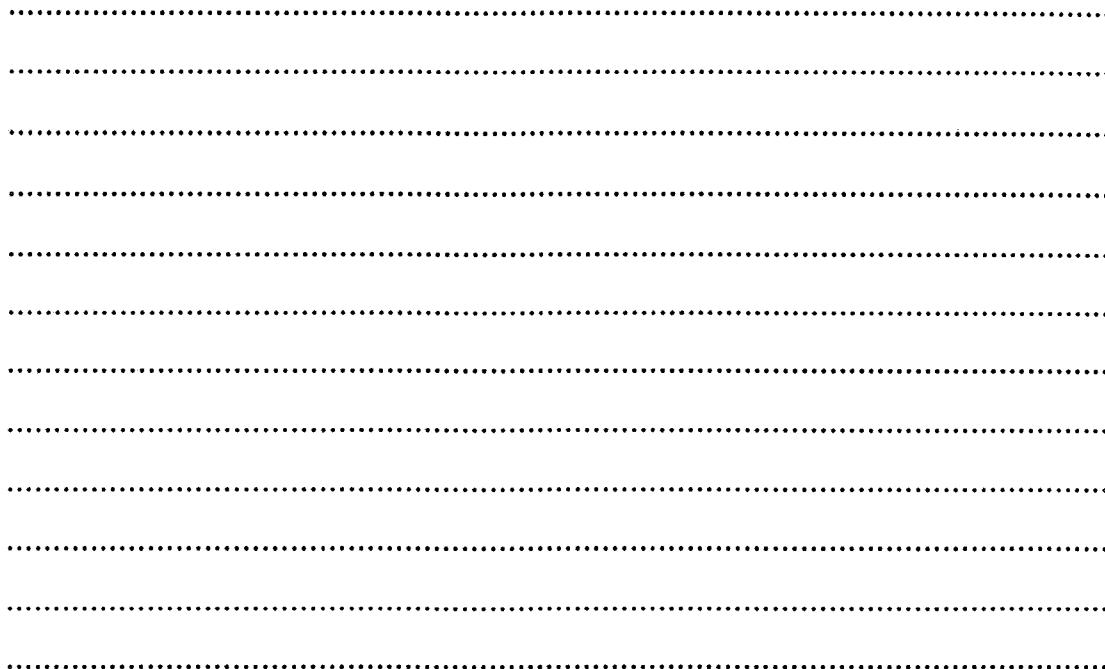
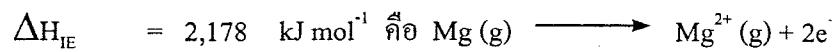
.....
.....

4. จงคำนวณหาพลังงานแลดตทิชของผลึก MgO และเขียนวัฏจักร บอร์น-ชาร์เบอร์นา ด้วยกำหนดให้

$$\Delta H_f^\circ = -609.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{sub}} = 152.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\frac{1}{2}\Delta H_{\text{diss}} = 247.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

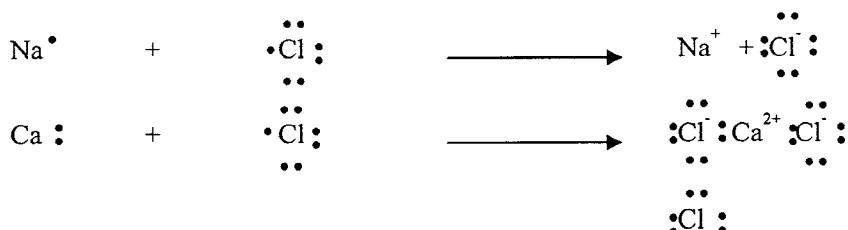


ตอนที่ 3 สารประกอบไอออนิก สารประกอบโคแวนต์ และปฏิกิริยาไอออนิก

IONIC COMPOUND COVALENT COMPOUND AND IONIC REACTION

บทนำ

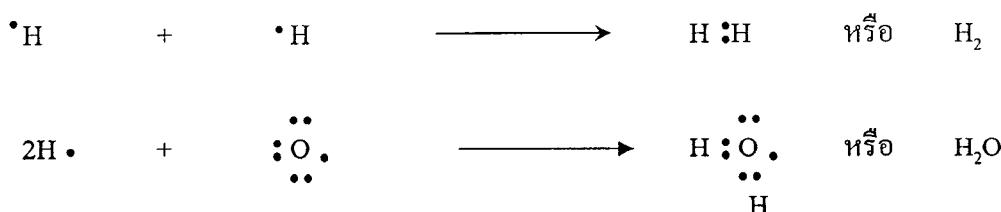
เมื่ออะตอมของโลหะและโลหะที่ว่องไวเกิดปฏิกิริยากัน จะมีการเคลื่อนข่าย (Transfer) อิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอนหรือมากกว่าจากโลหะไปยังโลหะ ทำให้โลหะมีประจุเป็นบวก และอโลหะมีประจุเป็นลบ เพราะโดยทั่วไปธาตุมีแนวโน้มที่จะจัดอิเล็กตรอนให้มีเวลน์ซ์ อิเล็กตรอน (Valence electron) เมื่อันชาตุเลือย ซึ่งทำให้มีความเสถียร (Stability) สูงสุด นิยมเขียน สูตรแบบจุด (Electron dot formula) แสดงการเกิดพันธะ ดังเช่นการเกิดสารประกอบ NaCl และ CaCl₂ ดังนี้



อะตอมหรือหมู่อะตอมที่มีประจุไฟฟ้า เรียกว่า ไอออน (Ion) แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง ไอออนที่มีประจุต่างชนิดกัน เรียกว่า พันธะไอออนิก (Ionic bond) และเรียกสารประกอบที่เกิดจาก พันธะไอออนิกว่า สารประกอบไอออนิก (Ionic compound) โดยจะมีอะตอมของโลหะ ซึ่งมีค่า พลังงานไออ้อนในเชิง (Ionization energy) ต่ำ เป็นไอออนบวก (Cation) และอโลหะ ซึ่งมีค่าสัม พรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron affinity) สูง เป็น ไอออนลบ (Anion)

สารประกอบไออันิกออกจากมีองค์ประกอบเป็น ไอออนอะตอมเดียว (Monoatomic ion) เช่น Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺, O²⁻ ฯลฯ แล้ว ยังมีสารไออันิกจำนวนมากที่ประกอบด้วย ไอออนที่มีหลาย อะตอม (Polyatomic ion) เช่นสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO₃) ประกอบด้วย Na⁺ ซึ่งเป็น Monoatomic ion และ HCO₃⁻ เป็น Polyatomic ion เป็นต้น

เมื่ออะตอมของธาตุ 2 ชนิด ที่มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ (Electronegativity) เท่ากันหรือ ใกล้เคียงกันมาเกิดปฏิกิริยากันจะมีการใช้เวลน์ซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน (Sharing electron) เพื่อให้ อิเล็กตรอนเข้าคู่กัน เช่น



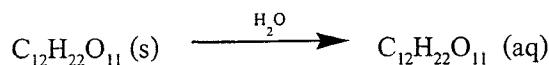
พันธะเช่นนี้เรียกว่า พันธะ โคเวเลนต์ (Covalent bond) กรณีการเกิด H_2O ธาตุ O มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ 3.5 ซึ่งมากกว่า H ที่มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ 2.1 พันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะ โคเวเลนต์มีชื่อ (Polar covalent bond) หรือมีลักษณะ ไอโอนิกย้อย (Partially ionic character)

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพันธะมี 2 ชนิด คือ พันธะ ไอโอนิกและพันธะ โคเวเลนต์ และระหว่างพันธะทั้งสองเป็นพันธะ ไอโอนิกย้อย (Partially ionic bonds)

3.1 การนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical conductivity of solution)

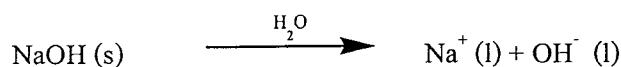
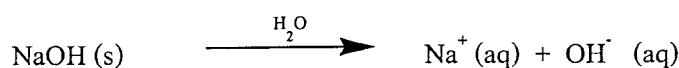
เมื่อสารประกอบ โคเวเลนต์ละลายน้ำ หรือละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม จะไม่นำไฟฟ้า เพราะการละลายของสาร โคเวเลนต์เกิดจากโมเลกุลแยกออก แต่ว่ามีโมเลกุลของตัวทำละลายเข้าล้อมรอบ

เช่น การละลายของน้ำตาล ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ในน้ำ เขียนสมการแสดงได้ดังนี้

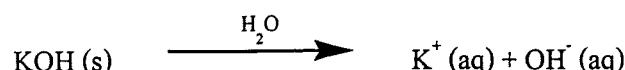
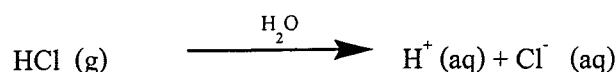


การละลายของ $C_{12}H_{22}O_{11}$ ไม่มีการแตกตัวเป็น ไอโอน จึงเป็นสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า เรียกว่า นอนอิเล็กโทรไลต์ (non electrolyte) ซึ่งสารอื่น ๆ ที่มีลักษณะเดียวกัน ไม่มีการแตกตัวเป็น ไอโอนสารละลายไม่นำไฟฟ้า

แต่สำหรับ กรด เบส และเกลือที่เป็นสารประกอบ ไอโอนิก หรือสารประกอบ โคเวเลนต์ ที่มีชื่อ เมื่อเกิดการละลายจะมีการแตกตัวให้ ไอโอนอิสระในการเคลื่อนที่ ทำให้สารละลายนำไฟฟ้าได้ หรือสารประกอบ ไอโอนิกเมื่อหลอมเหลวด้วยความร้อน ก็จะแตกตัวได้ ไอโอนอิสระ สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงนำไฟฟ้าได้ เช่นกัน ตัวอย่าง เช่น



ซึ่งกรดแก่ เบสแก่ และเกลือ ที่ละลายน้ำทุกชนิด จะแตกตัวอย่างสมบูรณ์ (100%) ในสารละลายเจือจางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ (Strong electrolyte) เช่น





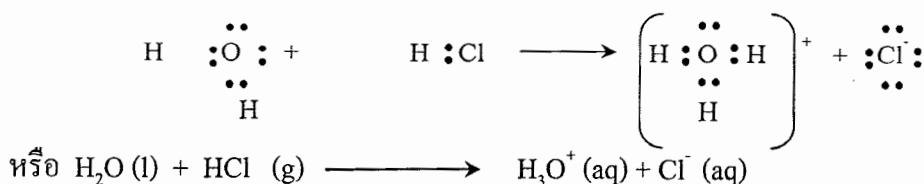
แต่ในสารละลายนองกรดอ่อน เปนสอ่อน หรือเกลือที่ละลายได้น้อย (Slightly salt) อนุภาคในสารละลายน่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปเป็นโมเลกุล ถึงแม้สารละลายนจะมีความเข้มข้นสูง แต่ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายน้ำ สารละลายนจึงนำไฟฟ้าได้น้อย เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak electrolyte)

สำหรับเกลือที่ละลายได้น้อยนั้น สารละลายนนั้นก็สามารถนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าหากส่วนที่ ละลายแตกตัวเป็นไอออน ได้มากหรือได้หมด

นั่นคือ สารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า (Ions) ในสารละลายน ถ้ามีจำนวนมากสารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดี และยิ่งไอ้อนนั้น ๆ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) สูงสารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น เช่น สารละลายนที่มี H^+ อยู่จะนำไฟฟ้าได้ดีเนื่องจาก H^+ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ดีที่สุด (H^+ นำไฟฟ้าได้ดีกว่าไอ้อนอื่น ๆ ประมาณ 5-7 เท่า)

3.2 ไฮเดรตไอออน (Hydrate ion)

เมื่อสารประกอบโคลเวเลนต์ที่มีข้าว เช่น HCl ละลายนในน้ำซึ่งมีสภาพข้าวแรง จะเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างโปรตอน(H^+)ที่มีประจุบวก กับประจุลบของอิเล็กตรอนคู่โดยเดี่ยวของ O ในน้ำ ได้ไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium ion, H_3O^+) คือ ไฮเดรตโปรตอน , $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})$ นั่นเอง



ซึ่งสารละลายนองกรดในน้ำจะมีการแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนและไอออนลบเสมอ เมื่อนำ HCl ละลายนในตัวทำละลายน้ำที่ไม่มีข้าว (Non polar solvent) เช่น ตัวทำละลายนินทรีย์ H^+ จะไม่แยกออกจาก Cl^- ดังนั้น HCl จึงไม่ละลายนในตัวทำละลายนังกล่าว

ไอออนทุกชนิดจะถูกดูดลูบด้วยโมเลกุลของ H_2O ในสารละลายนที่มี H_2O เป็นตัวทำละลายน เช่น Cu^{2+} จะดึงดูดกับ H_2O 4 โมเลกุล เกิดเป็น $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ และ Al^{3+} จะดึงดูดกับ H_2O 6 โมเลกุล เกิดเป็น $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ แต่โดยทั่วไปเราจะเขียนเป็น $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$

3.3 บทบาทของตัวทำละลายในปฏิกิริยาการแตกตัว (The Role of the Solvent in Dissociation Reactions)

ปฏิกิริยาของสารละลายส่วนใหญ่ คือภายในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous solution) แต่เราต้องคำนึงถึงตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ (Non aqueous solvent) ด้วย ซึ่งการแตกตัวของกรด เปبسและเกลือน้ำ ขึ้นกับสมบัติของตัวทำละลาย เช่น การแตกตัวของกรดในน้ำ จะให้ H^+ โดยมี H_2O ถ้ามีกรด ซึ่งการแตกตัวของกรดขึ้นกับธรรมชาติความเป็นเบสของตัวทำละลาย เช่น CH_3COOH แตกตัวเพียงบางส่วนใน H_2O แต่จะแตกตัวสมบูรณ์ (100%) ในตัวทำละลายที่เป็นเบสแรงกว่า H_2O เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ NH_4Cl (1)

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ของตัวทำละลาย และเอนทัลปีของสารละลาย (Enthalpy of solution) ก็เป็นเรื่องสำคัญเช่นกัน ถ้าไอออน 2 ชนิด มีประจุต่างกันอยู่ในสุญญากาศ แรงระหว่างไอออนดังกล่าว เป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ คือ

$$\text{force} = \frac{kz^+z^-}{r} \quad \dots\dots\dots 3.1$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัว

z^+ , z^- เป็นประจุของไอออนบวกและไอออนลบตามลำดับ

r เป็นระยะห่างระหว่างชุดคูณย์กลางของ 2 ไอออน

เมื่อไอออนทั้งสองอยู่ในสารที่เป็นตัวกลาง (Material medium) แรงดึงดูดระหว่างไอออนจะลดลง เป็นปฏิกิริยาคลับกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ) ของตัวกลาง ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{Force} = \frac{kz^+z^-}{\epsilon r} \quad \dots\dots\dots 3.2$$

จากสมการ 3.2 จะเห็นว่า พลังงานที่ใช้แยกไอออนทั้งสองออกจากกันจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของตัวกลางเพิ่มขึ้น ดังนั้น ตัวทำละลายตัวกลางที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสูงจะส่งเสริมให้การแตกตัวของตัวฤทธิ์ละลาย ไอออนนิกเกิดได้ดีกว่าในตัวทำละลายที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกต่ำกว่า เพราะทำให้แรงดึงดูดระหว่างไอออนลดลงมากกว่า จึงแตกออกจากกันได้ง่ายขึ้น ตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นักมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกน้อยกว่า 5 ($\epsilon < 5$) ไม่สามารถละลายสารประกอบ ไอออนนิกได้ แต่น้ำมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 81.7 ($\epsilon = 81.7$) จะเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบ ไอออนนิก

พลังงานของการเกิดสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง เมื่อตัวฤกษ์ละลายไอออนิกเกิดการแตกตัว (Dissociation) ในตัวทำละลาย พลังงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ขึ้นกับ

1. พลังงานแผลตทิช (Lattice energy) สารประกอนไอออนิกที่มีพลังงานแผลตทิชสูง จะต้องใช้พลังงานในการแยกไอออนบวกและไอออนลบออกจากโครงผลึกสูงค่าย (พลังงานที่ใช้แยกไอออนออกจากกันนี้ มีค่าเท่ากับพลังงานแผลตทิชของผลึกนั้น)

2. พลังงานโซลเวชัน (Solvation energy) เป็นพลังงานที่คายออกมานี้ เมื่อไอออนของตัวฤกษ์ละลายและโมเลกุลของตัวทำละลายยึดเหนี่ยว กัน (Association) ซึ่งเป็นผลมาจากการอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างประจุไฟฟ้าของไอออนกับข้อไฟฟ้าของโมเลกุลตัวทำละลาย

3.4 สมการไอออนิก (Ionic equation)

สมการสำหรับปฏิกิริยาเคมี รวมทั้ง กรด เบส และเกลือ บางครั้งเขียนแสดงในรูปของโมเลกุล ถ้าหากโมเลกุลเป็นอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยา เช่น



สมการนี้ถูกต้องหากต้องการแสดงปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ในปฏิกิริยา แต่เมื่อศึกษาอย่างละเอียดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาของสาร ไอออนิกพบว่าบางไอออนเท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาจะเขียนเฉพาะสูตรของไอออนที่เกิดปฏิกิริยาและโมเลกุลที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น

จากข้อมูลการนำไฟฟ้าของสารละลาย สำหรับสารละลายกรด HNO_3 กับสารละลาย NaOH ในน้ำเมื่อเกิดปฏิกิริยากัน เราสามารถเขียนสมการแสดงไอออนและโมเลกุลที่ปรากฏก่อน และหลังเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้



เรียกสมการ 3.3 นี้ว่า สมการไอออนิกรวม (Total ionic equation)

สำหรับ Na^+ และ NO_3^- ที่ปรากฏหลังเกิดปฏิกิริยาจะเหมือนกัน ก่อนเกิดปฏิกิริยา จึงจะเร้นไว้ไม่ต้องนำมาเขียนในสมการ จะแสดงเฉพาะไอออนที่เกิดปฏิกิริยาเท่านั้น คือ



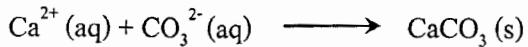
เรียกสมการ 3.4 นี้ว่า สมการไอออนิกสุทธิ (Net ionic equation)

ดังนั้นการเขียนสมการไอออนิก เราสนใจเฉพาะสิ่งที่เปลี่ยนแปลงเป็นสำคัญ จากสมการการลดลงของสมบัติกรด-เบส ซึ่งขึ้นกับปริมาณ H^+ และ OH^- ตามลำดับ เมื่อไอออนทั้งสองนี้รวมกันเป็น H_2O โมเลกุลของ H_2O แตกตัวได้น้อย จึงทำให้ปริมาณของ H^+ และ OH^- ลดลงอย่างมาก การนำไฟฟ้าของสารละลายจะลดลง

เมื่อสารละลายน NH_4Cl กับ NaOH เกิดปฏิกิริยา กัน แสดงได้ดังนี้

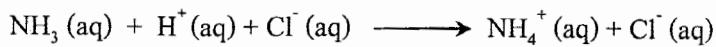


การเกิด NH_3 ไม่เหมือนการเกิด H_2O เพราะ NH_3 แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าน้ำ ตัวอย่างของไอออนที่เกิดการรวมกันเป็นสารที่ไม่ละลาย เช่น

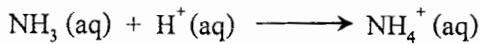


โดย Ca^{2+} อาจมาจากเกลือที่ละลายน้ำ เช่น CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ CO_3^{2-} จาก Na_2CO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ หรือเกลือการ์บอนเนตอื่น ๆ ที่แตกตัวได้ดี

ในบางปฏิกิริยา เป็นการเปลี่ยนสารที่แตกตัวได้น้อยไปเป็นสารที่แตกตัวได้น้อยกว่า เช่น NH_3 เมื่อถูกสะเทินด้วย HCl เขียนสมการ ไอออนนิกรุม ได้เป็น



สมการ ไอออนนิกรูม คือ



เราพิจารณาตั้งแต่ H_2O แตกตัวได้ไม่ดีเท่า NH_3 ดังกล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม การเกิดปฏิกิริยาสะเทินของ NH_3 กับ HCl จะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ดังเช่นปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่ กับเบสแก่

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง H_2CO_3 ซึ่งแตกตัวได้น้อย กับ CaCO_3 เขียนสมการ ไอออนนิกร ได้ดังนี้



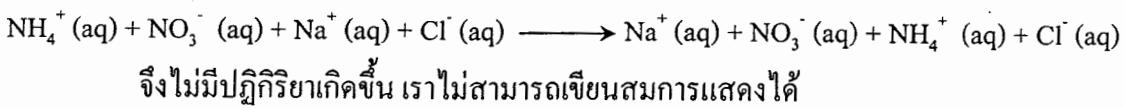
กรด H_2CO_3 ละลายได้ไม่ดีมาก และแตกตัวเป็น H_2O กับแก๊ส CO_2

จะเห็นได้ว่าการเขียนสมการ ไอออนนิกร ระหว่างและแสดงเฉพาะ ไอออนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและสารที่ละลายได้น้อย หรือแตกตัวได้น้อยซึ่งอยู่ในรูปโน้มเลกุล เท่านั้น

ในบางครั้งเมื่อเรานำสารละลายนสองชนิดมาผสมกัน แล้วได้สารที่แตกตัวเป็น ไอออนเดิม ได้ดี เราไม่สามารถเขียนแสดงได้ด้วยสมการ ไอออนนิกร ดังเช่น สารละลายน NH_4NO_3 ผสมกับสารละลายน NaCl ได้ NaNO_3 และ NH_4Cl



สมการนี้ไม่มีความหมาย เพราะเกลือ NaNO_3 และ NH_4Cl ละลายน้ำได้ดีและแตกตัวได้สูง จึงได้เป็น



ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ตรวจวัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย ของแข็ง และของเหลว เพื่อทดสอบว่าสารนั้น ๆ นำไฟฟ้าได้หรือไม่ แล้วนำผลที่ได้มาพิจารณาว่าสารต่าง ๆ เหล่านั้นมีอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบ เช่นไร ต่อไป

วัสดุประสงค์เชิงพุติกรรม

1. ทำการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารและสารละลายได้
2. อธิบายและเปรียบเทียบการแตกตัวเป็นไอออนของสารละลาย โดยอาศัยข้อมูลการนำไฟฟ้า ของสารละลายที่ทดลองได้
3. เขียนสมการ ไอออนนิกรุมและ ไอออนิกสูตรของปฏิกิริยาได้

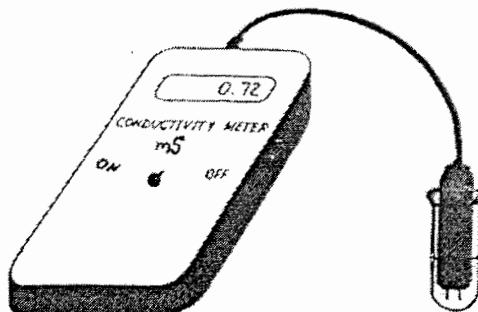
สารเคมี

1. น้ำกลั่นปราศจากไอออน	(Deionized water)
2. น้ำประปา	(Tap water)
3. 95 % C_2H_5OH	(Ethanol)
4. 0.01 M C_2H_5OH	(Ethanol solution)
5. $HC_2H_3O_2$	(Glacial acetic acid)
6. 0.01M $HC_2H_3O_2$	(Acetic acid solution)
7. $C_{12}H_{22}O_{11}$	(Sucrose)
8. 0.01 M $C_{12}H_{22}O_{11}$	(Sucrose solution)
9. NaCl	(Sodium chloride)
10. 0.01 M NaCl	(Sodium chloride solution)
11. 0.01 M $HgCl_2$	(Mercury (II) chloride solution)
12. 0.01 M HCl	(Hydrochloric acid solution)
13. 0.01 M NaOH	(Sodium hydroxide solution)
14. 0.01 M NH_3	(Ammonia solution)
15. 0.01 M NH_2CONH_2	(Urea solution)
16. C_6H_6	(Benzene)
17. 0.01 M H_2SO_4	(Sulfuric acid)
18. 0.1 M Ba(OH) ₂	(Barium hydroxide solution)

19. 0.1 M CuSO ₄	(Copper (II) sulphate solution)
20. 0.1 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	(Copper (II) acetate solution)
21. FeS	(Iron (II) sulfide)
22. 6 M HCl	(Hydrochloric acid solution)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)
2. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดใหญ่ 5 หลอด
3. ขวดน้ำ (Wash bottle) 1 ใบ
4. กระบอกตวง (Graduated cylinder) 10 cm³ 2 ใบ
5. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 cm³ 2 ใบ
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 150 cm³ 1 ใบ
7. จุดประอุ่นท่อน้ำแก๊ส 1 ชุด
8. ตะเกียงบุนเซ่น (Bunsen burner)



ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า

ข้อควรปฏิบัติในการทดลอง

1. การวัดการนำไฟฟ้าของสารประกอบที่เป็นของแข็งนั้น อิเล็กโทรด (Electrode) ของเครื่องวัดการนำไฟฟ้า ต้องสะอาดและแห้ง โดยซับด้วยกระดาษกรอง
2. ก่อนใช้อิเล็กโทรดทุกรั้งต้องล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและทำให้แห้งก่อนทุกรั้ง

3. ใช้สารละลายปริมาตร 10 cm^3 ใส่ในภาชนะขนาดเท่ากันทุกครั้งที่วัดการนำไฟฟ้า
4. จุ่มอิเล็กโตรคลงไปในสารละลาย ให้ความลึกเท่าๆ กันทุกครั้ง และให้หัวมปลายอิเล็กโตรด

วิธีทดลอง

1. ทดสอบการนำไฟฟ้าของสาร

1.1 ทดสอบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไฮอนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ โดยหากเป็นของแข็งให้ตักมา 2 ช้อนที่กำหนดให้ ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ถ้าเป็นสารละลายใช้ 10 cm^3 ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ได้แก่

Deionized water	NaCl
Tap water	0.01 M NaCl (aq)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%	0.01 M HgCl_2 (aq)
0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)	0.01 M HCl (aq)
$\text{H C}_2\text{H}_3\text{O}_2$	0.01 M NaOH (aq)
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.01 M NH_3 (aq)
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	0.01 M NH_2CONH_2 (aq)
0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)	C_6H_6

และจากผลการนำไฟฟ้าของสาร ให้จัดประเภทของสารว่าเป็นสารประเภทอนอิเล็กโตรไอลต์ อิเล็กโตรไอลต์อ่อน หรืออิเล็กโตรไอลต์แก่ พร้อมเขียนสูตรแสดงอนุภาคที่มีในสารละลาย เพื่อสนับสนุนผลการทดลอง

1.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลาย โดยจุ่มอิเล็กโตรดของเครื่องวัดการนำไฟฟ้าไว้ใน Deionized water แล้วหยดสารละลาย 0.01 M KF ลงไป 1 หยด คนสารละลายวัดการนำไฟฟ้า แล้วเติมสารละลาย KF ลงไปทีละหยด คนสารละลายแล้ววัดการนำไฟฟ้าเมื่อเติมสารละลาย KF ทุกหยด จนครบ 6 หยด อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

1.3 ศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อการแตกตัวของสาร โดยวัดการนำไฟฟ้าของ

Glacial acetic acid 10 cm^3

Deionized water 10 cm^3

Benzene 10 cm^3

Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm^3

Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm³

อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

1.4 การนำไฟฟ้าของกรดแก่และกรดอ่อน วัดการนำไฟฟ้าของ 0.01 M HCl 10 cm³
เปรียบเทียบกับ 0.01 M HC₂H₃O₂ 10 cm³
อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2. ศึกษาปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่าง ๆ

2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01 M NaOH

วัดการนำไฟฟ้าของ 0.01 M HCl 10 cm³ และ 0.01 M NaOH 10 cm³ แยกกัน
ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน แบ่งครึ่งสารละลายผสมแล้ววัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลายผสม

2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 HC₂H₃O₂ กับ 0.01 M NH₃

ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่เปลี่ยนสารละลายเป็น 0.01 M HC₂H₃O₂ กับ 0.01 M NH₃

2.3 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H₂SO₄ กับ 0.01 M Ba(OH)₂

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.01 M Ba(OH)₂ 10 cm³ และวัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลาย 0.01 M H₂SO₄ 10 cm³
ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน แบ่งครึ่งสารละลายผสมแล้ววัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลายผสมนั้น

อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2.4 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO₄ กับ 0.1 M H₂S

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.1 M CuSO₄ 10 cm³

ผ่านแก๊ส H₂S ลงไปใน Deionized water 10 cm³ ประมาณ 3 นาที ซึ่งคาดว่า
สารละลายอิ่มตัวแล้ว (เข้มข้นประมาณ 0.1 M) และวัดการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้ (เตรียมแก๊ส
H₂S โดยนำ FeS ประมาณ 15 กรัม ทำปฏิกิริยากับ HCl 6 M 20 cm³)

ผ่านแก๊ส H₂S ลงไปในสารละลาย 0.1 M CuSO₄ 10 cm³ ประมาณ 3 นาที และวัด
การนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้ อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ กับ 0.1 M H₂S

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ และผ่านแก๊ส H₂S ลงไปใน

สารละลายน้ำ $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ประมาณ 3 นาที วัดการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำที่ได้ ยืนยันการทดลองที่สังเกตได้

**รายงานผลการทดลอง
สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโคลเวเลนต์และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก**

ชื่อผู้รายงาน.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 2.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การนำไฟฟ้าของสารละลายน ผลการทดลอง

1.1 จากผลการทดสอบการนำไฟฟ้าของสารให้เขียนแสดงอนุภาคขององค์ประกอบต่างๆ ในสาร โดยอาจเป็นโมเลกุล ไฮอ่อน หรือหิ้งสองอย่าง และจำแนกสารละลายนจากการทดลองออกเป็นกลุ่มนอนอิเล็กโทรไอล์ต์, อิเล็กโทรไอล์ต์อ่อน และอิเล็กโทรไอล์ต์แก่

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})	ชนิดของอนุภาคของสาร
Deionized water		
Tap water		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%		
0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$		
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$		
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)		
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)		
0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)		
NaCl (s)		
0.01 M NaCl (aq)		
0.01 M HgCl_2 (aq)		
0.01 M HCl (aq)		
0.01 M NaOH (aq)		
0.01 M NH_3 (aq)		
0.01 M NH_2CONH_2 (aq)		
C_6H_6		

ของแข็งที่นำไฟฟ้าได้ ได้แก่.....

ของแข็งที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทร ไลต์แก่ ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทร ไลต์อ่อน ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นนอนอิเล็กโทร ไลต์ ได้แก่.....

อธิบายผลการทดลองที่ได้.....

1.2 ผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 1 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 2 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 3 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 4 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 5 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 6 หยด mS cm^{-1}

อธิบายผลการทดลองที่ได้.....

1.3 ผลของตัวทำละลายต่อการแตกตัวเป็นไอออนของ glacial acetic acid

การนำไฟฟ้าของ Glacial acetic acid mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Benzene mS cm^{-1}

Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm^3 mS cm^{-1}

Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm^3 mS cm^{-1}

อธิบายผลการทดลองการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ.....

1.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})

$0.01 \text{ M H}_2\text{SO}_4$

$0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$

จากการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ 0.01 M HCl กับ $0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$

จะอธิบายเหตุผลเปรียบเทียบกัน

2. ปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่างๆ

2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01M NaOH

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M HCl	
0.01 M NaOH	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไอออนิกรวม แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิ แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จงอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลาย แตกต่างกันระหว่างก่อนผสม และหลังผสม

2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ กับ 0.01M NH_3

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	
0.01M NH_3	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไออ่อนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H_2SO_4 กับ 0.01 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M H_2SO_4	
0.01 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไออ่อนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO_4 กับ 0.1 M H_2S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.1 M CuSO_4	
0.1 M H_2S	
สารละลายหลังผสม	

สมการไอลอนิกรวมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไออ้อนนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

ขอเชิญชวนเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสม และหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₅O₂)₂, กับ 0.1M H₂S (g)

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M Cu ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) ₂	
สารละลายหลังผสม 0.01 M Cu ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) ₂ กับ 0.1M H ₂ S (g)	

สมการ ໄວອອນิกรວມແສດງກາຮເກີດປຸງກົມືຢາ ຄື່ອ

สมการ ໄວອອນນิกສຸທົມແສດງກາຮເກີດປົກກົດຍາ ຄືອ

จงอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสานและหลังผสาน

วิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

คำถาม

1. จงแสดงส่วนสำคัญ (ไอออน หรือ โมเลกุล) ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสารละลายนอกสารต่อไปนี้

ตัวอย่าง	BaSO_4	: $\text{BaSO}_4(s)$
	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$: $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$
	NaCl	: Na^+, Cl^-
1.1	$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$:
1.2	Ba(OH)_2	:
1.3	Cr(OH)_3	:
1.4	KClO_3	:
1.5	HCOOH	:
1.6	H_3PO_4	:
1.7	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:
1.8	HBr	:
1.9	CH_3OH	:
2.0	PbCO_3	:

2. จงเขียนสมการ ไอออนิก แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่อไปนี้ โดยแสดงทั้งสมการ ไอออนิกรวมและสมการ ไอออนิกสุทธิ และถ้าหากท่านคิดว่าไม่เกิดปฏิกิริยาข้อให้แสดงเหตุผลว่าเป็นเพราะเหตุใด

2.1 Ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ กับ Potassium hydroxide (KOH)

.....
.....

2.2 Barium chloride (BaCl_2) กับ Sodium carbonate (Na_2CO_3)

.....
.....

2.3 Aluminium nitrate $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ กับ Ammonia solution (NH_3)

.....
.....

2.4 Hydrochloric acid (HCl) กับ Zinc metal (Zn)

.....
.....

2.5 Hydrochloric acid (HCl) กับ Magnesium acetate $(\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2)$

.....
.....

2.6 Zinc nitrate ($Zn(NO_3)_2$) กับ Sodium hydroxide ($NaOH$) มากเกินพอ

2.7 Nitric acid (HNO_3) กับ Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$)

2.8 Silver nitrate ($AgNO_3$) กับ Sodium chloride ($NaCl$)

2.9 Silver chloride ($AgCl$) กับ Nitric acid (HNO_3)

1.10 Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) กับ Sulfuric acid (H_2SO_4)

3. ถ้าต้องการแยกสารเหล่านี้ออกจากกัน นักศึกษามีวิธีทำได้อย่างไร

3.1. Ba^{2+} กับ Ag^+

3.2 Ba^{2+} กับ Al^{3+}

4. จงอธิบายเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไอออนิกและสารประกอบ
โคเวเลนต์พร้อมให้เหตุผลประกอบการอธิบาย

เฉลยผลการทดลองและตอบคำถามบทปฎิบัติการ
ตอนที่ 1 การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

เฉลยคำถามก่อนการทดลอง

1. สภาพละลายน้ำของสาร เป็นดังนี้

สาร	สภาพละลายน้ำ ($\text{g}/\text{H}_2\text{O} 100 \text{ g}$)		
	ที่ 0°C	ที่ 20°C	ที่ 30°C
NaHCO_3	7.0	9.6	11.1
NH_4Cl	29.4	37.2	41.4
NH_4HCO_3	11.9	21.7	28.4

2. ประโยชน์ของ NaHCO_3 ในบ้านเรือนและทางการค้า ได้แก่ ใช้ทำผงฟู ยาลดกรดในกระเพาะอาหาร โซดาถังท้อง ยาดับกันลิ้น และใช้ในเครื่องดับเพลิงที่ให้แก๊ส CO_2

เฉลยผลการทดลอง

1. การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ตัวอย่างผลการทดลอง

1.1 ผลจากการสังเกตเมื่อเกิดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ ในสารละลาย แอมโมเนียมเข้มข้น คือ มี NaCl ส่วนที่ไม่ละลายเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้ของแข็งตกตะกอนสารละลายใส่ไม่มีสี

1.2 ผลจากการสังเกต เมื่อเติมน้ำแข็งแห้งลงไปในสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น คือ เกิดไอของ CO_2 อุณหภูมิของสารละลายลดลงอย่างรวดเร็วเมียดน้ำแข็งข้างบีกเกอร์ ใส่สาร แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นเกล็ดน้ำแข็ง สารละลายในบีกเกอร์เกิดผลึกสีขาว

1.3 อุณหภูมิโดยประมาณเมื่อปราฏิกของผลผลิตคือ -20°C

1.4 การหาผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3

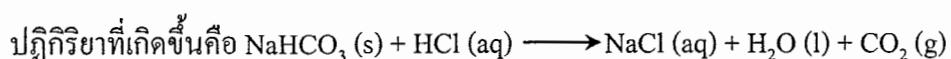
การทดลอง	ตัวอย่างผลการทดลอง
น้ำหนักของชามระเหย	50.70 g
น้ำหนักของชามระเหย + NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต	57.80 g
น้ำหนักของ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต (ผลผลิตจริง)	7.10 g
น้ำหนักของ NaCl ที่เป็นสารตั้งต้น	10.00 g
ผลผลิตตามทฤษฎีของ NaHCO_3	14.35 g
ผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3 ที่เตรียมได้	49.47 %

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

การทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง NaHCO_3 กับ NaCl

2.1 ทดสอบด้วยสารละลายน 3M HCl

หยด 3M HCl ลงในสาร	ผลการทดลองที่สังเกตได้
NaHCO_3	เกิดฟองแก๊ส และ NaHCO_3 ละลาย
NaCl	ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง

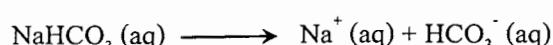


แต่ NaCl ไม่เกิดปฏิกิริยากับกรด HCl

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรด

สารละลายน	ผลการทดลองที่สังเกตได้เมื่อยดเมทิลเรดลงไป
NaHCO_3	สารละลายนเป็นสีเหลือง
NaCl	สารละลายนเป็นสีส้ม

เมื่อย NaHCO_3 ละลายน้ำ สารละลายนจะมีสมบัติเป็นเบส ตามสมการ



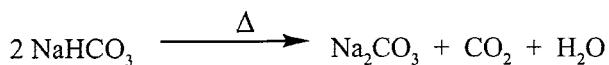
ดังนั้นสารละลายนจึงให้สีเหลืองกับเมทิลเรด แต่ NaCl ละลายน้ำ สารละลายนเป็นกลาง ไม่เปลี่ยนสีของเมทิลเรด (สีส้ม)

เฉลยคำตาม

1. สามารถเตรียม NaHCO_3 ได้จากปฏิกิริยาผ่านแก๊ส CO_2 ลงไปในสารละลายน้ำ NaOH ที่เข้มข้น ดังนี้

$$\text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{NaHCO}_3$$

2. Na_2CO_3 เป็นสารสำคัญสารหนึ่งในทางอุตสาหกรรมซึ่งเรียกว่า โซดาแอช (Soda ash) เราสามารถเตรียมสารนี้ได้ โดยการให้ความร้อนอย่างสูงแก่ NaHCO_3 จนเจริญสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้ ได้ดังนี้



3. HCO_3^- เป็นไอออนที่สำคัญโดยเป็นส่วนประกอบหลักในระบบบัฟเฟอร์ที่ควบคุม pH ของมนุษย์ให้คงที่ เราสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

การรักษาระดับ pH ของเลือด

สัตว์ชั้นสูงทุกชนิดต้องมีระบบการหมุนเวียนเพื่อเติมพลังให้แก่กระบวนการแห่งชีวิต และกำจัดของเสีย ในร่างกายของคนกระบวนการอันสำคัญนี้เกิดขึ้นในของไหลที่เรียกว่าเลือด ซึ่งมีอยู่ในร่างกายประมาณ 5 L (10.6 ไพนต์) โดยเนื้อสัมภาระร่างกายผู้ใหญ่ เลือดที่หมุนเวียนถูกองในเนื้อเยื่อจะนำออกซิเจนและอาหารไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ พร้อมทั้งกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียอื่นๆ ธรรมชาติได้คิดคันวิธีอันทรงประสิทธิภาพที่สุดที่จะช่วยป้องกันออกซิเจนและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยระบบบัฟเฟอร์ร่วมกันหลายระบบ

เลือดเป็นระบบที่ซับซ้อนอย่างยิ่ง แต่เพื่อความสะดวกเราจะพิจารณาเฉพาะส่วนประกอบที่สำคัญเพียง 2 ส่วน คือ พลasmaleioดและเซลล์เม็ดเลือดแดงหรืออิริโโทรไซด์ (erythrocyte) เท่านั้น ในพลาสมามีสารประกอบออย่างหลากหลายชนิด รวมทั้ง โปรตีน ไอออนของโลหะ และฟอสเฟตอนินทริยชนิดต่างๆ ในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีโมเลกุลชื่อโมโนโกลบิน และเอนไซม์ คาร์บอนิกแอกไซเดรส (carbonic anhydrase) ซึ่งเร่งทึ้งปฏิกิริยาการเกิดและการสลายตัวของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ดังสมการ



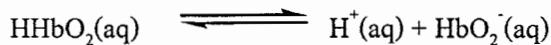
สารภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีเยื่อหุ้มไม่ให้สัมผัสถกับของไหลนอกเซลล์ (พลาสมาเลือด) เยื่อนี้ย้อมให้โมเลกุลบางชนิดแพร่ผ่านได้

pH ของพลาสมามีค่า 7.40 โดยระบบบัฟเฟอร์หลายระบบ ที่สำคัญที่สุดคือระบบ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ ในอิริโโทรไซด์ ซึ่งมี pH 7.25 ระบบบัฟเฟอร์หลัก คือ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ และมีโมโนโกลบิน ชีโมโกลบินคือโมเลกุลอันซับซ้อนของโปรตีนชนิดหนึ่ง มีมวลต่อ

โนลประมาณ 65,000 g และมีปรอตอนที่แตกตัวได้จำนวนหนึ่ง แต่โดยทั่วไปเรามักถือว่าสารนี้เป็นกรดโมโนโปรติก (monoprotic acid) ที่มีสูตร HHb และแตกตัวดังสมการ



เมื่อ HHb แทนโมเลกุลชีโมโกลบินและ Hb^- แทนคู่เบสของ HHb เมื่อออกซิเจนรวมตัวกับชีโมโกลบินจะได้ออกซิชีโมโกลบิน (HHbO_2) ซึ่งเป็นกรดที่แก่กว่า HHb



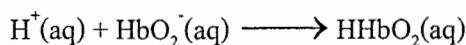
ในภาพ 1(ก) จะเห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากเมแทบoliสซึมแพร่เข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงแล้วจะถูกคาร์บอนิกแอโนไฮเดรสเปลี่ยนเป็น H_2CO_3 อย่างรวดเร็ว ดังนี้



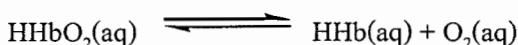
การแตกตัวของกรดคาร์บอนิกดังสมการ



มีผลสำคัญ 2 ประการคือ ประการแรก ไฮโดรเจนคาร์บอนเนต ไอออนจะแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงและถูกพลาスマเลือดพาไปยังปอด นี่คือกลไกหลักในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ประการที่สอง H^+ ไอออนที่เกิดขึ้นจะทำให้สมดุลเคลื่อนไปทางด้านของโมเลกุลออกซิชีโมโกลบินที่ยังไม่แตกตัว คือ

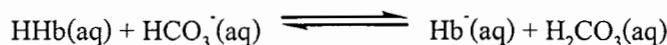


เนื่องจาก HHbO_2 ถ่ายออกซิเจนได้มากกว่าคู่เบส (HbO_2^-) สมดุลของปฏิกิริยา

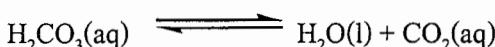


จึงเคลื่อนจากซ้ายไปขวา ถ่ายออกซิเจนโมเลกุลแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงแล้วถูกเซลล์อื่นนำไปใช้ในเมแทบoliสซึม

เมื่อเลือดคำเคลื่อนกลับเข้าสู่ปอด กระบวนการทั้งหมดข้างต้นก็จะย้อนกลับ (ภาพที่ ก.6 (ข)) คราวนี้ไฮโดรเจนคาร์บอนเนต ไอออน จะแพร่เข้าสู่อิริโทริชีต์แล้วทำปฏิกิริยากับชีโมโกลบินให้กรดคาร์บอนิก



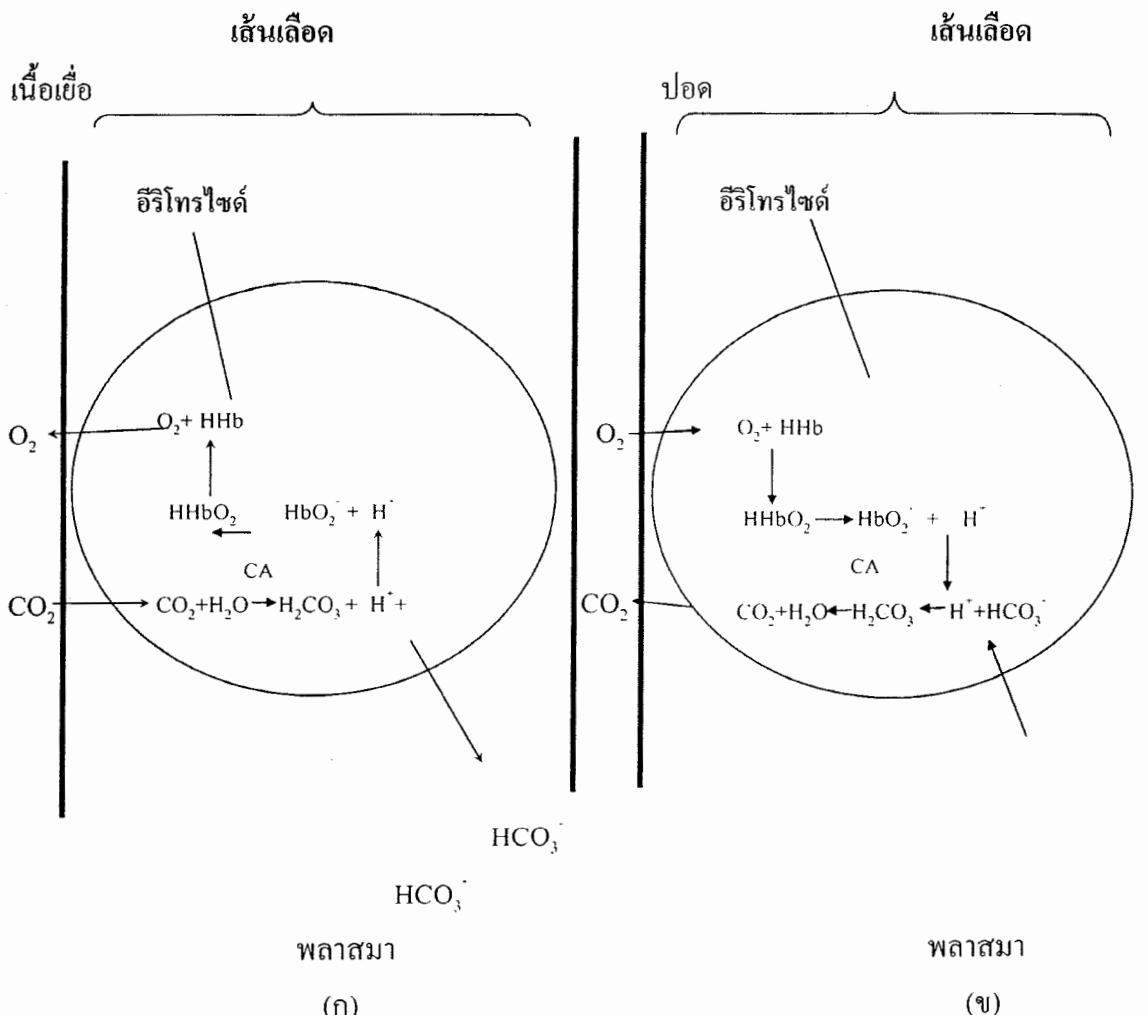
กรดที่เกิดขึ้นนี้ส่วนใหญ่จะถูกคาร์บอนิกแอโนไฮเดรสเปลี่ยนให้เป็น CO_2 ดังสมการ



การบันไดออกไซด์จะแพร่เข้าสู่ปอดแล้วในที่สุดก็ออกจากร่างกายโดยการหายใจออก นอกจากนี้ การเกิด Hb^- ไอออน (จากปฏิกิริยาระหว่าง HHb กับ HCO_3^- ดังกล่าวข้างต้น) ก็จะทำให้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาในปอดได้ดีขึ้น



ทั้งนี้ เพราะ Hb^+ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ดีกว่า HHb เมื่อเลือดแดงให้กลับไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย วัฏจักรนี้ก็จะเกิดขึ้นซ้ำอีก



ภาพที่ ก.6 การขนส่งและการถ่ายออกซิเจน-การรับอนุโคอิโซไซด์ในเลือด

จากภาพ (ก) ความคันย่อยของ CO_2 ในเนื้อเยื่อสูงกว่าในพลาสma CO_2 จึงแพร่เข้าสู่เส้นเลือด และเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง แล้วจึงถูกเน盎ไซม์คาร์บอนิกไอกไซเดรต (CA) เปลี่ยนให้เป็นกรดcarbonิก โปรตองจากกรดcarbonิกจะรวมตัวกับ HbO_2^- ไอออนกลายเป็น HHbO_2^- ซึ่งในที่สุดจะแตกตัวเป็น HHb กับ O_2 เนื่องจากความคันย่อยของ O_2 ในเซลล์เม็ดเลือดแดงสูงกว่าในเนื้อเยื่อ O_2 จึงแพร่องอกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้าสู่เนื้อเยื่อ ไฮโครเจนคาร์บอนेट ไอออนก์แพร่องอกจากเซลล์เม็ดเลือดแดง เช่นกัน และถูกพลาสmaพาไปยังปอด (x) ในปอดกระบวนการทั้งหมดจะย้อนกลับ O_2 ในปอดซึ่งมี

ความดันย่อยสูงกว่าในเซลล์เม็ดเลือดแดงจะแพร่เข้าสู่เซลล์แล้วรวมตัวกับ HHb เป็น HHbO₂ โปรตอนของ HHbO₂ จะรวมตัวกับใบкар์บอนเนต ไอออนที่แพร่จากพลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง กล้ายเป็นกรดคาร์บอนิก คาร์บอนิกแอนไฮเดรตจะเปลี่ยนกรดคาร์บอนิกเป็น H₂O และ CO₂ แก๊ส CO₂ จะแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้าสู่ปอดแล้วออกจากร่างกายทางลมหายใจ

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแผลต์กิจ

2.1 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ (C_c)

ตัวอย่างการอ่านอุณหภูมิโดยเทอร์มомิเตอร์อันที่ 1 32.0°C อันที่ 2 32.1°C

การแก้ไขอุณหภูมิที่อ่านได้โดยเทอร์มอมิเตอร์อันที่ 2 ต้องลบด้วย 0.1°C เพื่อเมื่อใช้อันที่ 1 เป็นเกณฑ์

ตัวอย่างผลการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของน้ำเย็น	50 g	50 g
น้ำหนักของน้ำอุ่น	50 g	50 g
อุณหภูมิของน้ำเย็น (T_1)	32.1°C	32.0°C
อุณหภูมิของน้ำอุ่น (T_2)	50.0°C	49.9°C
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม (T_f)	40.0°C	39.9°C
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำเย็น ($T_f - T_1$)	7.9°C	7.9°C
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำอุ่น ($T_2 - T_f$)	10°C	10°C
ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออกมา	2,092 J	2,092 J
ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ	1,652.68 J	1,652.68 J
ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ	$439.32^{\circ}\text{C}^{-1}$	$439.32^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์	$55.61^{\circ}\text{C}^{-1}$	$55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์เฉลี่ย (C_c)	$55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$	

แสดงวิธีคำนวณหาความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 1

ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออกมา

$$Q = ms\Delta T$$

$$= (50.09 \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (50 - 40) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 2,092 \text{ J}$$

แต่ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออก = ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ + ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ

$$\text{แทนค่า } 2,092 \text{ J} = (50.09 \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (40.0 - 32.1) \text{ }^{\circ}\text{C} + C_c (40.0 - 32.1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore C_c = 55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\therefore \text{ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์} (C_c) = 55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

2. การหาค่าเอนทัลปีของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})

2.1 ผลจากการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนัก NaCl	8.0 g	9.0 g	10.0 g
น้ำหนักน้ำ	100.0 g	100.0 g	100.0 g
น้ำหนักของสารละลายน้ำ (NaCl + น้ำ)	108.0 g	109.0 g	110.0 g
อุณหภูมิของน้ำ (T_3)	32.1 °C	32.1 °C	32.2 °C
อุณหภูมิสารละลายน้ำ (T_4)	31.2 °C	31.0 °C	31.0 °C
ผลต่างของอุณหภูมิ ($\Delta T = T_4 - T_3$)	- 0.9 °C	- 1.1 °C	- 1.2 °C
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})	+3.34 kJ mol ⁻¹	+3.66 kJ mol ⁻¹	+3.62 kJ mol ⁻¹
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln}) โดยเฉลี่ย	+ 3.54 kJ mol ⁻¹		

แสดงวิธีคำนวณหาเอนทัลปี (ΔH_{soln}) ของสารละลายน้ำ NaCl โดยนำข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 นาคำนวณ

มีตัวอย่างการคำนวณอยู่ในบทเรียนสำเร็จรูปของนักศึกษาแล้ว

นำค่า ΔH_{soln} โดยเฉลี่ยของสารละลายน้ำ NaCl ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่หาได้จาก สมการ 2.9 (วัฏจักรบอร์น – ชาเบอร์)

2.2 การคำนวณ ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ตามสมการ 2.9 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Delta H_{soln} &= \Delta H_{sub} + \frac{1}{2} \Delta H_{diss} + \Delta_{IE} + \Delta H_{EA} + \Delta H_{hyd\ Na} + \Delta H_{hyd\ Cl} - \Delta H_f^0 \\ &= 108.8 + 121.3 + 493.7 - 364.0 - 401.7 - 363.6 + 410.0 \\ \therefore \text{ค่า } \Delta H_{soln} &= +4.5 \text{ kJmol}^{-1}\end{aligned}$$

2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl จากการทดลอง (ข้อ 2.1) และการคำนวณได้ (ข้อ 2.2)

จากสมการ 2.9 ค่า ΔH_{soln} ของ NaCl = +4.5 kJ mol⁻¹

จากการทดลองครั้งนี้ได้ ค่า ΔH_{soln} ของ NaCl = +3.54 kJ mol⁻¹

3. คำนวณหาค่าพลังงานแล็ตทิชของ NaCl (ΔH_{latt})

3.1 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl (สมการ 2.10)

โดยนำค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่ทดลองได้ในข้อ 2.1 มาแทนค่าพร้อมข้อมูลที่กำหนดให้

$$\begin{aligned}\text{จาก } \Delta H_{latt} &= \Delta H_{soln} + \Delta H_{hyd\ Na} + \Delta H_{hyd\ Cl} \\ &= +3.54 + (-401.7) + (-363.6) \\ \therefore \Delta H_{latt} &= -761.8 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

3.2 ค่า ΔH_{latt} ของ NaCl ตามสมการ บอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

$$\text{ได้ค่า } \Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl} = -755 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ผลการเปรียบเทียบ ΔH_{latt} ของ NaCl จากการทดลองหาค่า ΔH_{soln} ของ NaCl และนำไปแทนค่าในสมการ 2.10 กับการคำนวณจากสมการบอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

$$\Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl ที่คำนวณได้จาก } \Delta H_{soln} = -761.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl ที่คำนวณจากสมการบอร์น-ແلنเด} = -755 \text{ kJ mol}^{-1}$$

คำแนะนำ

การทดลองครั้งนี้ใช้แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย ๆ อาจทำให้ระบบมีการถ่ายเทความร้อนได้ผลการทดลองจึงอาจคลาดเคลื่อนได้

เคล็ดคำถาม

1. จงให้นิยามของคำต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี = 4.184 จูด

1.2 ความร้อนจำเพาะของสาร หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารนั้น 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

1.3 ความถูกความร้อนของแคลอริมิเตอร์ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องทำให้แคลอริมิเตอร์ พร้อมกับอุปกรณ์ที่จำเป็น มีอุณหภูมิ เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

1.4 การเปลี่ยนแปลงแบบคูคูกลีนพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH ΔH เป็น +

1.5 การเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH ΔH เป็น -

2. เอนทัลปีของ การละลายของ NaCl ในการทดลองครั้งนี้ เป็นค่าคงที่หรือไม่ เพราะเหตุใด (จะเป็นค่าคงที่ เพราะเป็นการคิดต่อ 1 มอล ของ NaCl)
3. ในการทดลองครั้งนี้ หากค้านอกของถ่วงสไตร์โฟมเปียกผลจะเป็นอย่างไร (อุณหภูมิของสารละลายในแค藻อร์มิเตอร์ไม่น่าจะคงที่)
4. การคำนวณหาพลังงานแผลตพิชของผลึก MgO และเขียนวัฏจักร บอร์น-ชาร์เบอร์มาถ่วง (มีตัวอย่างอื่นแล้วในเนื้อหาบทเรียนสำเร็จรูปสำหรับนักศึกษา)

ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโภเวลเลนต์และสมการไฮอ่อนิก

1. การนำไฟฟ้าของสารที่ 25°C

ตัวอย่างผลการทดลอง

1.1 ผลการทดสอบการนำไฟฟ้าของสาร

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})	ชนิดของอนุภาคของสาร
1. Deionized water	0.00	H_2O (l)
2. Tap water	0.24	H_2O (l), Cl^- (aq), SO_4^{2-} (aq) และอื่น ๆ ปริมาณเล็กน้อย
3. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%	0.00	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)
4. 0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)	0.00	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)
5. $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (l)	0.00	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (l)
6. 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.27	H_3O^+ (aq), $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ (aq)
7. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)	0.00	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)
8. 0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)	0.00	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)
9. NaCl (s)	0.00	NaCl (s)
10. 0.01 M NaCl (aq)	1.05	Na^+ (aq), Cl^- (aq)
11. 0.01 M HCl (aq)	3.08	H_3O^+ (aq), Cl^- (aq)
12. NaOH (s)	0.00	NaOH (s)
13. 0.01 M NaOH (aq)	2.00	Na^+ (aq), OH^- (aq)
14. 0.01 M NH_3 (aq)	0.23	NH_4^+ (aq), OH^- (aq)
15. 0.01 M NH_2CONH_2 (aq)	0.00	NH_2CONH_2 (aq)
16. C_6H_6 (l)	0.00	C_6H_6 (l)

ของแข็งที่นำไฟฟ้าได้ ไม่มี

ของแข็งที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, NaCl , NaOH และ C_6H_6 ซึ่งเป็นของเหลว

สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ ได้แก่ 0.01 M NaCl , 0.01 M HCl , 0.01 M NaOH

สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน ได้แก่ Tap water, 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$, 0.01 M NH_3

สารละลายน้ำที่เป็นนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ Deionized water, C₂H₅OH 95%, 0.01 MC₂H₅OH, HC₂H₃O₂, 0.01 M C₁₂H₂₂O₁₁, 0.01 M NH₂CONH₂

1.2 ผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 1 หยด	0.009
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 2 หยด	0.012
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 3 หยด	0.017
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 4 หยด	0.019
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 5 หยด	0.022
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 6 หยด	0.024

อธิบายผลการทดลองที่ได้คือ เมื่อความเข้มข้นของ KF มากขึ้นในสารละลายน้ำ ไอออนของ K⁺ และ F⁻ มากขึ้น จึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

1.3 ผลของตัวทำละลายต่อการแตกตัวเป็นไอออนของ Glacial acetic acid

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
Glacial acetic acid	0.000
Deionized water	0.002
Benzene	0.000
Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm ³	0.485
Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm ³	0.000

อธิบายผลการทดลองการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ คือ glacial acetic acid (HC₂H₃O₂) ละลายได้ใน Deionized water (H₂O) แล้วแตกตัวดังสมการ



สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน แต่ HC₂H₃O₂ ไม่ละลายใน benzene (C₆H₆) ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จึงไม่สามารถนำไฟฟ้าได้

1.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำและกรดอ่อน

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M H_2SO_4	5.090
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	0.271

จากการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ 0.01 M HCl กับ $0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ อธิบายเหตุผลเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

สารละลายน้ำ H_2SO_4 เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เพราะเมื่อละลายน้ำแล้ว H_2SO_4 แตกตัวให้ไอออนทั้งหมด 100% ในขั้นที่ 1 และแตกตัวได้มากในขั้นที่ 2 จนอาจถือว่า H_2SO_4 แตกตัวได้หมดในน้ำ คือ



แต่สารละลายน้ำ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน เพราะแตกตัวเป็นไอออนไม่หมดดังสมการ

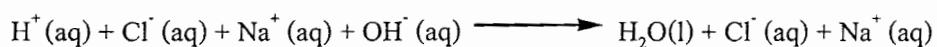


2. ปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่างๆ

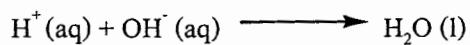
2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01 M NaOH

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M HCl	3.08
0.01 M NaOH	2.00
สารละลายน้ำและผสม	0.53

สมการไอออนิกรวม แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



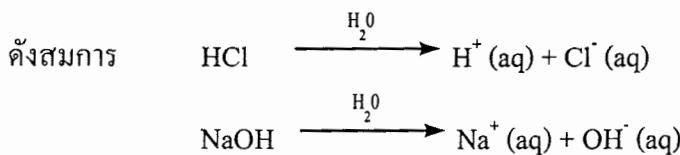
สมการไอออนิกสุทธิ แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำและผสมและหลังผสม คือ

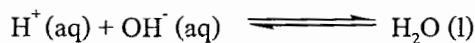
ก่อนผสม

สารละลายน้ำ HCl และ NaOH เมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็นไอออนทั้งหมด



หลังผสม

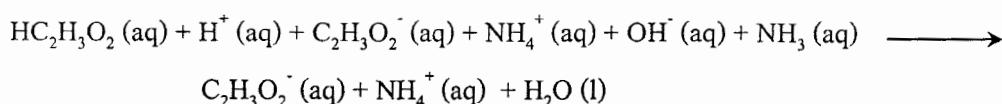
H^+ และ OH^- ซึ่งนำไฟฟ้าได้เกิดปฏิกิริยา กันได้ H_2O ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนเพียงบางส่วน จึงทำให้สารละลายน้ำไฟฟ้าได้ลดลง



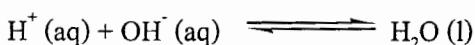
2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ กับ 0.01M NH_3

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.271
0.01 M NH_3 (aq)	0.232
สารละลายน้ำ	1.745

สมการ ไอออนนิกรูมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สมการ ไอออนนิกสุทธิ์แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

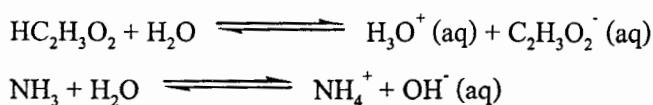


สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลัง

ผสม

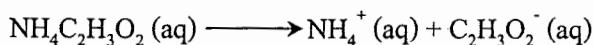
ก่อนผสม

สารละลายน้ำ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ และ NH_3 เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน เนื่องจากแตกตัวเป็นไอออนไม่หมด ดังสมการ



หลังผสม

H^+ และ OH^- ทำปฏิกิริยาได้ H_2O ซึ่งแตกตัวน้อยแต่ $HC_2H_3O_2$ และ NH_3 ทำปฏิกิริยากันได้ $NH_4C_2H_3O_2$ ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนหมุด



2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H_2SO_4 กับ 0.01 M $Ba(OH)_2$

สาร	การนำไฟฟ้า ($mS\ cm^{-1}$)
0.01 M H_2SO_4	5.090
0.01 M $Ba(OH)_2$	16.020
สารละลายน้ำ	0.023

สารละลายน้ำ

สมการไอออนนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สมการไออนนิกสูตรแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแตกต่างกันระหว่างก่อนผสมและหลัง

ผสม คือ

ก่อนผสม

สารละลายน้ำ H_2SO_4 และ $Ba(OH)_2$ เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เพราะแตกตัวให้ไอออนหัวน้ำในน้ำจึงนำไฟฟ้าได้ดี

หลังผสม

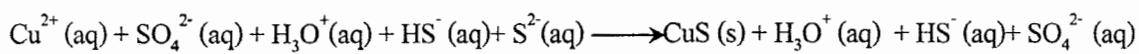
H^+ และ OH^- รวมกันเป็น H_2O แตกตัวไม่หมุดและ $Ba^{2+} \text{ (aq)}$ กับ $SO_4^{2-} \text{ (aq)}$

เกิดปฏิกิริยากันได้ $BaSO_4$ เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ทำให้ปริมาณไอออนในสารละลายน้ำลดลง สารละลายน้ำจึงนำไฟฟ้าได้น้อยลง

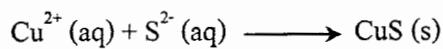
2.4 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO₄ กับ 0.1 M H₂S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.1 M CuSO ₄	1.306
0.1 M H ₂ S	0.119
สารละลายน้ำสีฟ้า	5.300

สมการ ไอออนิกรอมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

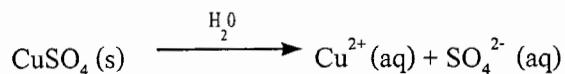


สมการ ไอออนิกสูทช์แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

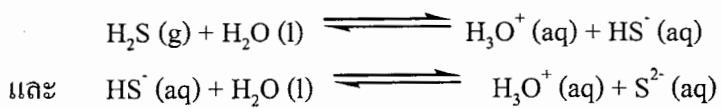


จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำต่างกัน ระหว่างก่อนผสม และหลังผสม ได้ดังนี้

CuSO₄ เมื่อละลายน้ำสารละลายเป็นอิเด็กโโทร ไลต์แก่ เพราะแตกตัวให้ไอออน หักหมุด ดังสมการ

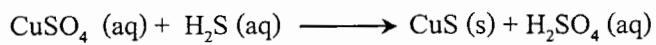


สำหรับ H₂S เมื่อละลายน้ำสารละลายเป็นอิเด็กโโทร ไลต์อ่อน เพราะแตกตัวให้ ไอออนเพียงบางส่วน ดังสมการ

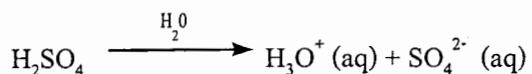


เมื่อนำสารละลาย CuSO₄ มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย H₂S จะเกิดปฏิกิริยา ดัง

สมการ



ถึงแม่จะได้ตะกอน CuS แต่ H₂SO₄ เป็นกรดแก่แตกตัวให้ไอออนในน้ำได้เกือบ 100% คือ

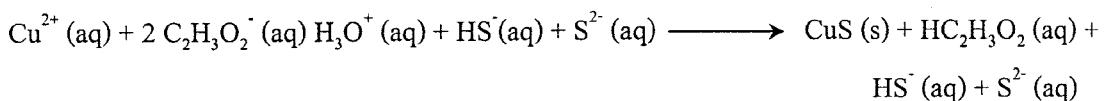


จากการแตกตัวของ H₂SO₄ ทำให้ได้ H⁺ (ซึ่งรวมกับ H₂O ได้ H₃O⁺) และ SO₄²⁻ จำนวนมาก H₂S ในรูปโมเลกุลลดลง การนำไฟฟ้าของสารละลายผสมจึงสูงขึ้น

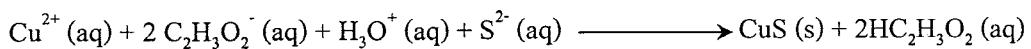
2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ กับ 0.1 M H₂S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
0.1 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	3.830
0.1 M H ₂ S	0.119
สารละลายผสม	0.905

สมการ ไอออนนิกรอมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

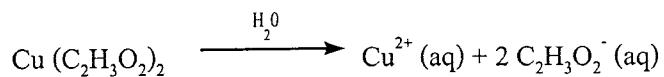


สมการ ไอออนนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

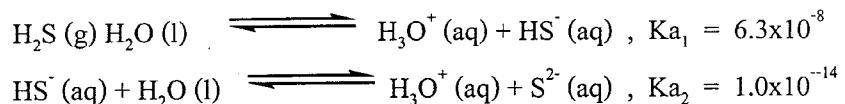


อธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสม และหลังผสม ดังนี้

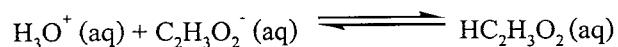
Cu (C₂H₃O₂)₂ ละลายนำไฟฟ้าตัวเดียว ไอออนทั้งหมด สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ดี เป็นอิเล็กโโทรໄโลต์ แก่ ดังสมการ



แต่สารละลาย H₂S ละลายนำไฟฟ้าตัวเดียว ไอออนเพียงบางส่วน บางส่วนเป็น H₂S จึงเป็นอิเล็กโโทรໄโลต์ อ่อน



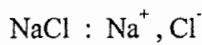
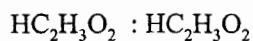
เมื่อนำสารละลาย Cu(C₂H₃O₂)₂ มาผสมกับสารละลาย H₂S และ H₃O⁺ จากสารละลาย H₂S จะทำปฏิกิริยากับ C₂H₃O₂⁻ จากสารละลาย Cu (C₂H₃O₂)₂ ได้โน้มถี่ HC₂H₃O₂ ดังสมการ



สารละลายผสมจึงมีไอออนลดลง สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้น้อยลง เมื่อเทียบกับสารละลาย Cu(C₂H₃O₂)₂ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารละลาย H₂S เพราะ HC₂H₃O₂ (aq) แตกตัวได้ดีกว่า H₂S นั้นเอง (K_a ของ HC₂H₃O₂ = 1.75 × 10⁻⁵)

ເຄລຍຄໍາຄານ

1. ແສດງສ່ວນສຳຄັນ (ໄອອອນ ພຣີອ ໂມເລກຸດ) ທີ່ເປັນອົງກໍປະກອບສ່ວນໃຫຍ່ໃນສາຮລະລາຍຂອງສາຮຕ່ອໄປນີ້

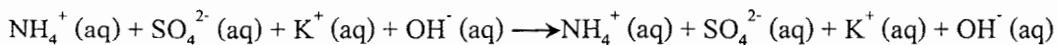


$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$: NH_4^+ , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	H_3PO_4 : H^+ , H_2PO_4^- , PO_4^{3-} , H_3PO_4
Ba(OH)_2 : Ba^{2+} , OH^-	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: Al^{3+} , SO_4^{2-}
Cr(OH)_3 : $\text{Cr(OH)}_3(s)$	HBr : H^+ , Br^-
KClO_3 : K^+ , ClO_3^-	CH_3OH : CH_3OH
HCOOH : H^+ , HCOO^- , HCOOH	PbCO_3 : $\text{PbCO}_3(s)$

2. ເຈີນສາມກາຣໄອອອນິກ ແສດງກາຣເກີດປົກົກີຣີຍາຮະຫວ່າງສາຮ ໂດຍແສດງທີ່ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ ແລະ ສາມກາຣໄອອອນິກສຸທີ ແລະ ຄ້າຫາກຄືດວ່າ ໄນເກີດປົກົກີຣີຍາໃຫ້ແສດງເຫດຜລວ່າ ເປັນພູຮະເຫດໄດ

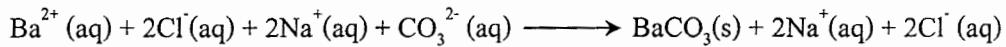
2.1 Ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ກັບ Potassium hydroxide (KOH)

ໄມ່ສາມາດເພີ່ມສາມກາຣໄອອອນິກໄດ້ພູຮະ ໄອອອນິກໄມ່ເກີດປົກົກີຣີຍາກັນ ຄືອ



2.2 Barium chloride (BaCl_2) ກັບ Sodium carbonate (Na_2CO_3)

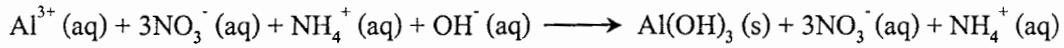
ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



ສາມກາຣໄອອອນິກສຸທີ : $\text{Ba}^{2+}(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq) \longrightarrow \text{BaCO}_3(s)$

2.3 Aluminium nitrate ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) ກັບ Ammonia solution (NH_3)

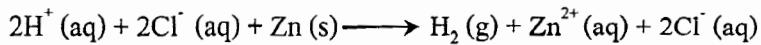
ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



ສາມກາຣໄອອອນິກສຸທີ : $\text{Al}^{3+}(aq) + 3\text{OH}^-(aq) \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3(s)$

2.4 Hydrochloric acid (HCl) ກັບ Zinc metal (Zn)

ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



ສາມກາຣໄອອອນິກສຸທີ : $2\text{H}^+(aq) + \text{Zn}(s) \longrightarrow \text{H}_2(g) + \text{Zn}^{2+}(aq)$

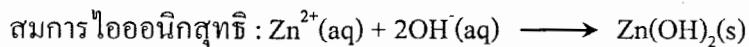
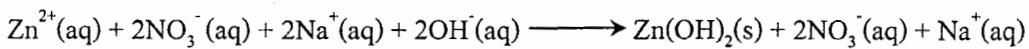
2.5 Hydrochloric acid (HCl) กับ Magnesium acetate ($Mg(C_2H_3O_2)_2$)

ไม่สามารถเขียนสมการไฮอนิกได้ เพราะไฮอนไม่เกิดปฏิกิริยา คือ



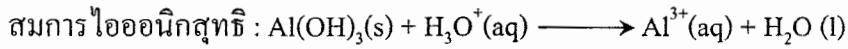
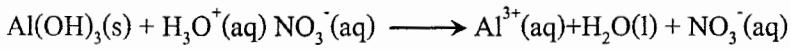
2.6 Zinc nitrate ($Zn(NO_3)_2$) กับ Sodium hydroxide (NaOH) มากเกินพอ

สมการไฮอนิกรวน :



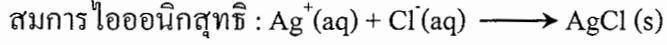
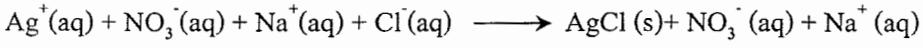
2.7 Nitric acid (HNO_3) กับ Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$)

สมการไฮอนิกรวน :



2.8 Silver nitrate ($AgNO_3$) กับ Sodium chloride (NaCl)

สมการไฮอนิกรวน :



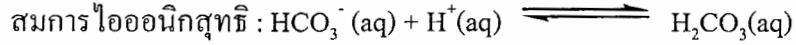
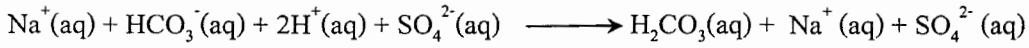
2.9 Silver chloride (AgCl) กับ Nitric acid (HNO_3)

ไม่เกิดปฏิกิริยา เพราะ



1.10 Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) กับ Sulfuric acid (H_2SO_4)

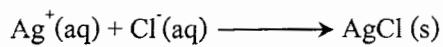
สมการไฮอนิกรวน :



3. ถ้าต้องการแยกสารเหล่านี้ออกจากกัน สามารถทำได้ดังนี้

3.1. Ba^{2+} กับ Ag^+ นำสารละลายผสมน้ำเติมสารละลาย HCl มากเกินพอจะได้ $AgCl$

ตกตะกอนออกมา ดังสมการ



แต่ Ba^{2+} ยังคงอยู่ในสารละลายเมื่อนำมากรองก็สามารถแยก $AgCl$ ออกໄไปได้

3.2 Ba^{2+} กับ Al^{3+} นำสารละลายผสมมาเติมสารละลาย NH_4Cl ในสารละลาย NH_3 จะ

ได้ตะกอนคล้ายรูปของ $Al(OH)_3$ แยกออกมานอกจาก Ba^{2+} ยังคงอยู่ในสารละลาย

4. อธิบายเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไฮอ่อนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ ได้ดังนี้
- 4.1 สารประกอบไฮอ่อนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ เมื่อเป็นของแข็ง ไม่นำไฟฟ้า
 - 4.2 สารประกอบไฮอ่อนิกจะลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮอ่อน สารจะลายจึงนำไฟฟ้าได้ดี
 - 4.3 แต่สารประกอบโคเวเลนต์ เมื่อจะลายน้ำอาจนำไฟฟ้าได้หรือไม่นำไฟฟ้าขึ้นกับว่า ไม่เลกูลของสารโคเวเลนต์แตกตัวเป็นไฮอ่อนหรือไม่ ถ้าแตกตัวเป็นไฮอ่อนหมุด สารจะลายจะนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าแตกตัวเป็นไฮอ่อนบางส่วนสารจะลายจะนำไฟฟ้าได้น้อย และหากไม่แตกตัวเป็นไฮอ่อนเลย ยังคงอยู่ในสภาพไม่เลกูลสารจะนำไฟฟ้า

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1. NaHCO_3 ซึ่งเป็นสารประกอบไฮออนิก ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายประการ เราสามารถเดริบสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตจากสารตั้งต้นข้อใดได้
 - ก. $\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow$
 - ข. $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow$
 - ค. $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow$
 - ง. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow$
 - จ. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow$
2. HCO_3^- มีประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างไร
 - ก. ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาท
 - ข. ควบคุมการทำงานของหัวใจ
 - ค. เป็นไฮออนที่สำคัญในระบบบับเพอร์ ที่ควบคุม pH ของเลือด
 - ง. หากร่างกายขาด HCO_3^- จะเป็นตะคริว
 - จ. เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร
3. มีของแข็งสีขาวนิดหนึ่ง ไม่แน่ใจว่าเป็น NaCl หรือ NaHCO_3 นักศึกษามีวิธีทดสอบง่าย ๆ และเหมาะสมอย่างไรเพื่อสรุปว่าของแข็งสีขาวนี้เป็นสารใด
 - ก. หาจุดหลอมเหลว แล้วนำไปเปลี่ยนเทียนกับจุดหลอมเหลวของ NaCl และ NaHCO_3
 - ข. แบ่งมาทดสอบโดยหยด HCl ลงไปหากเกิดฟองแก๊ส CO_2 แสดงว่าเป็น NaHCO_3
หากไม่เกิดฟองแก๊สแสดงว่าเป็น NaCl
 - ค. แบ่งมาละลายน้ำแล้วทดสอบการนำไฟฟ้า หากนำไฟฟ้าได้ดีแสดงว่าเป็น NaCl ถ้า
นำไฟฟ้าได้น้อยแสดงว่าเป็น NaHCO_3
 - ง. ลองชนดู NaCl มีรสเค็ม แต่ NaHCO_3 มีรสฝาด
 - จ. ละลายน้ำแล้วทดสอบความเป็นกรด-เบส โดยสารละลาย NaCl เป็นเบสแต่
สารละลาย NaHCO_3 เป็นกรด

4. จงคำนวณหาค่าพลังงานแผลต์ทิชในหน่วย kJ mol^{-1} ในผลึกของสารประกอบ AB ที่มีระยะห่าง

$$\text{ระหว่าง } A^+ \text{ และ } B^- \text{ } 0.276 \text{ nm โดยคิดจากกฎของคูลอมน์ } E = 2.31 \times 10^{-10} \text{ J nm} \left\{ \frac{q^+ q^-}{r} \right\}$$

ก. $-8.37 \times 10^{-10} \text{ kJ mol}^{-1}$

ข. $-1.67 \times 10^{-9} \text{ kJ mol}^{-1}$

ค. -504 kJ mol^{-1}

ง. $-1,030 \text{ kJ mol}^{-1}$

จ. $-2,160 \text{ kJ mol}^{-1}$

5. จากสมการของบอร์น – แลนเดค $U_0 = \frac{-MZ^+ Z^- e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} N \left(1 - \frac{1}{n}\right)$

จงคำนวณหาค่าพลังงานแผลต์ทิชของ NaCl เมื่อกำหนดค่าต่างๆ ให้คงต่อไปนี้

Madelung constant (M) = 1.74756

The charge on the electron (e) = $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Avogadro's number (N) = 6.02×10^{23}

Permittivity of free space (ϵ_0) = $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{J}^{-1} \text{m}^{-1}$

Born exponent (n) = 8

Internuclear distance (r_0) = $2.814 \times 10^{-10} \text{ m}$

พลังงานแผลต์ทิชของ NaCl เท่ากับ

ก. -755 kJ mol^{-1}

ข. -800 kJ mol^{-1}

ค. -896 kJ mol^{-1}

ง. -902 kJ mol^{-1}

จ. $-1,510 \text{ kJ mol}^{-1}$

คำสั่ง ให้ใช้ข้อมูลแสดงค่าเออนทัลปีค่าง ๆ ของสารตอบคำถามข้อ 6-7

ตาราง ค่าเออนทัลปีที่เกี่ยวข้องในการเกิด CuCl และ CuCl_2 (kJ mol^{-1})

	CuCl	CuCl_2
ΔH_{sub}	+ 338	+ 338
ΔH_{IE_1}	+ 746	+ 746
ΔH_{IE_2}	-	+ 1,958
ΔH_{diss}	+ 242	+ 242
ΔH_{EA}	- 349	- 698
ΔH_{latt}	-	- 2,772
ΔH_f	- 117	-

6. จงหาค่าพลังงานแล็ตทิช (ΔH_{latt}) ของ CuCl

- ก. - 739 kJ mol^{-1}
- ข. - 873 kJ mol^{-1}
- ค. - 973 kJ mol^{-1}
- ง. -1,094 kJ mol^{-1}
- จ. 1,734 kJ mol^{-1}

7. จงหาค่าเออนทัลปีของการเกิดสารประกอบ CuCl_2

- ก. - 186 kJ mol^{-1}
- ข. 163 kJ mol^{-1}
- ค. 1,210 kJ mol^{-1}
- ง. 5,358 kJ mol^{-1}
- จ. 6,754 kJ mol^{-1}

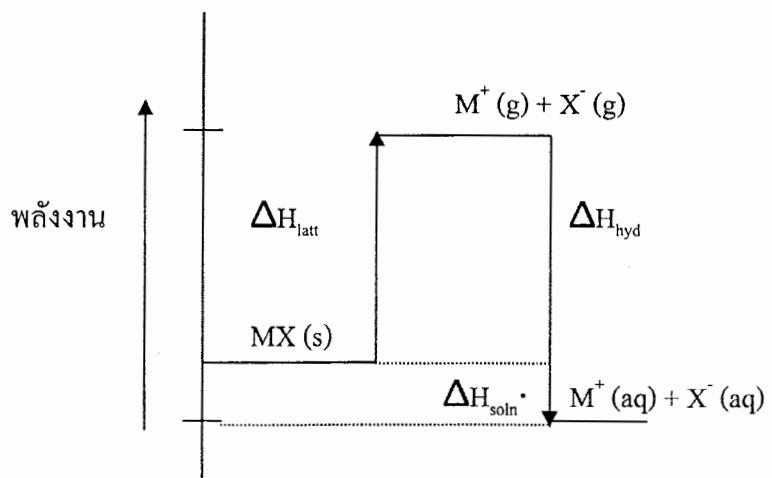
8. จากข้อมูลที่กำหนดให้ต่อไปนี้ จงหาค่า electron affinity (ΔH_{EA}) ของ F

ΔH_f° ของ LiF	= - 594.1 kJ mol ⁻¹
ΔH_{sub} ของ Li	= 155.2 kJ mol ⁻¹
ΔH_{IE} ของ Li	= 520 kJ mol ⁻¹
ΔH_{diss} ของ F ₂	= 150.6 kJ mol ⁻¹
ΔH_{latt} ของ LiF	= - 1,012 kJ mol ⁻¹
ก. - 1,188.6 kJ mol ⁻¹	
ข. - 855.6 kJ mol ⁻¹	
ค. - 408.3 kJ mol ⁻¹	
ง. - 333 kJ mol ⁻¹	
จ. + 260 kJ mol ⁻¹	

9. จากข้อมูลที่กำหนดให้ต่อไปนี้ จงหาค่าเอนทัลปีของสารละลาย KCl

กำหนด พลังงานแผลต์ทิชของ KCl	= + 690 kJ mol ⁻¹
พลังงานไชเดรชันของ KCl	= - 686 kJ mol ⁻¹
เอนทัลปีของสารละลาย KCl เท่ากับ	
ก. - 682 kJ mol ⁻¹	
ข. - 4 kJ mol ⁻¹	
ค. + 4 kJ mol ⁻¹	
ง. + 694 kJ mol ⁻¹	
จ. + 1,376 kJ mol ⁻¹	

10. จากแผนภาพ แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในกระบวนการเกิดสารละลายน้ำออกนิก ดังนี้



รูป กระบวนการเกิดสารละลายน้ำออกนิก

คำกล่าวใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- การเกิด $\text{MX}(\text{s}) \rightarrow \text{M}^+(\text{g}) + \text{X}^-(\text{g})$ เป็นกระบวนการรายพลังงาน (ΔH เป็น -)
- การเกิด $\text{M}^+(\text{g}) + \text{X}^-(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{X}^-(\text{aq})$ เป็นกระบวนการดูดพลังงาน (ΔH เป็น +)
- เอนทัลปีของสารละลาย $\text{MX} = \Delta H_{\text{latt}} - \Delta H_{\text{hyd}}$
- การเกิดสารละลาย MX เป็นกระบวนการรายพลังงาน
- พลังงานแล็ตทิชของ MX มีค่ามากกว่าพลังงานไฮเดรชัน

11. วัสดุกรบอร์น – ชาเบอร์ มีพื้นฐานมาจากกฎ ๆ หนึ่ง ซึ่งกล่าวว่า “ในปฏิกริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกริยารวมจะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในปฏิกริยาขั้นตอน” กฎนี้คือกฎใด

- กฎของไฮสต์
- กฎทรงมวล
- กฎของคูลอมบ์
- กฎสัดส่วนคงที่
- กฎของอิโวการ์ด

12. สารประกอบในข้อใดต่อไปนี้ เมื่อละลายน้ำแล้ว สารละลายนำไฟฟ้าได้ดี จัดเป็นอิเล็กโตร ไอล์ต์ แก๊ส (strong electrolyte) ทั้งหมด

- ก. N_2HCONH_2 , CH_3OH
- ข. NH_3 , H_3PO_4
- ค. CuSO_4 , H_2SO_4
- ง. CH_3COOH , KOH
- จ. $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

13. สารประกอบในข้อใดต่อไปนี้ เมื่อละลายน้ำแล้ว สารละลายนำไฟฟ้าได้ไม่ดีจัดเป็น อิเล็กโตร ไอล์ต์อ่อน (weak electrolyte) ทั้งหมด

- ก. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, glacial acetic acid
- ข. NaCl , NaOH
- ค. CsI , KCl
- ง. KMnO_4 , AgNO_3
- จ. NaHCO_3 , NH_3

คำสั่ง ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 14-15

จากการทดลอง ทดสอบการนำไฟฟ้าของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และสารละลาย NH_3 แล้วนำสารละลายหั่งสองผสมกันสังเกตผลที่ได้ และวัดการนำไฟฟ้าของสารละลายผสมนี้ แล้วเติมสารละลาย NH_3 เพิ่มลงไปอีก ปรากฏผลการทดลองดังตาราง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	สารละลาย	ลักษณะที่สังเกตได้	การนำไฟฟ้าของสารละลาย
1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	ใส, สีฟ้า	-
2	NH_3	ใส, ไม่มีสี	-
3	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$	เกิดตะกอนคล้ายวุ้นสีเขียว	-
4	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$ แล้วเพิ่ม NH_3 อีก	ตะกอนคล้ายวุ้นหายไป ได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม	-

จากข้อมูลที่ให้จะตอบคำถามข้อ 14 - 15

14. นักศึกษาคาดว่า คำกล่าวใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- การนำไฟฟ้าของสารละลาย NH_3 จะดีกว่า $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เพราะ NH_3 เป็นสารประกอบโคลเวเลนต์แต่ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เป็นสารประกอบไฮอนิก
- สารละลายผสมระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$ ในข้อ 3 จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ในข้อ 1
- สารละลายผสมตามข้อ 4 เมื่อเพิ่มสารละลาย NH_3 ลงไปอีกจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลายในข้อ 3
- สารละลาย NH_3 นำไฟฟ้าได้ไม่ดีเท่าสารละลายผสมระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ NH_3 ในข้อ 3
- สารละลายในข้อ 3 นำไฟฟ้าได้ดีเท่ากับสารละลายในข้อ 4

15. เมื่อผสมสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ NH_3 ในข้อ 3 สามารถเขียนสมการไฮอนิกสูตรที่ได้อย่างไร

- $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{NO}_3^- + 2 \text{OH}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + 2 \text{NO}_3^-$
- $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + 2 \text{NH}_4^+$
- $\text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{OH}^-$
- $\text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}^+$
- $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(s)$

16. เมื่อสารละลาย HCl ทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH ที่จุดสมมูลสามารถเขียนสมการไฮอนิกสูตรแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างไร

- $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

17. จงแสดงสมการ ไออ่อนิกรรมของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายน HCl กับ โลหะ Zn

- $Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) + 2Cl^-(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) + 2Cl^-(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

18. สมการ ไอออนิกสูทชี แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายน $AgNO_3$ กับ HCl คือข้อใด

- $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + H^+(aq) + Cl^-(aq)$
- $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + HCl(aq)$
- $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$
- $AgNO_3(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NO_3^-(aq)$
- $AgNO_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + HNO_3(aq)$

คำสั่ง จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 19 - 20

จากการศึกษาปฏิกิริยาของ 0.1 M $CuSO_4$ กับ 0.1 M $H_2S(g)$ และ 0.1 M $Cu(C_2H_3O_2)_2$ กับ $H_2S(g)$ ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ลำดับที่	สารละลายน	การนำไฟฟ้า
1	$CuSO_4$	1,306 μS
2	H_2S	118.7 μS
3	$Cu(C_2H_3O_2)_2$	3.84 mS
4	$CuSO_4 + H_2S$	5.30 mS
5	$Cu(C_2H_3O_2) + H_2S$	905 μS

19. สมการ ไอออนิกสูทชี แสดงการเกิดปฏิกิริยาในข้อใดถูกต้อง

- $Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s) + H_2SO_4(aq)$
- $Cu(C_2H_3O_2)_2(aq) + H_2S(aq) \longrightarrow CuS(s) + 2HC_2H_3O_2(aq)$
- $Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \longrightarrow CuS(s) + H_2SO_4(s)$
- $Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s)$
- $CuSO_4(aq) + H_2S(aq) \longrightarrow Cu(s) + H_2SO_4(aq)$

20. การอธิบายผลการทดลอง ข้อใดไม่ถูกต้อง

- ก. ปฏิกิริยาระหว่าง CuSO_4 กับ H_2S ได้ H_2SO_4 ซึ่งเป็นกรดแก่ แตกตัวได้คีสารละลาย จึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น
- ข. ปฏิกิริยาระหว่าง CuSO_4 กับ H_2S ได้ CuS ที่แตกตัวได้คีสารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น
- ค. ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ กับ H_2S ได้ CuS เป็นของแข็งสารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ลดลง
- ง. ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ กับ H_2S ได้ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ เป็นกรดอ่อน แตกตัวได้น้อย สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ลดลง
- จ. CuSO_4 เป็นเกลือละลายนำคีแตกตัวหนดจึงเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ แต่ H_2S ละลายนำ แล้วแตกตัวไม่หนดจึงเป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อ	คำตอนที่ถูก	ข้อ	คำตอนที่ถูก
1	ก	11	ก
2	ค	12	ค
3	ข	13	ก
4	ก	14	ค
5	ก	15	ข
6	ค	16	ง
7	ก	17	ข
8	ง	18	ค
9	ค	19	ง
10	ง	20	ข

ภาคผนวก ค

คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

คะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง

ตารางที่ ก.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เกมี

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความ ก้าวหน้า
1	12	60	15	75	15
2	5	25	6	30	5
3	2	10	12	60	50
4	5	25	6	30	5
5	7	35	12	60	25
6	9	45	7	35	- 10
7	3	15	9	45	30
8	8	40	9	45	15
9	7	35	8	40	5
10	5	25	8	40	15
รวม	63.0	315.0	92.00	460	155.00
\bar{X}	6.3	31.50	9.20	46.00	15.50
SD	2.9	14.72	2.94	14.68	16.57

ตารางที่ ค.2 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความก้าวหน้า
1	4	20	8	40	20
2	5	25	3	15	-10
3	5	25	5	25	0
4	8	40	6	30	-10
5	6	30	8	40	10
6	5	25	4	20	-5
7	4	20	7	35	15
8	7	35	4	20	-15
9	6	30	6	30	0
10	3	15	4	20	5
11	4	20	4	20	0
12	4	20	5	25	5
13	4	20	6	30	10
14	8	40	7	35	5
15	5	25	8	40	15
รวม	78.00	390.00	85.00	425.00	45.00
\bar{X}	5.20	26.00	5.66	27.50	3.00
SD	1.52	7.60	1.67	8.38	10.14

ตารางที่ ค.3 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความก้าวหน้า
1	6	30	9	45	15
2	4	20	8	40	20
3	9	45	5	25	-20
4	7	35	12	60	25
5	5	25	12	60	35
6	5	25	12	60	35
7	7	35	9	45	10
8	7	35	12	60	25
9	5	25	14	70	45
10	5	25	10	50	25
11	4	20	9	45	25
12	8	40	10	50	10
13	6	30	11	55	25
14	6	30	10	10	-20
15	4	20	8	40	20
16	5	25	6	30	5
17	7	35	10	50	15
18	5	25	9	45	20
19	5	25	10	50	25
20	5	25	7	35	10
21	6	30	11	55	25
22	5	25	10	50	25
รวม	126.00	630.00	214.00	1030.00	400.00
\bar{X}	5.72	28.63	9.72	46.81	18.18
SD	1.31	6.57	2.11	13.41	15.39

ตารางที่ ก.4 ช่วงเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาลุ่มตัวอย่าง

ช่วง % ความก้าวหน้า	วท.บ.4/2 เคมี		ค.บ. 5/2 วิทย์ฯ (เคมี)		ค.บ. 5/3 วิทย์ฯ (เคมี)		รวมทุกระดับ	
	จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา	
	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%
ต่ำกว่า 0	1	1	4	26.7	2	9.1	7.0	14.9
1 - 10	0	0	3	20.0	0	0.0	3.0	6.4
11 - 20	3	3	5	33.3	4	18.2	12.0	25.5
21 - 30	3	3	3	20.0	5	22.7	11.0	23.4
31 - 40	2	2	-	-	8	36.4	10.0	21.3
41 - 40	0	0	-	-	2	9.1	2.0	4.3
41 - 50	1	1	-	-	1	4.5	2.0	4.3
51 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-
61 - 70	-	-	-	-	-	-	-	-
71 - 80	-	-	-	-	-	-	-	-
81 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-
91 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	10	100	15	100	22	100	47	100
\bar{X} ของ %	15.5%		3%		18.2%		12.2%	

ตารางที่ ค.5 คะแนนแบบฝึกหัดทักษะการทดลองของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เค米

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	6	8	6
2	9	8	8
3	6.75	9	7
4	6	8	6
5	6	8	6
6	6	8	6
7	6.75	9	7
8	6.75	9	7
9	9	8	8
10	9	8	8
รวม	71.25	83.00	69.00
\bar{X}	7.12	8.30	6.90
SD	1.52	3.48	2.77

ตารางที่ ค.6 คะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษา ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	6	8	7
2	6	8	7
3	5	8	5
4	5	8	5
5	6	8	7
6	5	8	5
7	5.25	8	8
8	5	8	5
9	5	8	7
10	5	8	7
11	5.25	8	8
12	5	8	7
13	5.25	8	7
14	5.25	8	8
15	6	8	7
รวม	80.00	120.00	100.00
\bar{X}	5.33	8.00	6.60
SD	0.43	0.00	1.11

ตารางที่ ก.7 คะแนนแบบผีกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษา ระดับ ก.บ.5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	5	7	8
2	5	7	8
3	5	7	8
4	8	7	8
5	8	7	8
6	8	7	8
7	5	8	7
8	5	8	7
9	5	8	7
10	5	7	6
11	5	7	6
12	5	7	6
13	5	8	7
14	5	8	7
15	5	8	7
16	5	8	7
17	5	8	7
18	7	8	7
19	7	8	7
20	7	8	7
21	7	8	7
22	7	8	7
รวม	134	167	157
\bar{X}	6.09	7.59	7.14
SD	1.27	0.50	0.63

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทปฐมบัตการเรื่องการเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอนนิก

แผนการสอนปฏิบัติการ

เรื่อง การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก

ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแผลตทิช

ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโโคเวเลนต์และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก

แนวคิด

1. การสังเคราะห์สารเคมี เป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เพราะจะทำให้ได้สารใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. เมื่อสังเคราะห์สาร ได้แล้วจำเป็นต้องมีการทดสอบ เพื่อยืนยันว่าได้สารที่ต้องการสังเคราะห์จริง

3. สารประกอบไฮอ่อนิก เกิดจากอะตอมของโลหะ ซึ่งมีค่าพลังงานไฮดรอกไซด์พันธะกับอ่ตอมของโลหะซึ่งมีสัมพรรภาพอิเล็กตรอนสูง โดยอะตอมของโลหะให้ อิเล็กตรอนแก่อะตอมของโลหะแล้วได้ไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบตามลำดับ แรงดึงดูดระหว่างไฮอ่อนทั้งสองเป็นแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) หรือ แรงคูลومบ์ (Coulombic force)

4. เมื่อไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบยึดเหนี่ยวกัน เกิดโครงสร้างประกอบไฮอ่อนิกและ คายพลังงานออกมา เรียกว่า พลังงานแผลตทิช (Lattice energy)

5. พลังงานแผลตทิช หาได้โดยอาศัยกฎของ Hess' law ที่ว่า “ในปฏิกิริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยารวม จะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในปฏิกิริยาข้อย”

6. ขั้นตอนทั้งหมดในการเกิดสารประกอบไฮอ่อนิก สามารถเขียนแสดงได้ด้วย แผนภาพที่เรียกว่า วัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ (Born Haber cycle)

7. การหาค่าพลังงานแผลตทิช ไม่สามารถหาได้จากการทดลองแต่สามารถหาได้จาก สมการบอร์น-แลนเด (Born Lande equation) หรือหาได้จากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ เมื่อทราบค่า พลังงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

8. สารประกอบไฮอ่อนิกจะละลายน้ำได้ดี เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีข้อเมื่อเกิดการ ละลาย เราสามารถหาค่าเอนทัลปีของสารละลายได้จากการทดลอง โดยใช้ แคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) และเราสามารถหาค่าพลังงานแผลตทิชจากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ โดยพิจารณา

เอนทัลปีของสารละลายร่วมด้วยได้

9. เมื่อสารประกอบไฮอ่อนิกเป็นของแข็ง จะไม่นำไฟฟ้า เพราะไฮอ่อนบวกและลบจะอยู่ประจำที่ในโครงผลึก แต่เมื่อยุ่งในสภาพหลอมเหลวหรือสารละลายจะนำไฟฟ้าได้ เพราะมีการเคลื่อนที่ของไฮอ่อนบวกและไฮอ่อนลบ ต่างกับสารประกอบโภเวเดนที่เมื่อเกิดการละลาย อนุภาคของสารละลายจะอยู่ในรูปโมเลกุล ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้

10. การนำไฟฟ้าของสารละลายจะดีหรือไม่ ขึ้นกับปริมาณไฮอ่อนในสารละลาย หากสารที่เป็นตัวถูกละลายแตกตัว (Dissociation) ได้ดีจะมีปริมาณไฮอ่อนมากในสารละลาย สารละลายจะนำไฟฟ้าได้ดี

11. ในการเกิดปฏิกิริยาของสารไฮอ่อนิก เราจะแสดงเชิงพารา ไฮอ่อนที่เกิดปฏิกิริยาและโมเลกุลที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น เราเรียกว่า สมการไฮอ่อนิก (Ionic equation)

วัสดุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักศึกษาได้ศึกษาบทเรียนนี้แล้ว สามารถ

1. เตรียมและทดสอบสมบัติของสารประกอบไฮโครเจนคาร์บอนเนต ได้
2. ทำการทดลองหาค่าเอนทัลปีของสารละลายได้
3. คำนวณหาค่าพลังงานแลตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิก จากวัฏจักร บอร์น - ชาเบอร์ เมื่อทราบค่าค่าพลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
4. คำนวณหาค่าพลังงานแลตทิชของสารประกอบไฮอ่อนิกจากสมการบอร์น - แคนเด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้ จากวัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ได้
5. ทำการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารและสารละลาย ได้
6. อธิบายและเปรียบเทียบการแตกตัวเป็นไฮอ่อนของสารละลาย โดยอาศัยข้อมูลการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ทดลอง ได้
7. เผยนสมการไฮอ่อนิกรวมและไฮอ่อนิกสูตรของปฏิกิริยา ได้

กิจกรรมระหว่างเรียน

1. ทำแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ศึกษาบทเรียนสำเร็จรูป
3. ปฏิบัติการทดลองตามกำหนด
4. รายงานผลการทดลองและตอบคำถามก่อนและหลังการทดลอง

(กิจกรรมลำดับที่ 2-4 ให้ทำเป็นตอน ๆ จบแล้วจึงทำตอนต่อไป)

5. ศึกษาจากเนื้อหาท้ายบทเรียนสำเร็จรูป และศึกษาค้นคว้าจากหนังสืออ่านประกอบที่แนะนำไว้
6. ทำแบบทดสอบหลังเรียน

สื่อการเรียน

1. สารเคมี
2. อุปกรณ์การทดลอง
3. หนังสืออ่านประกอบ

การประเมินผล

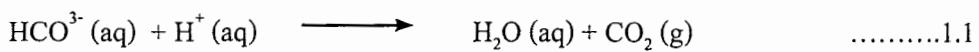
1. ประเมินจากแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ประเมินจากรายงานผลการทดลองและการตอบคำถามก่อนและหลังการทดลอง
3. ประเมินจากแบบทดสอบหลังเรียน

บทปฏิบัติการ
การเตรียมและการศึกษาสมบัติของสารประกอบไฮอ่อนิก
PREPARATION AND PROPERTIES OF IONIC COMPOUND

ตอนที่ 1 การเตรียมและการศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต
(PREPARATION AND PROPERTIES OF SODIUM HYDROGEN CARBONATE)

บทนำ

การสังเคราะห์สารเคมีเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ นักเคมีต้องทำการออกแบบวิธีการและขั้นตอนในการทำให้ได้สารใหม่ จากสารธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์อื่น ในการทดลองครั้งนี้นักศึกษาจะได้สังเคราะห์สารอนินทรีย์ คือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (Sodium hydrogen carbonate, NaHCO₃) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮอ่อนิก ที่ประกอบด้วยโซเดียมไฮอ่อน (Na⁺) เป็นไฮอ่อนบาก และไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (HCO³⁻) เป็นไฮอ่อนลบ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต รู้จักกันดีในชื่อของ โซดาปิ้งขนม (Baking soda) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างทั้งในทางการค้าและในบ้านเรือน โดยเมื่อร่วมกับของแข็งที่ทำให้เกิดกรด เช่น Cream of tartar (Potassium hydrogen tartrate, KHC₄H₄O₆) และแป้ง (ซึ่งใส่เพื่อกันไม่ให้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตติดกับสารที่ทำให้เกิดกรดแล้วเป็นก้อน) แล้ว ใช้ทำให้เกิดการฟู ในทางการค้าเรียกผงฟู (Baking powder) เมื่อผงฟูผสมกับน้ำหรือนมแล้วตีหรือคนจะเกิดแก๊สการบันไดออกไซด์ดังสมการ

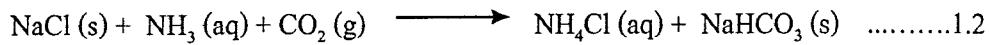


การเกิดแก๊สการบันไดออกไซด์ที่ละน้อย เป็นเหตุทำให้เกิดฟองแก๊สในเนื้อบันที่มีผงฟูผสมอยู่ เมื่อนำมาไปอบหรือย่างก็จะทำให้เนื้อบันมีฟูได้

มีการนำโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตมาใช้ประโยชน์ในบ้านเรือนหลายอย่าง เนื่องจากสารนี้มีสมบัติเป็นเบสอ่อน จึงใช้เป็นยาเม็ดแอนตัซิด (Antacid tablets) หรือไบ卡บ (Bicarb) เพื่อตัดกรดในกระเพาะอาหาร และสามารถดูดซับ (Adsorb) โมเลกุลของสารต่าง ๆ ไว้บนผิวน้ำของผลักของมันได้คือมารวมทั้งสามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮของสารที่ทำให้เกิดกรด จึงใช้เป็นยาดับกลิ่นในบ้านเรือนได้ นอกจากนี้ยังใช้ในเครื่องดับเพลิงชนิดให้แก๊สการบันไดออกไซด์ อีกด้วย

การสังเคราะห์โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตในครั้งนี้ เป็นวิธีเดียวกันกับในทาง

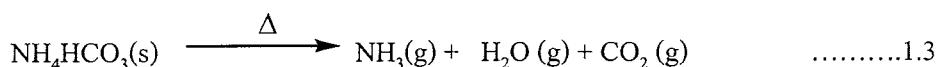
อุตสาหกรรม โดยการเติมน้ำแข็งแห้ง (Solid CO₂) ลงในสารละลายน้ำที่อิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายน้ำแข็ง โนเนยเข้มข้น เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



การเติมน้ำแข็งแห้ง เพื่อเป็นแหล่งของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำแข็งแห้งบังช่วยแยกผลผลิต 2 ชนิดคือ แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH₄Cl) กับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตออกจากกันด้วย เนื่องจากการเติมน้ำแข็งแห้งทำให้ปฏิกิริยามีอุณหภูมิต่ำมาก โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตจะละลายได้น้อยกว่าแอมโมเนียมคลอไรด์และแตกผลึกออกจากสารละลายน้ำได้รวดเร็วมาก เมื่อกรองสารที่ได้ขยะเย็นจัดก็จะได้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตเป็นของแข็งออกมา

โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีนี้ จะน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield) ประมาณ 50 % ทั้งนี้เป็นเพราะบ้างคงมีโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตละลายในสารละลายน้ำบ้างพอสมควร นอกเหนือนี้ยังมีการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reaction) ได้สารประกอบแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต (NH₄HCO₃) ออกมาด้วย ดังนั้นของแข็งที่ได้จะอาจเป็นโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตผสมกับแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

อย่างไรก็ตามเราสามารถกำจัดแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตได้โดยการให้ความร้อนแก่ของแข็งที่กรองได้ จะทำให้แอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตละลายไปเป็นแก๊สแอมโมเนีย ไอน้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้นักศึกษา สามารถเตรียมและทดสอบสมบัติของสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตได้

คำถามก่อนการทดลอง

1. ในการสังเคราะห์ NaHCO₃ ครั้งนี้ เราจะได้ NaHCO₃ แยกออกจากผลผลิตที่สำคัญ อีกสารหนึ่งคือ NH₄Cl บนพื้นฐานที่ว่ามีสภาพละลายได้ (Solubility) แตกต่างกันที่อุณหภูมิต่ำแต่ไม่สามารถแยก NaHCO₃ กับ NH₄Cl ออกจากกันได้บนพื้นฐานนี้ ให้นักศึกษาหาข้อมูลจาก Hand Book of Chemical เพื่อหาสภาพละลายได้ของสารทั้งสามนี้

สาร	ส่วนละลายน้ำ (g / H ₂ O 100 g)		
	ที่ 0 °C	ที่ 20 °C	ที่ 30 °C
NaHCO ₃			
NH ₄ Cl			
NH ₄ HCO ₃			

2. ให้สรุปประโยชน์ของ NaHCO₃ ในบ้านเรือนและทางการค้า

.....

.....

ข้อควรระวัง

- แอมโมเนียมเป็นสารกระตุ้นหัวใจและระบบหายใจ จึงควรใช้ในตู้คลุดกวน
- น้ำแข็งแห้งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อผิวหนัง เนื่องจากความเย็นจัดทำให้เกิดความเสียหายมีอันตรายต่อผิวหนัง
- ของผสม NaHCO₃ และ NH₄HCO₃ จะระเหยเมื่อได้รับความร้อน ต้องระวัง
- กรดไฮโดรคลอริก เป็นอันตรายต่อผิวหนัง ต้องรับถังด้วยน้ำมากๆ ทันที หากกรด

สารเคมี

- NaCl (Sodium chloride)
- NH₃ conc. (Concentrated ammonia solution)
- CO₂ (s) (Dry ice)
- 3 M HCl (Hydrochloric acid)
- Methyl red

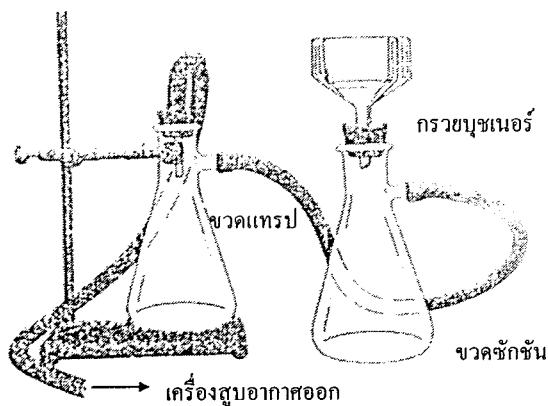
อุปกรณ์

1. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 cm^3
2. กระบอกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 50 cm^3 พร้อมมูกสำหรับปิด
3. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 150 และ 250 cm^3
4. ชามระเหย (Evaporator dish)
5. แท่นแก่วย (Stirrer)
6. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดเล็ก 4 หลอด
7. ชุดกรอง ได้แก่ กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel), ขวดซักชัน (Suction flask), ขวดแทรป (Trap flask) กระดาษกรอง และปืนดูดอากาศ ตามภาพที่ ก.1
8. เตาให้ความร้อน (Hot plate) หรือ ตะเกียงบุนเซ็น (Bunsen burner)
9. เครื่องชั่งแบบ Triple beam
10. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ถึง -50°C

วิธีทดลอง

1. การเตรียมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

1.1 เตรียมชุดสำหรับกรอง ไว้สำหรับกรองผลผลิตขณะเย็น (อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C)



ภาพที่ ก.1 อุปกรณ์การกรองแบบลดความคัน

1.2 ชั้ง NaCl ประมาณ 15 - 16 g ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 cm^3 ที่สะอาด
(ปริมาณ NaCl มากกว่าความต้องการใช้ในการสังเคราะห์ ปริมาณที่มากเกินพอนี้จะช่วยเร่งให้ได้สารละลายอิ่มตัวในแอมโมเนียเร็วขึ้น)

1.3 ใส่สารละลาย conc. NH_3 50 cm^3 ในขวดรูปกรวยที่บรรจุ NaCl โดยทคล่องในตู้คูดคัวน

1.4 เผย่าขวดในข้อ 1.3 ประมาณ 10 - 15 นาที เพื่อให้ NaCl ละลายจนอิ่มตัว เมื่อ
อิ่มตัวแล้วจะมี NaCl ส่วนไม่ละลายเหลืออยู่

1.5 ทิ้งให้ของแข็งแยกออกจาก แล้วrinสารละลายในสองแอมโมเนียที่อิ่มตัวด้วย
NaCl ลงในบิกเกอร์ขนาด 250 cm^3 ระวังอย่าให้มีของแข็งติดอยู่ด้วย วางบิกเกอร์ไว้ในตู้คูดคัวน

1.6 คืนน้ำแข็งแห้งใส่ในบิกเกอร์ขนาด 150 cm^3 ประมาณครึ่งบิกเกอร์ (จะได้ CO_2
 $\approx 60 - 70\text{g}$) นำมาที่ตู้คูดคัวน

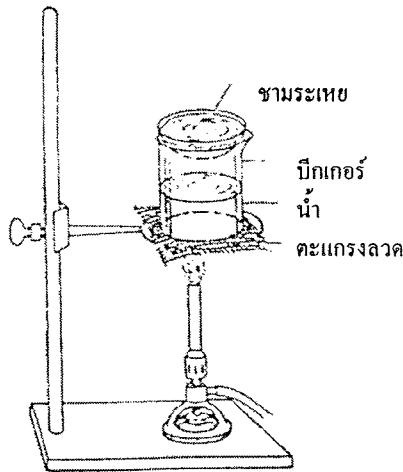
1.7 คืนน้ำแข็งแห้งใส่ในบิกเกอร์ที่มีสารละลายแอมโมเนียอิ่มตัวด้วย NaCl (ใน
ข้อ 1.5) ทีละน้อย คนให้สารผสมกันด้วยแท่งแก้ว ใส่น้ำแข็งแห้งทีละน้อย ๆ จนอุณหภูมิของ
สารผสมต่ำลง เหลือประมาณ -50°C และน้ำแข็งแห้งละลายหมด

1.8 เมื่อใส่น้ำแข็งแห้งจนหมด จะได้ของแข็งผสมระหว่าง NaHCO_3 กับ
 NH_4HCO_3 ให้บันทึกอุณหภูมิที่ปรากฏผลลัพธ์ของผลผลิต ปล่อยให้ของผสมมีอุณหภูมิสูงขึ้น
ประมาณ -5°C และน้ำแข็งแห้งละลายหมด

1.9 รีบกรองสารโดยเร็ว ก่อนที่อุณหภูมิจะสูงถึง 0°C ให้เครื่องดูดสารที่กรองได้
อีก 2 - 3 นาทีหลังจากดูดของเหลวลงไปหมดแล้ว

1.10 ชั่งน้ำหนักของชามระเหยที่สะอาด ถ่ายของแข็งในข้อ 1.9 ลงในชามระเหย

1.11 วางชามระเหยลงบนบิกเกอร์ที่มีน้ำแข็งเดือดประมาณ 10 – 15 นาที เพื่อสลาย
 NH_4HCO_3 ของแข็งในชามระเหยจะเริ่มหลอมเหลว และเกิดฟองแก๊ส ระวังอย่าให้กระเด็น



ภาพที่ ก.2 การระเหยของเหลวด้วย water bath โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ

1.12 ปล่อยให้ของแข็งและชามระเหยเย็นลง ซึ่งนำหันกของแข็งพ้อมชามระเหย

1.13 หาร้อยละผลผลิต (% yield) ของ NaHCO_3 โดยคาดคะเนว่า NaCl ละลายในสารละลาย NH_3 10 g (จากที่ใช้ 15 - 16 g เมื่อเริ่มต้น)

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

เนื่องจาก NaCl ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นและ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต เป็นของแข็งสีขาว เหมือนกันจึงต้องทำการทดสอบเพื่อยืนยันว่าได้ NaHCO_3 ไม่ได้ NaCl กลับคืนมา โดยวิธีการต่อไปนี้

2.1 ทดสอบด้วยสารละลาย 3 M HCl

2.1.1 นำหลอดทดลองที่สะอาดมา 2 หลอด ตัก NaHCO_3 ที่เตรียมได้และ NaCl เล็กน้อยใส่ในหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หยดสารละลาย 3 M HCl ลงไปหลอดละ 2 - 3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

2.1.2 เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในข้อ 2.1.1 หากเห็นการเปลี่ยนแปลง

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรค

นำหลอดทดลองมา 2 หลอด ตัก NaHCO_3 ที่เตรียมได้ และ NaCl เล็กน้อยใส่ในหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นลงไปหลอดละ 2 cm^3 เขย่าให้สารละลาย แล้วหยดเมทิลเรคลงไป 2 - 3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

**รายงานผลการทดลอง
การเตรียมและศึกษาสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต**

ชื่อผู้รายงาน..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 2..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ผลการทดลอง

1.1 ผลจากการสังเกต เมื่อเกิดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ ในสารละลาย
แอมโมเนียเข้มข้น

.....

1.2 ผลจากการสังเกต เมื่อเติมน้ำแข็งแห้งลงไปในสารละลายอิมตัว ของโซเดียม
คลอไรด์ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น

.....

1.3 อุณหภูมิโดยประมาณเมื่อปรากฏลักษณะของผลิต

.....

1.4 การหาผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3

การทดลอง	ผลการทดลอง
น้ำหนักของชามระ夷	g
น้ำหนักของชามระ夷 + NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต	g
น้ำหนักของ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต (ผลผลิตจริง)	g
น้ำหนักของ NaCl ที่เป็นสารตั้งต้น	10 g
ผลผลิตตามทฤษฎีของ NaHCO_3	g
ผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3 ที่เตรียมได้	%

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮด록เจนคาร์บอเนต

การทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง NaHCO_3 กับ NaCl

2.1 ทดสอบด้วยสารละลายน้ำ 3 M HCl

หยด 3 M HCl ลงในสาร	ผลการทดลองที่สังเกตได้
NaHCO_3	
NaCl	

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ.....

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรด

สารละลายน้ำ	ผลการทดลองที่สังเกตได้ เมื่อหยดเมทิลเรดลงไป
NaHCO_3	
NaCl	

ขอเชิญผู้ทดลองที่ได้พร้อมเขียนสมการประกอบการอธิบาย

วิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

คำถาม

1. สามารถเตรียม NaHCO_3 ได้จากปฏิกิริยาผ่านแก๊ส CO_2 ลงไปในสารละลายน้ำ NaOH ที่เข้มข้น จะเขียนสมการแสดงการสังเคราะห์ NaHCO_3 โดยวิธีนี้

2. Na_2CO_3 เป็นสารสำคัญสารหนึ่งในทางอุตสาหกรรมซึ่งเรียกว่า โซดาแอช (Soda ash) เราสามารถเตรียมสารนี้ได้ โดยการให้ความร้อนอย่างสูงแก่ NaHCO_3 จงเขียนสมการแสดง การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้

3. HCO^3- เป็นไอออนที่สำคัญทางด้านสรีรวิทยา โดยเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ในระบบบัฟเฟอร์ที่ควบคุม pH ของเลือดมนุษย์ให้คงที่ จงค้นคว้าจากตำราว่าในระบบบัฟเฟอร์ ดังกล่าวมีสารใดเป็นองค์ประกอบอีก และจงอธิบายว่าสารละลายน้ำบัฟเฟอร์ช่วยรักษาค่า pH ให้คงที่ได้อย่างไร

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแลดทิช ENTHALPY OF SOLUTION AND LATTICE ENERGY

บทนำ

เอนทัลปีของสารละลาย (Enthalpy of solution; ΔH_{soln}) เป็นปริมาณพลังงาน (ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของความร้อน) ที่ถูกดูดเข้าไปหรือหายออกมา เมื่อละลายสารในตัวทำละลาย ซึ่งเอนทัลปีของสารละลายจะแตกต่างกัน ตามชนิดและปริมาณของตัวละลาย (Solute) ในสารละลาย (Solution) แต่โดยทั่วไปสนใจ เอนทัลปีของสารละลายที่เจือจางมาก ซึ่งหมายถึง ความร้อนที่ได้จากการละลายของตัวละลาย 1 โมล ในตัวทำละลายปริมาณมากเกินพอก เพราะฉะนั้นกรณีที่สารละลายเจือจางมาก เอนทัลปีของสารละลายของตัวละลายหนึ่ง ๆ เป็นค่าคงที่

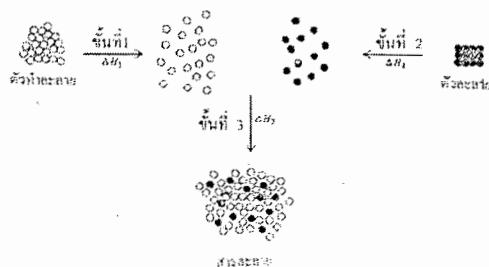
เอนทัลปีของสารละลาย เป็นผลรวมของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงจากกระบวนการละลาย ที่มี 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 โมเลกุลของตัวทำละลาย (Solvent) แยกออกจากกัน ต้องใช้พลังงานในการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล จึงเป็นกระบวนการกรดความร้อน (Endothermic process); ΔH เป็น +

ขั้นที่ 2 โมเลกุลหรืออนุภาคของตัวละลายแยกออกจากกัน ต้องใช้พลังงานในการทำลายแรงยึดเหนี่ยว เช่นเดียวกับขั้นที่ 1 จึงเป็นกระบวนการกรดความร้อน ; ΔH เป็น +

ขั้นที่ 3 โมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลายผสมกัน เกิดแรงดึงดูดต่อกันเป็นกระบวนการรายความร้อน (Exothermic process); ΔH เป็น -

พิจารณากระบวนการเกิดสารละลายทั้งสามขั้นตอน ดังภาพที่ 3 ก



ภาพที่ ก.3 ขั้นตอนการเกิดสารละลาย

จะได้ว่า

$$\Delta H_{soln} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

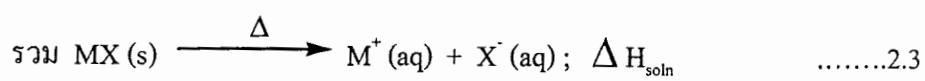
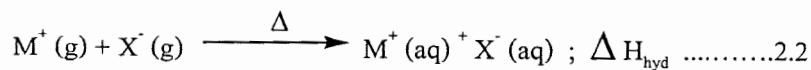
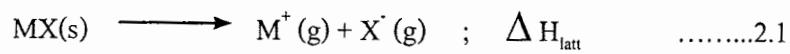
ในกรณีการละลายของของแข็ง ไออ่อนิก ในตัวทำละลายที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ไอออนบวกและไออันลบแยกออกจากແลตทิซเพล็ก (Crystal lattice) เป็นไอออนอิสระในสภาพแก่สตึงใช้พลังงานที่มีค่าเท่ากับพลังงานແลตทิซ (Lattice energy) ; ΔH_{latt} (พลังงานແเลตทิซ คือพลังงานที่เกิดจากการสร้างเพล็ก 1 โมล จากไอออนบวกและไออันลบมารวมกัน)

ขั้นที่ 2 ไออันบวกและไออันลบในสภาพแก่สูญญากาศต้องรวมด้วยโน้ตเเก่ลงของตัวทำละลาย เช่น น้ำ จะมีพลังงานออกมาก เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างไออันกับตัวทำละลาย พลังงานที่คายออกมากนี้ถ้าใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า พลังงานไฮเดรชัน (Hydration energy) ; ΔH_{hyd} แต่ถ้าเป็นตัวทำละลายอื่น ๆ เรียกว่า พลังงานโซลเวชัน (Solvation energy)

พลังงานไฮเดรชันนี้ แท้จริงแล้วเกิดจากการรวมกันของพลังงานสองชนิด คือพลังงานที่ใช้สายพันธุ์ไฮโดรเจนระหว่างโน้ตเเก่ลงของน้ำ กับพลังงานที่ปล่อยออกมากเมื่อไออันของตัวทำละลายสูญญากาศต้องรวมด้วยโน้ตเเก่ลงของน้ำ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถหาค่าพลังงานทั้งสองชนิดนี้แยกจากกันได้

สำหรับสาร ไอออนิก (MX) เมื่อละลายน้ำ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ ดังต่อไปนี้



$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{latt}} + \Delta H_{\text{hyd}}$$

ΔH_{soln} อาจมีค่าเป็นบวก (คุณพลังงาน) หรือมีค่าเป็นลบ (คายพลังงาน) ขึ้นอยู่กับว่าสารละลาย

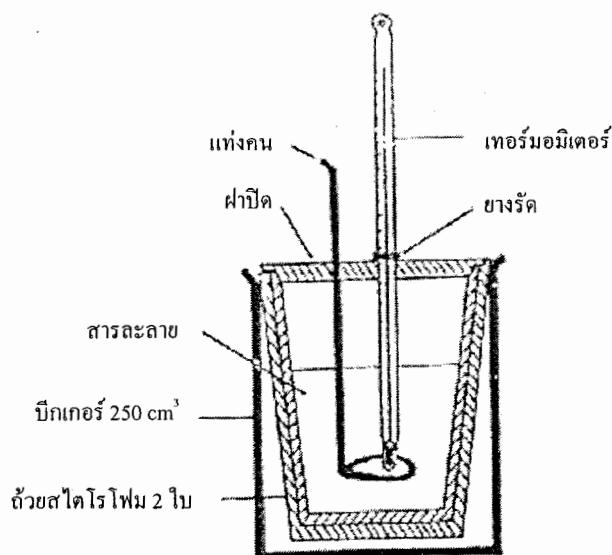
สารละลายจืดจางมาก	พลังงานไฮเดรชัน (kJ mol ⁻¹)	พลังงานແเลตทิซ (kJ mol ⁻¹)	เอนทัลปีของสารละลาย (kJ mol ⁻¹)
LiCl	- 883	+ 833	- 50
KCl	- 686	+ 690	+ 4

แสดงว่าเมื่อนำผลึก LiCl มาละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อนำผลึก KCl ละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้มีอุณหภูมิลดลง

ในทางปฏิบัติ สามารถหาค่าเออนทัลปีของสารละลายได้โดยง่าย โดยใช้เครื่องแคลอร์มิเตอร์ (Calorimeter) เราจึงไม่จำเป็นต้องแยกหาพลังงานไข่เครชันและพลังงานโครงสร้างผลึกที่จะส่วนเหล่าน้ำรวมกัน แต่สามารถหาเออนทัลปีของสารละลายโดยตรงจากการทดลอง

แคลอร์มิเตอร์ (Calorimeter)

แคลอร์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้หาความร้อนของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย เช่น เออนทัลปีของสารละลาย เออนทัลปีของการสะเทินกรด-เบสและเออนทัลปีของการสันดาป เป็นต้น
แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายแสดงได้ดังภาพที่ ก.4



ภาพที่ ก.4 แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายที่ใช้หาเออนทัลปีของสารละลาย

แคลอร์มิเตอร์อย่างง่าย ประกอบด้วยถ้วยสไต์โรไฟฟ์ที่อยู่ในน้ำเกลือ และมีฝาปิดอย่างนิดหน่อย ซึ่งมีแท่งแก้วสำหรับคนและเทอร์โมมิเตอร์ตีบอยู่ เทอร์โมมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของสารละลาย และแท่งแก้วใช้สำหรับคนสารละลายให้อุณหภูมิกายในถ้วยเท่ากัน แคลอร์มิเตอร์อย่างง่ายนี้ให้ถือว่าไม่มีความร้อนสูญเสีย (เป็นระบบที่เป็นจนวนกันความร้อน)

หลักการของแคลอริมิเตอร์ คือ เมื่อใส่ผลึกของแข็ง ไอโอนิกที่ทราบน้ำหนักแน่นอนลงในแคลอริมิเตอร์ตัวใน (ถ้วยสไตล์โฟน) ซึ่งมีน้ำกลั่นที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เช่น กันบรรจุอยู่แล้ว และคนให้ของแข็งนั้นละลาย ถ้าหากเราทราบความถูกความร้อนของแคลอริมิเตอร์ และค่าความร้อน จำเพาะของสารละลาย เราจะสามารถคำนวณเอนทัลปีของสารละลายได้ โดยอาศัยพื้นฐานที่ว่า “ภายในระบบที่เป็นผนวนกันความร้อน ปริมาณความร้อนที่สูญเสียโดยวัตถุที่อุ่นกว่าต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่วัตถุที่เย็นกว่าได้รับ” ซึ่งหาได้จากสูตร

$$Q = ms \Delta T \quad \dots\dots\dots 2.4$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่วัตถุนิดหนึ่งได้รับเข้ามาหรือสูญเสียออกไป

m คือ มวลของวัตถุ

s คือ ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุ

ΔT คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ค่าความร้อนจำเพาะ (Heat specificity) ความร้อนจำเพาะของสารชนิดหนึ่ง หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ทำให้อุณหภูมิของสารนั้น 1 กรัม เพิ่มขึ้น 1°C กรณีของน้ำบริสุทธิ์มีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ $4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (เท่ากับ $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ค่าความถูกความร้อน (Specific heat) ค่าความถูกความร้อนของแคลอริมิเตอร์ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ทำให้อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์พร้อมอุปกรณ์ที่จำเป็น (เช่น เทอร์โมมิเตอร์ แท่งแก้วสำหรับคน เป็นต้น) เพิ่มขึ้น 1°C

การหาค่าความถูกความร้อนของแคลอริมิเตอร์ (C_s) ในที่นี้จะหาในหน่วยปริมาณความร้อนเป็น จูล (Joule, J) ในการทดลองจะบรรจุน้ำกลั่น 50.0 cm^3 (มีน้ำดี 50.0 g เนื่องจากน้ำมีความหนาแน่น 1 g/cm^3) ลงในแคลอริมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำเป็น T_i เท่านี้อีก 50.0 cm^3 ที่ทำให้ร้อนอุณหภูมิ T_f ลงในแคลอริมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของน้ำสามให้อุณหภูมิสุดท้ายเป็น T_f โดยความร้อนที่สูญเสียจากน้ำร้อน เท่ากับความร้อนที่น้ำเย็นและส่วนต่าง ๆ ของแคลอริมิเตอร์ได้รับ หาได้จากสมการ

$$Q = ms \Delta T$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

m คือ มวลของน้ำ (หรือสารละลาย)

s คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ = $4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ

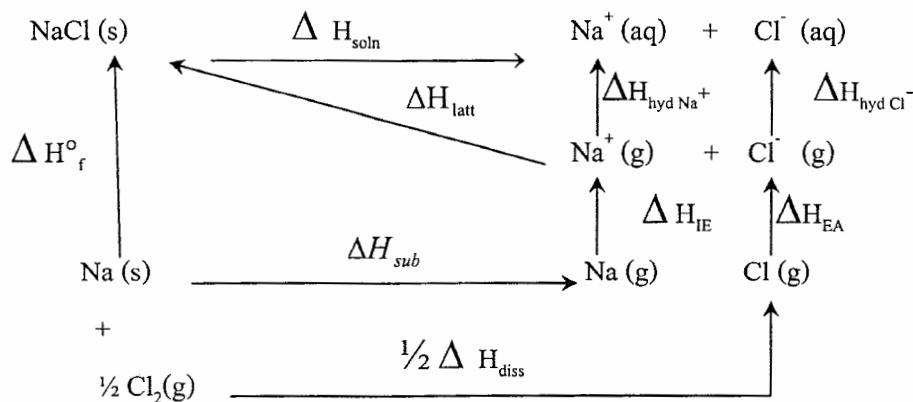
$$\text{ดังนั้น ความร้อนที่น้ำร้อนสูญเสีย} = (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (T_2 - T_f) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 209.2 (T_2 - T_f) \text{ J} \quad \dots\dots\dots 2.5$$

ΔH_{latt} มีค่าเป็นลบ (-) เนื่องจากมันคือการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน

การหาค่าพลังงานแผลตทิช ไม่สามารถหาได้โดยตรงจากการทดลอง แบบเดียวกับเงื่อนทัตปีของสารละลาย เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอ แต่เราสามารถคำนวณได้โดยอาศัย วัฏจักรบอร์น-ชาเบอร์ (Born - Haber cycle) ซึ่งมีพื้นฐานจาก กฎของไฮส์ (Hess's law) ที่ว่า “ในปฏิกิริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนthalpie ของปฏิกิริยาร่วมจะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนthalpie ในปฏิกิริยาอย่างอื่น” ซึ่งการรวมเป็นไปแบบพีชคณิต

วงจรบอร์น - ชาเบอร์ ที่ใช้คำนวณหาพลังงานแผลตทิชของ NaCl เมื่อพิจารณาเอนthalpie ของการละลาย NaCl ร่วมด้วย เป็นดังนี้



ΔH_{soln} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการละลาย NaCl(s) ในน้ำซึ่งหาได้จากการทดลอง (Enthalpy of solution)

$\Delta H_{hyd\ Na^+}$, $\Delta H_{hyd\ Cl^-}$ คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก Na⁺ และ Cl⁻ ถูกกลืนmoron ด้วยโนเดกุลของน้ำ (Enthalpy of hydration) ตามลำดับ

ΔH_{sub} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออะตอมโลหะ โขเดิมกล้ายเป็นไอ
 $Na(s) \longrightarrow Na(g)$ คือ Enthalpy of sublimation

ΔH_{diss} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก โนเดกุลของเก็สคลอรินแตกออกเป็นอะตอมเดียว $Cl_2(g) \longrightarrow 2 Cl(g)$ คือ Enthalpy of dissociation แต่ในที่นี้ใช้เพียงครึ่งเดียว จึงเป็น $\frac{1}{2} Cl_2(g) \longrightarrow Cl(g)$ คือ $\frac{1}{2} \Delta H_{diss}$

ΔH_{IE} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อ อะตอมของโลหะ Na(g) ให้ e⁻ และเป็น Na⁺(g)
 $Na(g) \longrightarrow Na^+(g) + e^-$ คือค่า Ionization energy
 ΔH_{EA} คือ เอนthalpie ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อ อะตอม Cl(g) รับ e⁻
 $Cl(g) + e^- \longrightarrow Cl^-(g)$ คือค่า Electron affinity

ΔH_f° คือ เอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงในการเกิดสารประกอบ NaCl (s) คือ
Enthalpy of formation

จากการพิจารณาของรัตน-ชาเบอร์ ดังกล่าว และอาศัยกฎของไฮสต์ จะได้ว่า

$$\Delta H_{\text{soln}} = \Delta H_{\text{sub}} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{diss}} + \Delta H_{\text{IE}} + \Delta H_{\text{EA}} + \Delta H_{\text{hydNa}^+} + \Delta H_{\text{hydCl}^-} - \Delta H_f^\circ \quad \dots\dots\dots 2.9$$

$$\text{และ } \Delta H_{\text{latt}} = \Delta H_{\text{hydNa}^+} + \Delta H_{\text{hydCl}^-} - \Delta H_{\text{soln}} \quad \dots\dots\dots 2.10$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีต่างๆ ของโซเดียมคลอไรด์ เป็นดังนี้

$$\Delta H_{\text{hydNa}} = -401.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{hydCl}} = -363.6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_f^\circ = -410.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

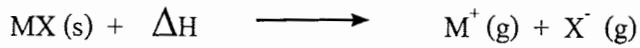
$$\Delta H_{\text{sub}} = 108.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{diss}} = 242.6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{IE}} = 493.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{EA}} = -364.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ในทางตรงข้ามเราสามารถถกกล่าวได้ว่า เมื่อต้องการทำให้พลีกไออ่อนิก 1 โนมล แยกออกจากกันเป็น ไออ่อนที่มีประจุต่างชนิดกันในสภาพแวดล้อม จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ พลังงานแล็ตทิชของพลีกนั้นนั่นเอง ดังสมการ



ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ΔH มีค่าเป็นบวกของค่า ΔH_{latt} (ตัวเลขเท่ากับ ΔH_{latt})

พลังงานแล็ตทิชของสารประกอบไออ่อนิก สามารถหาได้จาก สมการอร์น - แลนเด (Born Lande equation) ดังนี้

$$U_0 = \frac{MZ^+Z^-e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_0} N \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad \dots\dots\dots 2.11$$

เมื่อ $U_0 = \Delta H_{\text{latt}}$ คือ ค่าพลังงานแล็ตทิชของสารประกอบไออ่อนิก

M คือ ค่าคงตัวมาเดลุง (Madelung constant) ขึ้นกับโครงสร้างของพลีก

Z^+, Z^- คือ จำนวนประจุไออ่อนบวกและไออ่อนลบ ตามลำดับ

e คือ ประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

N คือ เลขอโว加โดโร (Avogadro number) เท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค

π คือ มีค่าเท่ากับ 3.14

ϵ_0 คือ permittivity of free space มีค่าเท่ากับ $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-2}$

r_0 คือ ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของไอออนบวกและไอออนลบ

n คือ เลขชี้กำลัง (Born exponent) มีค่าเท่ากับชนิดของไอออนในผลึก

กรณีสารประกอบ NaCl มีค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$M = 1.74756$$

$$Z^+ = +1 \text{ (ประจุของ } \text{Na}^+)$$

$$Z^- = -1 \text{ (ประจุของ } \text{Cl}^-)$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$N = 6.02 \times 10^{23} \text{ ions mol}^{-1}$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$r_0 = 2.814 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$n = 8$$

เมื่อนำค่าต่าง ๆ แทนในสมการ 2.11 ที่สามารถหาค่า ΔH_{latt} ของ NaCl จากสมการบอร์น - แلنเด ได้

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ทำการทดลองหาค่าเรอนทัลปีของสารละลายได้
2. คำนวณค่าพลังงานແلاتทิซของสารประกอบไอโอนิก จากวัสดุกรอบอร์น - ชาเบอร์ เมื่อทราบค่าพลังงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
3. คำนวณค่าพลังงานແلاتทิซของสารประกอบไอโอนิกจากสมการบอร์น - แلنเด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้ จากวัสดุกรอบอร์น-ชาเบอร์ได้

สารเคมี

1. NaCl (Sodium chloride)
2. H₂O (Distilled water)

อุปกรณ์

1. ชุดแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) อย่างง่าย 2 ชุด
2. เครื่องชั่งแบบ Triple beam
3. บีกเกอร์ (Beaker) 50 cm^3 และ 250 cm^3
4. กระบอกตวง (Graduated cylinder) 100 cm^3
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) อ่านได้ละเอียดถึง 0.1°C 2 อัน
6. เตาไฟฟ้า (Hot plate)

วิธีทดลอง

1. การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

การตรวจสอบเทอร์มอมิเตอร์ เนื่องจากการทดลองนี้ต้องใช้เทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน จะต้องเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ 2 อันนี้ก่อน โดยจุ่มเทอร์มอมิเตอร์ทั้งสองในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที และอ่านอุณหภูมิ ถ้าค่าต่างกัน ก็แก้ไขโดยบวกหรือลบอุณหภูมิที่ต่างกันจากเทอร์มอมิเตอร์อีกอันหนึ่ง เช่น อันที่ 1 อ่านได้ 30°C อันที่ 2 อ่านได้ 30.2°C เมื่อนำไปใช้ทดลองเราต้องแก้ไขโดย อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์อันที่ 2 ต้องลบด้วย 0.2°C

1.1 ประกอบแคลอริมิเตอร์ดังภาพที่ 3ค

ตวงน้ำก้นลึก 50.0 cm^3 ใส่ในแคลอริมิเตอร์ตามรูป 2.2 ตั้งทิงไว้สักครู่เพื่อให้อุณหภูมิกที่ วัดอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1)

1.2 ตวงน้ำก้นลึก 50.0 cm^3 บรรจุในบีกเกอร์ แล้วอุ่นให้อุณหภูมิประมาณ $45 - 50^\circ\text{C}$ ใช้เทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งคนไปด้วยเบา ๆ เท่าน้ำร้อนลงในแคลอริมิเตอร์อีกใบหนึ่ง ปิดฝาวัดอุณหภูมิที่แน่นอนเอาไว้ให้เป็นอุณหภูมิ T_2

1.3 เริ่มจับเวลา รีบเทน้ำร้อนทั้งหมดลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำเย็น และเทอร์โมมิเตอร์พร้อมที่ค่อนขุ่นก่อนแล้ว

1.4 ปิดผ้าทันทีแล้วคนเบา ๆ ตลอดเวลา

1.5 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที จนครบ 5 นาที เลือกค่าที่อ่านได้ช้ามากที่สุดเป็นอุณหภูมิพสมหรืออุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย (T_p)

1.6 คำนวณความร้อนที่สูญเสียโดยนำร้อน ความร้อนที่นำเย็นได้รับ และค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ในหน่วยจูล (J)

1.7 ถ่ายน้ำออกจากแคลอริมิเตอร์ ถ้างด้วยน้ำประปา (เพื่อให้อุณหภูมิเข้าสู่

อุณหภูมิห้องเร็วที่ 2) เช็ดให้แห้ง ทิ้งไว้เย็น แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.1-1.6 เป็นการทดลองครั้งที่ 2

1.8 คำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ ทั้ง 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย (C_c)

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ (C_c)

$$\text{สมนติ} \quad \text{อุณหภูมิของน้ำเย็น} (T_1) = 30.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิของน้ำอุ่น} (T_2) = 48.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม} (T_f) = 37.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{น้ำหนักของน้ำอุ่น} = \text{น้ำหนักของน้ำเย็น} = 50.0 \text{ g}$$

$$(\text{น้ำมีความหนาแน่น } 1.0 \text{ g/cm}^3 \text{ ในที่นี่ใช้น้ำเย็น } 50.0 \text{ cm}^3 \text{ และน้ำอุ่น } 50.0 \text{ cm}^3)$$

การคำนวณ

$$\text{ความร้อนที่นำอุ่นคายออกมาน้ำเย็น} \quad Q = ms \Delta T$$

$$= (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (T_2 - T_f)$$

$$= (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (48.0 - 37.7) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 2,154.76 \text{ J}$$

$$\text{ความร้อนที่นำอุ่นคายออกมาน้ำเย็น} = \text{ความร้อนที่นำเย็นได้รับ} + \text{ความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ได้รับ}$$

$$Q = ms \Delta T + C_c \Delta T$$

$$\text{เมื่อ } \Delta T = T_f - T_1 = (50.0 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (37.7 - 30.9) \text{ } ^\circ\text{C} + C_c (37.7 - 30.9) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{แทนค่า } 2,154.76 \text{ J} = 1,422.56 \text{ J} + C_c (6.8 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$C_c = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\therefore \text{ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์} = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

2. หาค่าเอนกประสงค์ของสารละลายของพลีกโซเดียมคลอไรด์

นำแคลอริมิเตอร์ใบเดิมที่แห้งและประกอบตามรูป 2.1 ตวงน้ำเกลี้ยงใส่ลงไป 100 cm^3

2.2 ตั้งทิ้งไว้จนกว่าอุณหภูมิของน้ำคงที่ บันทึกอุณหภูมิไว้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1)

2.3 ชั่ง NaCl ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 8 กรัม

2.4 เริ่มจับเวลา แล้วรีบเท NaCl ทั้งหมดจากข้อ 2.3 ลงในแคลอริมิเตอร์ที่มีน้ำบรรจุอยู่

2.5 ปิดฝาทันที แล้วคนเบาๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา

2.6 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที จนกว่าจะได้อุณหภูมิที่มีค่าสม่ำเสมอ เป็นอุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายน (T_4)

2.7 ถังแคโลริเมเตอร์และเทอร์มомิเตอร์ ทำให้แห้งแล้วทำการทดลองใหม่อีก 2 ครั้ง เมื่อขึ้นชื่อ 2.1 ถึง 2.6 แต่เปลี่ยนน้ำหนักของ NaCl เป็น 9 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ บันทึกค่าที่ได้แล้วหาค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเออนทัลปีของสารละลายน (ΔH_{soln})

$$\text{อุณหภูมิเริ่มต้น} (T_3) \text{ ของน้ำ} = 31.05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายน} (T_4) = 30.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{น้ำหนักสารละลายน} = \text{น้ำหนักของน้ำ} + \text{น้ำหนักของ NaCl} = 108 \text{ g}$$

$$\text{ความร้อนจำเพาะของสารละลายน} = 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{ความรุ่นความร้อนของแคโลริเมเตอร์} = 107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$$

การคำนวณ

ความร้อนที่ NaCl ได้รับ = ความร้อนที่สารละลายหายออกมา + ความร้อนที่แคโลริเมเตอร์หายออกมา

$$\begin{aligned} &= ms \Delta T + C_c \Delta T \\ &= (108 \text{ g} \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (30.1 - 31.05) \text{ } ^\circ\text{C} + (107.68 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}) (30.1 - 31.05) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= (-431.98 \text{ J}) + (-102.296 \text{ J}) \\ &= -534.28 \text{ J} \end{aligned}$$

การละลายของ NaCl เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบลดความร้อน

ดังนั้น ความร้อนที่ NaCl 8 g ได้รับ = 534.28 J

หรือความร้อนที่ NaCl 1 mol (58.5 g) ได้รับ (ΔH_{soln}) = 3.9 kJ mol⁻¹2.12

3. นำค่าเออนทัลปีของสารละลายน NaCl ตามสมการ 2.12 ไปคำนวณหาค่าพลังงานแผลตทิช

จากสมการ 2.10

นำค่าพลังงานแผลตทิชที่คำนวณได้นี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานแผลตทิชที่คำนวณได้ จากสมการบอร์น - แلنเด (สมการ 2.11)

**รายงานผลการทดลอง
เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแอลติช**

ชื่อผู้รายงาน..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 2..... เลขที่..... กลุ่ม..... โปรแกรมวิชา.....
 วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การหาค่าความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ (C_c)

การอ่านอุณหภูมิโดยเทอร์มомิเตอร์อันที่ 1 $^{\circ}\text{C}$ อันที่ 2 $^{\circ}\text{C}$

การแก้ไข.....

ผลการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของน้ำเย็น	g	g
น้ำหนักของน้ำอุ่น	g	g
อุณหภูมิของน้ำเย็น (T_1)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิของน้ำอุ่น (T_2)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม (T_f)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำเย็น ($T_f - T_1$)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำอุ่น ($T_2 - T_f$)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
ความร้อนที่นำอุ่นจากอุกมา	J	J
ความร้อนนำเย็นได้รับ	J	J
ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ	J	J
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์เฉลี่ย (C_c)	$\text{J } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	

แสดงวิธีคำนวณหาความรุ่นของแคลอรีมิเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 1

2. การหาค่าเอนทัลปีของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})

2.1 ผลจากการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนัก NaCl	g	g	g
น้ำหนักน้ำ	g	g	g
น้ำหนักของสารละลายน้ำ ($NaCl + \text{น้ำ}$)	g	g	g
อุณหภูมิของน้ำ (T_3)	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
อุณหภูมิสารละลาย (T_4)	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
ผลต่างของอุณหภูมิ ($\Delta T = T_4 - T_3$)	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})	$kJ mol^{-1}$	$kJ mol^{-1}$	$kJ mol^{-1}$
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln}) โดยเฉลี่ย			$kJ mol^{-1}$

แสดงวิธีคำนวณหาอ่อนหักปี (ΔH_{soln}) ของสารละลายน้ำ NaCl โดยนำข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 มาคำนวณ

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

นำค่า ΔH_{soln} โดยเฉลี่ยของสารละลายน้ำ NaCl ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่หาได้จากสมการ 2.9 (วัฏจักรบอร์น – ชาเบอร์)

2.2 การคำนวณ ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ตามสมการ 2.9

.....
.....
.....
.....
.....

2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl จากการทดลอง (ข้อ 2.1) และการคำนวณได้ (ข้อ 2.2)

.....
.....
.....
.....
.....

3. คำนวณหาค่าพลังงานແلاتกิซของ NaCl (ΔH_{latt})

3.1 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl (สมการ 2.10)

โดยนำค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่คำนวณได้ในข้อ 2.1 มาแทนค่าพร้อมข้อมูลที่กำหนดให้

.....
.....
.....
.....
.....

3.2 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl ตามสมการ บอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

.....
.....
.....
.....
.....

ผลการเปรียบเทียบ ΔH_{latt} ของ NaCl จากการทดลองหาค่า ΔH_{soln} ของ NaCl แล้วนำໄປแทนค่าในสมการ 2.10 กับการคำนวณจากสมการบอร์น – ແලນເດ (สมการ 2.11)

.....
.....
.....
.....
.....

วิจารณ์ผลการทดลอง

.....
.....
.....
.....
.....

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....

คำถาม

1. จงให้นิยามของคำต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี

.....
.....
.....
.....
.....

ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี = จูดิ

1.2 ความร้อนจำเพาะของสาร

1.3 ความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

1.4 การเปลี่ยนแปลงแบบคุณลักษณะงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH

1.5 การเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH

2. เอนทัลปีของการละลายของ NaCl ในการทดลองครั้งนี้เป็นค่าคงที่หรือไม่
 เพราะเหตุใด

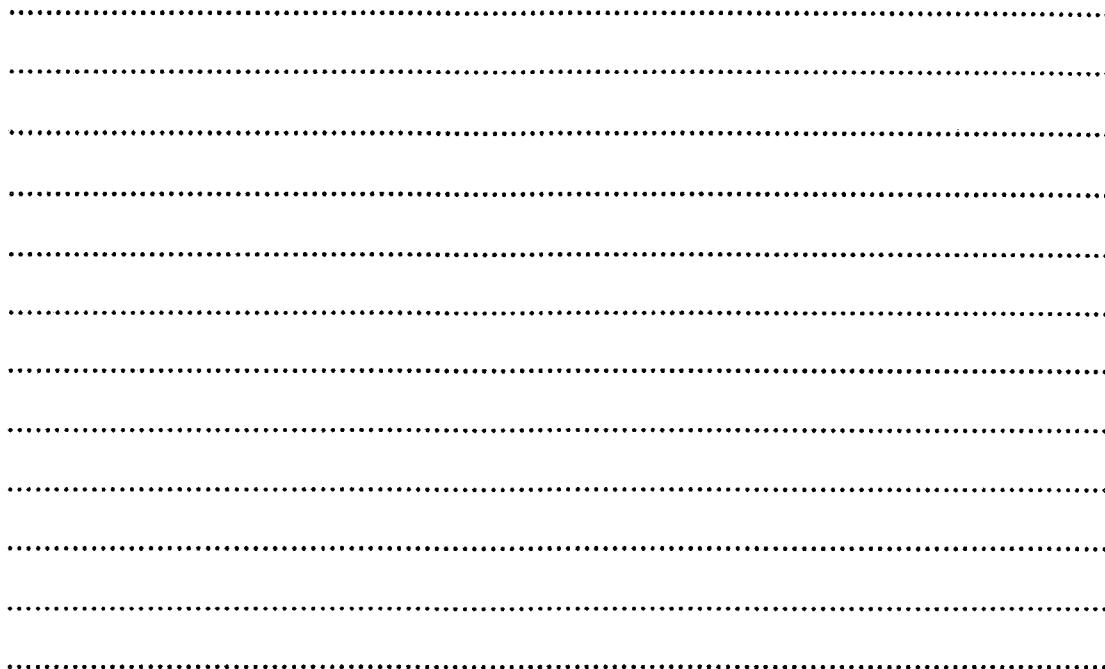
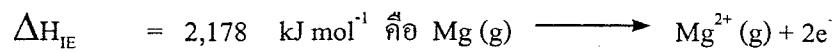
3. ในการทดลองครั้งนี้หากค่านอกของถ่ายสำหรับโฟมเปียกจะเป็นอย่างไร

4. จงคำนวณหาพลังงานแลดตทิชของผลึก MgO และเขียนวัฏจักร บอร์น-ชาร์เบอร์นา ด้วยกำหนดให้

$$\Delta H_f^\circ = -609.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{sub}} = 152.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\frac{1}{2}\Delta H_{\text{diss}} = 247.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

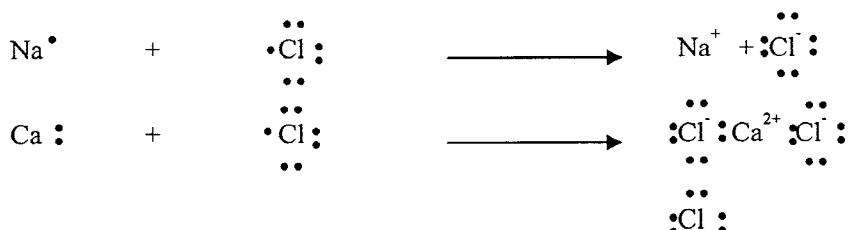


ตอนที่ 3 สารประกอบไอออนิก สารประกอบโคแวนต์ และปฏิกิริยาไอออนิก

IONIC COMPOUND COVALENT COMPOUND AND IONIC REACTION

บทนำ

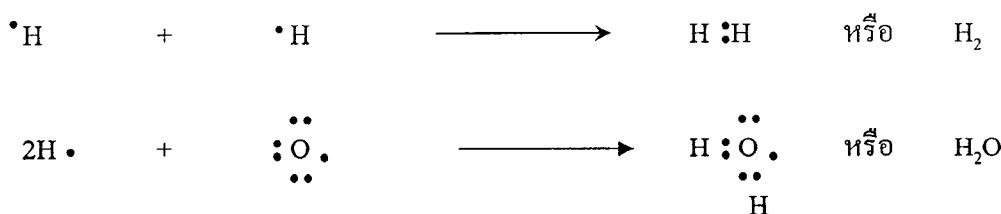
เมื่ออะตอมของโลหะและโลหะที่ว่องไวเกิดปฏิกิริยากัน จะมีการเคลื่อนข่าย (Transfer) อิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอนหรือมากกว่าจากโลหะไปยังโลหะ ทำให้โลหะมีประจุเป็นบวก และอโลหะมีประจุเป็นลบ เพราะโดยทั่วไปธาตุมีแนวโน้มที่จะจัดอิเล็กตรอนให้มีเวลน์ซ์ อิเล็กตรอน (Valence electron) เมื่อันชาตุเลือย ซึ่งทำให้มีความเสถียร (Stability) สูงสุด นิยมเขียน สูตรแบบจุด (Electron dot formula) แสดงการเกิดพันธะ ดังเช่นการเกิดสารประกอบ NaCl และ CaCl₂ ดังนี้



อะตอมหรือหมู่อะตอมที่มีประจุไฟฟ้า เรียกว่า ไอออน (Ion) แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง ไอออนที่มีประจุต่างชนิดกัน เรียกว่า พันธะไอออนิก (Ionic bond) และเรียกสารประกอบที่เกิดจาก พันธะไอออนิกว่า สารประกอบไอออนิก (Ionic compound) โดยจะมีอะตอมของโลหะ ซึ่งมีค่า พลังงานไออ้อนในเชิง (Ionization energy) ต่ำ เป็นไอออนบวก (Cation) และอโลหะ ซึ่งมีค่าสัม พรรคภาพอิเล็กตรอน (Electron affinity) สูง เป็น ไอออนลบ (Anion)

สารประกอบไออันิกออกจากมีองค์ประกอบเป็น ไอออนอะตอมเดียว (Monoatomic ion) เช่น Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺, O²⁻ ฯลฯ แล้ว ยังมีสารไออันิกจำนวนมากที่ประกอบด้วย ไอออนที่มีหลาย อะตอม (Polyatomic ion) เช่นสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO₃) ประกอบด้วย Na⁺ ซึ่งเป็น Monoatomic ion และ HCO₃⁻ เป็น Polyatomic ion เป็นต้น

เมื่ออะตอมของธาตุ 2 ชนิด ที่มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ (Electronegativity) เท่ากันหรือ ใกล้เคียงกันมาเกิดปฏิกิริยากันจะมีการใช้เวลน์ซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน (Sharing electron) เพื่อให้ อิเล็กตรอนเข้าคู่กัน เช่น



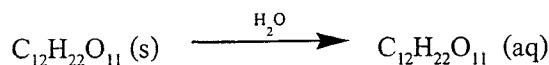
พันธะเช่นนี้เรียกว่า พันธะ โคเวเลนต์ (Covalent bond) กรณีการเกิด H_2O ธาตุ O มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ 3.5 ซึ่งมากกว่า H ที่มีค่าส่วนไฟฟ้าลบ 2.1 พันธะที่เกิดขึ้นเป็นพันธะ โคเวเลนต์มีชื่อ (Polar covalent bond) หรือมีลักษณะ ไอโอนิกย้อย (Partially ionic character)

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพันธะมี 2 ชนิด คือ พันธะ ไอโอนิกและพันธะ โคเวเลนต์ และระหว่างพันธะทั้งสองเป็นพันธะ ไอโอนิกย้อย (Partially ionic bonds)

3.1 การนำไฟฟ้าของสารละลาย (Electrical conductivity of solution)

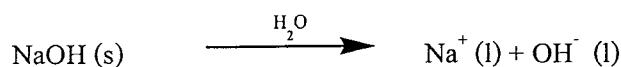
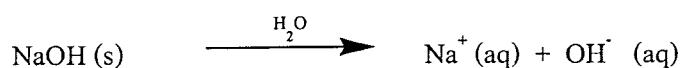
เมื่อสารประกอบ โคเวเลนต์ละลายน้ำ หรือละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม จะไม่นำไฟฟ้า เพราะการละลายของสาร โคเวเลนต์เกิดจากโมเลกุลแยกออก แต่ว่ามีโมเลกุลของตัวทำละลายเข้าล้อมรอบ

เช่น การละลายของน้ำตาล ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ในน้ำ เขียนสมการแสดงได้ดังนี้

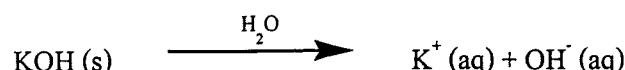
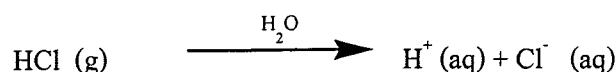


การละลายของ $C_{12}H_{22}O_{11}$ ไม่มีการแตกตัวเป็น ไอโอน จึงเป็นสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้า เรียกว่า นอนอิเล็กโทรไลต์ (non electrolyte) ซึ่งสารอื่น ๆ ที่มีลักษณะเดียวกัน ไม่มีการแตกตัวเป็น ไอโอนสารละลายไม่นำไฟฟ้า

แต่สำหรับ กรด เบส และเกลือที่เป็นสารประกอบ ไอโอนิก หรือสารประกอบ โคเวเลนต์ ที่มีชื่อ เมื่อเกิดการละลายจะมีการแตกตัวให้ ไอโอนอิสระในการเคลื่อนที่ ทำให้สารละลายนำไฟฟ้าได้ หรือสารประกอบ ไอโอนิกเมื่อหลอมเหลวด้วยความร้อน ก็จะแตกตัวได้ ไอโอนอิสระ สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงนำไฟฟ้าได้ เช่นกัน ตัวอย่าง เช่น



ซึ่งกรดแก่ เบสแก่ และเกลือ ที่ละลายน้ำทุกชนิด จะแตกตัวอย่างสมบูรณ์ (100%) ในสารละลายเจือจางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ (Strong electrolyte) เช่น





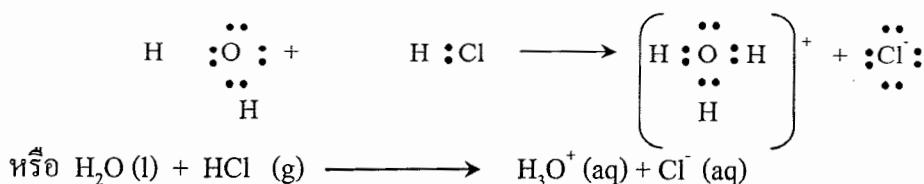
แต่ในสารละลายนองกรดอ่อน เปนสอ่อน หรือเกลือที่ละลายได้น้อย (Slightly salt) อนุภาคในสารละลายน่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปเป็นโมเลกุล ถึงแม้สารละลายนจะมีความเข้มข้นสูง แต่ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายน้ำ สารละลายนจึงนำไฟฟ้าได้น้อย เรียกว่า อิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak electrolyte)

สำหรับเกลือที่ละลายได้น้อยนั้น สารละลายนนั้นก็สามารถนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าหากส่วนที่ ละลายแตกตัวเป็นไอออน ได้มากหรือได้หมด

นั่นคือ สารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า (Ions) ในสารละลายน ถ้ามีจำนวนมากสารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดี และยิ่งไอออนนั้น ๆ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) สูงสารละลายนจะนำไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น เช่น สารละลายนที่มี H^+ อยู่จะนำไฟฟ้าได้ดีเนื่องจาก H^+ มีความสามารถในการเคลื่อนที่ดีที่สุด (H^+ นำไฟฟ้าได้ดีกว่าไอออนอื่น ๆ ประมาณ 5-7 เท่า)

3.2 ไฮเดรตไอออน (Hydrate ion)

เมื่อสารประกอบโคลเวเลนต์ที่มีข้าว เช่น HCl ละลายนในน้ำซึ่งมีสภาพข้าวแรง จะเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างโปรตอน(H^+)ที่มีประจุบวก กับประจุลบของอิเล็กตรอนคู่โดยเดี่ยวของ O ในน้ำ ได้ไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium ion, H_3O^+) คือ ไฮเดรตโปรตอน , $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})$ นั่นเอง



ซึ่งสารละลายนองกรดในน้ำจะมีการแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนและไอออนลบเสมอ เมื่อนำ HCl ละลายนในตัวทำละลายน้ำที่ไม่มีข้าว (Non polar solvent) เช่น ตัวทำละลายนินทรีย์ H^+ จะไม่แยกออกจาก Cl^- ดังนั้น HCl จึงไม่ละลายนในตัวทำละลายนังกล่าว

ไอออนทุกชนิดจะถูกดูดลูบด้วยโมเลกุลของ H_2O ในสารละลายนที่มี H_2O เป็นตัวทำละลายน เช่น Cu^{2+} จะดึงดูดกับ H_2O 4 โมเลกุล เกิดเป็น $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ และ Al^{3+} จะดึงดูดกับ H_2O 6 โมเลกุล เกิดเป็น $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ แต่โดยทั่วไปเราจะเขียนเป็น $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$

3.3 บทบาทของตัวทำละลายในปฏิกิริยาการแตกตัว (The Role of the Solvent in Dissociation Reactions)

ปฏิกิริยาของสารละลายส่วนใหญ่ คือภายในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous solution) แต่เราต้องคำนึงถึงตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ (Non aqueous solvent) ด้วย ซึ่งการแตกตัวของกรด เปبسและเกลือน้ำ ขึ้นกับสมบัติของตัวทำละลาย เช่น การแตกตัวของกรดในน้ำ จะให้ H^+ โดยมี H_2O ถ้ามีกรด ซึ่งการแตกตัวของกรดขึ้นกับธรรมชาติความเป็นเบสของตัวทำละลาย เช่น CH_3COOH แตกตัวเพียงบางส่วนใน H_2O แต่จะแตกตัวสมบูรณ์ (100%) ในตัวทำละลายที่เป็นเบสแรงกว่า H_2O เช่น แอมโมเนียมคลอไรด์ NH_4Cl (1)

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ของตัวทำละลาย และเอนทัลปีของสารละลาย (Enthalpy of solution) ก็เป็นเรื่องสำคัญเช่นกัน ถ้าไอออน 2 ชนิด มีประจุต่างกันอยู่ในสุญญากาศ แรงระหว่างไอออนดังกล่าว เป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ คือ

$$\text{force} = \frac{kz^+z^-}{r} \quad \dots\dots\dots 3.1$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัว

z^+ , z^- เป็นประจุของไอออนบวกและไอออนลบตามลำดับ

r เป็นระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของ 2 ไอออน

เมื่อไอออนทั้งสองอยู่ในสารที่เป็นตัวกลาง (Material medium) แรงดึงดูดระหว่างไอออนจะลดลง เป็นปฏิกิริยาคลับกับค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ) ของตัวกลาง ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\text{Force} = \frac{kz^+z^-}{\epsilon r} \quad \dots\dots\dots 3.2$$

จากสมการ 3.2 จะเห็นว่า พลังงานที่ใช้แยกไอออนทั้งสองออกจากกันจะลดลงเมื่อค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของตัวกลางเพิ่มขึ้น ดังนั้น ตัวทำละลายตัวกลางที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสูงจะส่งเสริมให้การแตกตัวของตัวฤทธิ์ละลาย ไอออนนิกเกิดได้ดีกว่าในตัวทำละลายที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกต่ำกว่า เพราะทำให้แรงดึงดูดระหว่างไอออนลดลงมากกว่า จึงแตกออกจากกันได้ง่ายขึ้น ตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน นักมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกน้อยกว่า 5 ($\epsilon < 5$) ไม่สามารถละลายสารประกอบ ไอออนนิกได้ แต่น้ำมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก 81.7 ($\epsilon = 81.7$) จะเป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารประกอบ ไอออนนิก

พลังงานของการเกิดสารละลายเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง เมื่อตัวฤกษ์ละลายไอออนิกเกิดการแตกตัว (Dissociation) ในตัวทำละลาย พลังงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ขึ้นกับ

1. พลังงานแผลตทิช (Lattice energy) สารประกอนไอออนิกที่มีพลังงานแผลตทิชสูง จะต้องใช้พลังงานในการแยกไอออนบวกและไอออนลบออกจากโครงผลึกสูงค่าย (พลังงานที่ใช้แยกไอออนออกจากกันนี้ มีค่าเท่ากับพลังงานแผลตทิชของผลึกนั้น)

2. พลังงานโซลเวชัน (Solvation energy) เป็นพลังงานที่คายออกมานี้ เมื่อไอออนของตัวฤกษ์ละลายและโมเลกุลของตัวทำละลายยึดเหนี่ยว กัน (Association) ซึ่งเป็นผลมาจากการอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างประจุไฟฟ้าของไอออนกับข้อไฟฟ้าของโมเลกุลตัวทำละลาย

3.4 สมการไอออนิก (Ionic equation)

สมการสำหรับปฏิกิริยาเคมี รวมทั้ง กรด เบส และเกลือ บางครั้งเขียนแสดงในรูปของโมเลกุล ถ้าหากโมเลกุลเป็นอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยา เช่น



สมการนี้ถูกต้องหากต้องการแสดงปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ในปฏิกิริยา แต่เมื่อศึกษาอย่างละเอียดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาของสาร ไอออนิกพบว่าบางไอออนเท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาจะเขียนเฉพาะสูตรของไอออนที่เกิดปฏิกิริยาและโมเลกุลที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น

จากข้อมูลการนำไฟฟ้าของสารละลาย สำหรับสารละลายกรด HNO_3 กับสารละลาย NaOH ในน้ำเมื่อเกิดปฏิกิริยากัน เราสามารถเขียนสมการแสดงไอออนและโมเลกุลที่ปรากฏก่อน และหลังเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้



เรียกสมการ 3.3 นี้ว่า สมการไอออนิกรวม (Total ionic equation)

สำหรับ Na^+ และ NO_3^- ที่ปรากฏหลังเกิดปฏิกิริยาจะเหมือนกัน ก่อนเกิดปฏิกิริยา จึงจะเร้นไว้ไม่ต้องนำมาเขียนในสมการ จะแสดงเฉพาะไอออนที่เกิดปฏิกิริยาเท่านั้น คือ



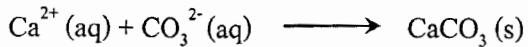
เรียกสมการ 3.4 นี้ว่า สมการไอออนิกสุทธิ (Net ionic equation)

ดังนั้นการเขียนสมการไอออนิก เราสนใจเฉพาะสิ่งที่เปลี่ยนแปลงเป็นสำคัญ จากสมการการลดลงของสมบัติกรด-เบส ซึ่งขึ้นกับปริมาณ H^+ และ OH^- ตามลำดับ เมื่อไอออนทั้งสองนี้รวมกันเป็น H_2O โมเลกุลของ H_2O แตกตัวได้น้อย จึงทำให้ปริมาณของ H^+ และ OH^- ลดลงอย่างมาก การนำไฟฟ้าของสารละลายจะลดลง

เมื่อสารละลายน NH_4Cl กับ NaOH เกิดปฏิกิริยา กัน แสดงได้ดังนี้

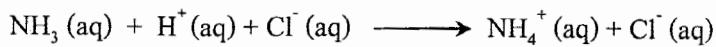


การเกิด NH_3 ไม่เหมือนการเกิด H_2O เพราะ NH_3 แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าน้ำ ตัวอย่างของไอออนที่เกิดการรวมกันเป็นสารที่ไม่ละลาย เช่น

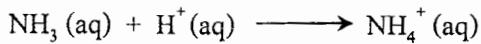


โดย Ca^{2+} อาจมาจากเกลือที่ละลายน้ำ เช่น CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ และ CO_3^{2-} จาก Na_2CO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ หรือเกลือการ์บอนเนตอื่น ๆ ที่แตกตัวได้ดี

ในบางปฏิกิริยา เป็นการเปลี่ยนสารที่แตกตัวได้น้อยไปเป็นสารที่แตกตัวได้น้อยกว่า เช่น NH_3 เมื่อถูกสะเทินด้วย HCl เขียนสมการ ไอออนนิกรุม ได้เป็น



สมการ ไอออนนิกรูม คือ



เราพิจารณาตั้งแต่ H_2O แตกตัวได้ไม่ดีเท่า NH_3 ดังกล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม การเกิดปฏิกิริยาสะเทินของ NH_3 กับ HCl จะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ดังเช่นปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่ กับเบสแก่

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง H_2CO_3 ซึ่งแตกตัวได้น้อย กับ CaCO_3 เขียนสมการ ไอออนนิกร ได้ดังนี้



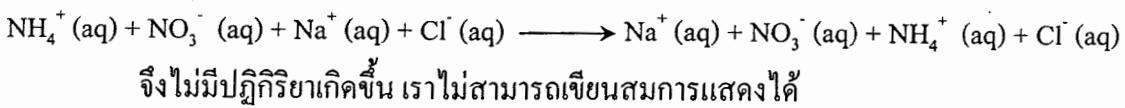
กรด H_2CO_3 ละลายได้ไม่ดีมาก และแตกตัวเป็น H_2O กับแก๊ส CO_2

จะเห็นได้ว่าการเขียนสมการ ไอออนนิกร ระหว่างและแสดงเฉพาะ ไอออนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงและสารที่ละลายได้น้อย หรือแตกตัวได้น้อยซึ่งอยู่ในรูปโน้มถ่วง เท่านั้น

ในบางครั้งเมื่อเรานำสารละลายนสองชนิดมาผสมกัน แล้วได้สารที่แตกตัวเป็น ไอออนเดิม ได้ดี เราไม่สามารถเขียนแสดงได้ด้วยสมการ ไอออนนิกร ดังเช่น สารละลายน NH_4NO_3 ผสมกับสารละลายน NaCl ได้ NaNO_3 และ NH_4Cl



สมการนี้ไม่มีความหมาย เพราะเกลือ NaNO_3 และ NH_4Cl ละลายน้ำได้ดีและแตกตัวได้สูง จึงได้เป็น



ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) ตรวจวัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย ของแข็ง และของเหลว เพื่อทดสอบว่าสารนั้น ๆ นำไฟฟ้าได้หรือไม่ แล้วนำผลที่ได้มาพิจารณาว่าสารต่าง ๆ เหล่านั้นมีอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบ เช่นไร ต่อไป

วัสดุประสงค์เชิงพุติกรรม

1. ทำการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารและสารละลายได้
2. อธิบายและเปรียบเทียบการแตกตัวเป็นไอออนของสารละลาย โดยอาศัยข้อมูลการนำไฟฟ้า ของสารละลายที่ทดลองได้
3. เขียนสมการ ไอออนนิกรุมและ ไอออนิกสูตรของปฏิกิริยาได้

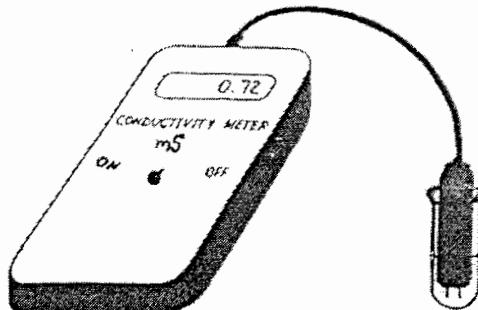
สารเคมี

1. น้ำกลั่นปราศจากไอออน	(Deionized water)
2. น้ำประปา	(Tap water)
3. 95 % C_2H_5OH	(Ethanol)
4. 0.01 M C_2H_5OH	(Ethanol solution)
5. $HC_2H_3O_2$	(Glacial acetic acid)
6. 0.01M $HC_2H_3O_2$	(Acetic acid solution)
7. $C_{12}H_{22}O_{11}$	(Sucrose)
8. 0.01 M $C_{12}H_{22}O_{11}$	(Sucrose solution)
9. NaCl	(Sodium chloride)
10. 0.01 M NaCl	(Sodium chloride solution)
11. 0.01 M $HgCl_2$	(Mercury (II) chloride solution)
12. 0.01 M HCl	(Hydrochloric acid solution)
13. 0.01 M NaOH	(Sodium hydroxide solution)
14. 0.01 M NH_3	(Ammonia solution)
15. 0.01 M NH_2CONH_2	(Urea solution)
16. C_6H_6	(Benzene)
17. 0.01 M H_2SO_4	(Sulfuric acid)
18. 0.1 M Ba(OH) ₂	(Barium hydroxide solution)

19. 0.1 M CuSO ₄	(Copper (II) sulphate solution)
20. 0.1 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	(Copper (II) acetate solution)
21. FeS	(Iron (II) sulfide)
22. 6 M HCl	(Hydrochloric acid solution)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)
2. หลอดทดลอง (Test tube) ขนาดใหญ่ 5 หลอด
3. ขวดน้ำ (Wash bottle) 1 ใบ
4. กระบอกตวง (Graduated cylinder) 10 cm³ 2 ใบ
5. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 cm³ 2 ใบ
6. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 150 cm³ 1 ใบ
7. จุดประอุ่นท่อน้ำแก๊ส 1 ชุด
8. ตะเกียงบุนเซ่น (Bunsen burner)



ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า

ข้อควรปฏิบัติในการทดลอง

1. การวัดการนำไฟฟ้าของสารประกอบที่เป็นของแข็งนั้น อิเล็กโทรด (Electrode) ของเครื่องวัดการนำไฟฟ้า ต้องสะอาดและแห้ง โดยซับด้วยกระดาษกรอง
2. ก่อนใช้อิเล็กโทรดทุกรั้งต้องล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและทำให้แห้งก่อนทุกรั้ง

3. ใช้สารละลายปริมาตร 10 cm^3 ใส่ในภาชนะขนาดเท่ากันทุกครั้งที่วัดการนำไฟฟ้า
4. จุ่มอิเล็กโตรคลงไปในสารละลาย ให้ความลึกเท่าๆ กันทุกครั้ง และให้หัวมปลายอิเล็กโตรด

วิธีทดลอง

1. ทดสอบการนำไฟฟ้าของสาร

1.1 ทดสอบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไฮอนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ โดยหากเป็นของแข็งให้ตักมา 2 ช้อนที่กำหนดให้ ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ถ้าเป็นสารละลายใช้ 10 cm^3 ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ได้แก่

Deionized water	NaCl
Tap water	0.01 M NaCl (aq)
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%	0.01 M HgCl_2 (aq)
0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)	0.01 M HCl (aq)
$\text{H C}_2\text{H}_3\text{O}_2$	0.01 M NaOH (aq)
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.01 M NH_3 (aq)
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	0.01 M NH_2CONH_2 (aq)
0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)	C_6H_6

และจากผลการนำไฟฟ้าของสาร ให้จัดประเภทของสารว่าเป็นสารประเภทอนอิเล็กโตรไอลต์ อิเล็กโตรไอลต์อ่อน หรืออิเล็กโตรไอลต์แก่ พร้อมเขียนสูตรแสดงอนุภาคที่มีในสารละลาย เพื่อสนับสนุนผลการทดลอง

1.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลาย โดยจุ่มอิเล็กโตรดของเครื่องวัดการนำไฟฟ้าไว้ใน Deionized water แล้วหยดสารละลาย 0.01 M KF ลงไป 1 หยด คนสารละลายวัดการนำไฟฟ้า แล้วเติมสารละลาย KF ลงไปทีละหยด คนสารละลายแล้ววัดการนำไฟฟ้าเมื่อเติมสารละลาย KF ทุกหยด จนครบ 6 หยด อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

1.3 ศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อการแตกตัวของสาร โดยวัดการนำไฟฟ้าของ

Glacial acetic acid 10 cm^3

Deionized water 10 cm^3

Benzene 10 cm^3

Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm^3

Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm³

อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

1.4 การนำไฟฟ้าของกรดแก่และกรดอ่อน วัดการนำไฟฟ้าของ 0.01 M HCl 10 cm³
เปรียบเทียบกับ 0.01 M HC₂H₃O₂ 10 cm³
อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2. ศึกษาปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่าง ๆ

2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01 M NaOH

วัดการนำไฟฟ้าของ 0.01 M HCl 10 cm³ และ 0.01 M NaOH 10 cm³ แยกกัน
ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน แบ่งครึ่งสารละลายผสมแล้ววัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลายผสม

2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 HC₂H₃O₂ กับ 0.01 M NH₃

ทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่เปลี่ยนสารละลายเป็น 0.01 M HC₂H₃O₂ กับ 0.01 M NH₃

2.3 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H₂SO₄ กับ 0.01 M Ba(OH)₂

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.01 M Ba(OH)₂ 10 cm³ และวัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลาย 0.01 M H₂SO₄ 10 cm³
ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน แบ่งครึ่งสารละลายผสมแล้ววัดการนำไฟฟ้าของ
สารละลายผสมนั้น

อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2.4 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO₄ กับ 0.1 M H₂S

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.1 M CuSO₄ 10 cm³

ผ่านแก๊ส H₂S ลงไปใน Deionized water 10 cm³ ประมาณ 3 นาที ซึ่งคาดว่า
สารละลายอิ่มตัวแล้ว (เข้มข้นประมาณ 0.1 M) และวัดการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้ (เตรียมแก๊ส
H₂S โดยนำ FeS ประมาณ 15 กรัม ทำปฏิกิริยากับ HCl 6 M 20 cm³)

ผ่านแก๊ส H₂S ลงไปในสารละลาย 0.1 M CuSO₄ 10 cm³ ประมาณ 3 นาที และวัด
การนำไฟฟ้าของสารละลายที่ได้ อธิบายผลการทดลองที่สังเกตได้

2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ กับ 0.1 M H₂S

วัดการนำไฟฟ้าของสารละลาย 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ และผ่านแก๊ส H₂S ลงไปใน

สารละลายน้ำ $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ประมาณ 3 นาที วัดการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำที่ได้ ยืนยันการทดลองที่สังเกตได้

**รายงานผลการทดลอง
สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโคลเวเลนต์และปฏิกิริยาไฮอ่อนิก**

ชื่อผู้รายงาน.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 ผู้ร่วมงาน 1.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 2.....เลขที่.....กลุ่ม.....โปรแกรมวิชา.....
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....
 อาจารย์ผู้สอน.....

1. การนำไฟฟ้าของสารละลายน ผลการทดลอง

1.1 จากผลการทดสอบการนำไฟฟ้าของสารให้เขียนแสดงอนุภาคขององค์ประกอบต่างๆ ในสาร โดยอาจเป็นโมเลกุล ไฮอ่อน หรือหิ้งสองอย่าง และจำแนกสารละลายนจากการทดลองออกเป็นกลุ่มนอนอิเล็กโทรไอล์ต์, อิเล็กโทรไอล์ต์อ่อน และอิเล็กโทรไอล์ต์แก่

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})	ชนิดของอนุภาคของสาร
Deionized water		
Tap water		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%		
0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$		
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$		
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)		
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)		
0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)		
NaCl (s)		
0.01 M NaCl (aq)		
0.01 M HgCl_2 (aq)		
0.01 M HCl (aq)		
0.01 M NaOH (aq)		
0.01 M NH_3 (aq)		
0.01 M NH_2CONH_2 (aq)		
C_6H_6		

ของแข็งที่นำไฟฟ้าได้ ได้แก่.....

ของแข็งที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทร ไลต์แก่ ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทร ไลต์อ่อน ได้แก่.....

สารละลายน้ำที่เป็นนอนอิเล็กโทร ไลต์ ได้แก่.....

อธิบายผลการทดลองที่ได้.....

1.2 ผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 1 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 2 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 3 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 4 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 5 หยด mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water $10 \text{ cm}^3 + 0.01 \text{ KF}$ 6 หยด mS cm^{-1}

อธิบายผลการทดลองที่ได้.....

1.3 ผลของตัวทำละลายต่อการแตกตัวเป็นไอออนของ glacial acetic acid

การนำไฟฟ้าของ Glacial acetic acid mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Deionized water mS cm^{-1}

การนำไฟฟ้าของ Benzene mS cm^{-1}

Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm^3 mS cm^{-1}

Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm^3 mS cm^{-1}

อธิบายผลการทดลองการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ.....

1.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})

$0.01 \text{ M H}_2\text{SO}_4$

$0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$

จากการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ 0.01 M HCl กับ $0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$

จะอธิบายเหตุผลเปรียบเทียบกัน

2. ปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่างๆ

2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01M NaOH

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M HCl	
0.01 M NaOH	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไอออนิกรวม แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิ แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จงอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลาย แตกต่างกันระหว่างก่อนผสม และหลังผสม

2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ กับ 0.01M NH_3

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	
0.01M NH_3	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไออ่อนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H_2SO_4 กับ 0.01 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M H_2SO_4	
0.01 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$	
สารละลายหลังผสม	

สมการ ไออ่อนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO₄ กับ 0.1 M H₂S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.1 M CuSO ₄	
0.1 M H ₂ S	
สารละลายน้ำกึ่งผสม	

สมการ ไออ่อนนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

.....

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

.....
 จองชิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสม
 และหลังผสม

ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ กับ 0.1M H₂S (g)

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	
สารละลายน้ำกึ่งผสม 0.01 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂ กับ 0.1M H ₂ S (g)	

สมการ ไออ่อนนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

.....

สมการ ไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

.....
 จองชิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสม
 และหลังผสม

วิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

คำถาม

1. จงแสดงส่วนสำคัญ (ไอออน หรือ โมเลกุล) ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสารละลายนอกสารต่อไปนี้

ตัวอย่าง	BaSO_4	: $\text{BaSO}_4(s)$
	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$: $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$
	NaCl	: Na^+, Cl^-
1.1	$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$:
1.2	Ba(OH)_2	:
1.3	Cr(OH)_3	:
1.4	KClO_3	:
1.5	HCOOH	:
1.6	H_3PO_4	:
1.7	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:
1.8	HBr	:
1.9	CH_3OH	:
2.0	PbCO_3	:

2. จงเขียนสมการ ไอออนิก แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารต่อไปนี้ โดยแสดงทั้งสมการ ไอออนิกรวมและสมการ ไอออนิกสุทธิ และถ้าหากท่านคิดว่าไม่เกิดปฏิกิริยาข้อให้แสดงเหตุผลว่าเป็นเพราะเหตุใด

2.1 Ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ กับ Potassium hydroxide (KOH)

.....
.....

2.2 Barium chloride (BaCl_2) กับ Sodium carbonate (Na_2CO_3)

.....
.....

2.3 Aluminium nitrate $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ กับ Ammonia solution (NH_3)

.....
.....

2.4 Hydrochloric acid (HCl) กับ Zinc metal (Zn)

.....
.....

2.5 Hydrochloric acid (HCl) กับ Magnesium acetate $(\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2)$

.....
.....

2.6 Zinc nitrate ($Zn(NO_3)_2$) กับ Sodium hydroxide ($NaOH$) มากเกินพอด้วย

2.7 Nitric acid (HNO_3) กับ Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$)

2.8 Silver nitrate ($AgNO_3$) กับ Sodium chloride ($NaCl$)

2.9 Silver chloride ($AgCl$) กับ Nitric acid (HNO_3)

1.10 Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) กับ Sulfuric acid (H_2SO_4)

3. ถ้าต้องการแยกสารเหล่านี้ออกจากกัน นักศึกษามีวิธีทำได้อย่างไร

3.1. Ba^{2+} กับ Ag^+

3.2 Ba^{2+} กับ Al^{3+}

4. จงอธิบายเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไอออนิกและสารประกอบ
โคลเวเลนต์พร้อมให้เหตุผลประกอบการอธิบาย

เฉลยผลการทดลองและตอบคำถามบทปฎิบัติการ
ตอนที่ 1 การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

เฉลยคำถามก่อนการทดลอง

1. สภาพละลายน้ำของสาร เป็นดังนี้

สาร	สภาพละลายน้ำ ($\text{g}/\text{H}_2\text{O} 100 \text{ g}$)		
	ที่ 0°C	ที่ 20°C	ที่ 30°C
NaHCO_3	7.0	9.6	11.1
NH_4Cl	29.4	37.2	41.4
NH_4HCO_3	11.9	21.7	28.4

2. ประโยชน์ของ NaHCO_3 ในบ้านเรือนและทางการค้า ได้แก่ ใช้ทำผงฟู ยาลดกรดในกระเพาะอาหาร โซดาถังท้อง ยาดับกันลิ้น และใช้ในเครื่องดับเพลิงที่ให้แก๊ส CO_2

เฉลยผลการทดลอง

1. การเตรียมสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนต

ตัวอย่างผลการทดลอง

1.1 ผลจากการสังเกตเมื่อเกิดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ ในสารละลาย แอมโมเนียมเข้มข้น คือ มี NaCl ส่วนที่ไม่ละลายเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้ของแข็งตกตะกอนสารละลายใส่ไม่มีสี

1.2 ผลจากการสังเกต เมื่อเติมน้ำแข็งแห้งลงไปในสารละลายอิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น คือ เกิดไอของ CO_2 อุณหภูมิของสารละลายลดลงอย่างรวดเร็วเมียดน้ำแข็งข้างบีกเกอร์ ใส่สาร แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นเกล็ดน้ำแข็ง สารละลายในบีกเกอร์เกิดผลึกสีขาว

1.3 อุณหภูมิโดยประมาณเมื่อปราฏิกของผลผลิตคือ -20°C

1.4 การหาผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3

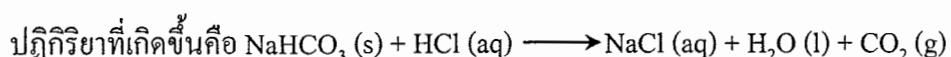
การทดลอง	ตัวอย่างผลการทดลอง
น้ำหนักของชามระเหย	50.70 g
น้ำหนักของชามระเหย + NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต	57.80 g
น้ำหนักของ NaHCO_3 ที่เป็นผลผลิต (ผลผลิตจริง)	7.10 g
น้ำหนักของ NaCl ที่เป็นสารตั้งต้น	10.00 g
ผลผลิตตามทฤษฎีของ NaHCO_3	14.35 g
ผลผลิตร้อยละของ NaHCO_3 ที่เตรียมได้	49.47 %

2. การทดสอบสมบัติของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

การทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง NaHCO_3 กับ NaCl

2.1 ทดสอบด้วยสารละลายน 3M HCl

หยด 3M HCl ลงในสาร	ผลการทดลองที่สังเกตได้
NaHCO_3	เกิดฟองแก๊ส และ NaHCO_3 ละลาย
NaCl	ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง

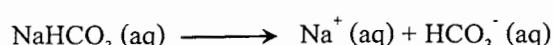


แต่ NaCl ไม่เกิดปฏิกิริยากับกรด HCl

2.2 ทดสอบความเป็นเบสด้วยเมทิลเรด

สารละลายน	ผลการทดลองที่สังเกตได้เมื่อยดเมทิลเรดลงไป
NaHCO_3	สารละลายนเป็นสีเหลือง
NaCl	สารละลายนเป็นสีส้ม

เมื่อย NaHCO_3 ละลายน้ำ สารละลายนจะมีสมบัติเป็นเบส ตามสมการ



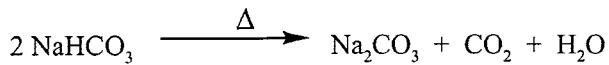
ดังนั้นสารละลายนจึงให้สีเหลืองกับเมทิลเรด แต่ NaCl ละลายน้ำ สารละลายนเป็นกลาง ไม่เปลี่ยนสีของเมทิลเรด (สีส้ม)

เฉลยคำตาม

1. สามารถเตรียม NaHCO_3 ได้จากปฏิกิริยาผ่านแก๊ส CO_2 ลงไปในสารละลายน้ำ NaOH ที่เข้มข้น ดังนี้

$$\text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{NaHCO}_3$$

2. Na_2CO_3 เป็นสารสำคัญสารหนึ่งในทางอุตสาหกรรมซึ่งเรียกว่า โซดาแอช (Soda ash) เราสามารถเตรียมสารนี้ได้ โดยการให้ความร้อนอย่างสูงแก่ NaHCO_3 จนเจียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้ ได้ดังนี้



3. HCO_3^- เป็นไอออนที่สำคัญโดยเป็นส่วนประกอบหลักในระบบบัฟเฟอร์ที่ควบคุม pH ของมนุษย์ให้คงที่ เราสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

การรักษาระดับ pH ของเลือด

สัตว์ชั้นสูงทุกชนิดต้องมีระบบการหมุนเวียนเพื่อเติมพลังให้แก่กระบวนการแห่งชีวิต และกำจัดของเสีย ในร่างกายของคนกระบวนการอันสำคัญนี้เกิดขึ้นในของเหลวที่เรียกว่าเลือด ซึ่งมีอยู่ในร่างกายประมาณ 5 L (10.6 ไพนต์) โดยเนื้อสัมภาระร่างกายผู้ใหญ่ เลือดที่หมุนเวียนถูกองในเนื้อเยื่อจะนำออกซิเจนและอาหารไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆ พร้อมทั้งกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียอื่นๆ ธรรมชาติได้คิดคันวิธีอันทรงประสิทธิภาพที่สุดที่จะช่วยป้องกันออกซิเจนและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาศัยระบบบัฟเฟอร์ร่วมกันหลายระบบ

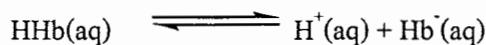
เลือดเป็นระบบที่ซับซ้อนอย่างยิ่ง แต่เพื่อความสะดวกเราจะพิจารณาเฉพาะส่วนประกอบที่สำคัญเพียง 2 ส่วน คือ พลasmaleioดและเซลล์เม็ดเลือดแดงหรืออิริโโทรไซด์ (erythrocyte) เท่านั้น ในพลาสมามีสารประกอบออย่างหลายชนิด รวมทั้ง โปรตีน ไอออนของโลหะ และฟอสเฟตอนินทริยชนิดต่างๆ ในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีโมเลกุลชื่อโมโนโกลบิน และเอนไซม์ คาร์บอนิกแอกไซเดรส (carbonic anhydrase) ซึ่งเร่งทึ้งปฏิกิริยาการเกิดและการสลายตัวของกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ดังสมการ



สารภายในเซลล์เม็ดเลือดแดงมีเยื่อหุ้มไม่ให้สัมผัสถกับของเหลวนอกเซลล์ (พลาสมาเลือด) เยื่อนี้ยомнให้โมเลกุลบางชนิดแพร่ผ่านได้

pH ของพลาสมามีค่า 7.40 โดยระบบบัฟเฟอร์หลายระบบ ที่สำคัญที่สุดคือระบบ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ ในอิริโโทรไซด์ ซึ่งมี pH 7.25 ระบบบัฟเฟอร์หลัก คือ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ และมีโมโนโกลบิน ชีโมโกลบินคือโมเลกุลอันซับซ้อนของโปรตีนชนิดหนึ่ง มีมวลต่อ

โนลประมาณ 65,000 g และมีปรอตอนที่แตกตัวได้จำนวนหนึ่ง แต่โดยทั่วไปเรามักถือว่าสารนี้เป็นกรดโมโนโปรติก (monoprotic acid) ที่มีสูตร HHb และแตกตัวดังสมการ



เมื่อ HHb แทนโมเลกุลชีโนโกลบินและ Hb^- แทนคู่เบสของ HHb เมื่อออกซิเจนรวมตัวกับชีโนโกลบินจะได้ออกซิชีโนโกลบิน (HHbO_2) ซึ่งเป็นกรดที่แก่กว่า HHb



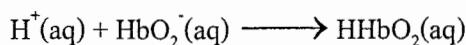
ในภาพ 1(ก) จะเห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากเมแทบoliสซึมแพร่เข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงแล้วจะถูกคาร์บอนิกแอโนไฮเดรสเปลี่ยนเป็น H_2CO_3 อย่างรวดเร็ว ดังนี้



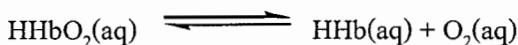
การแตกตัวของกรดคาร์บอนิกดังสมการ



มีผลสำคัญ 2 ประการคือ ประการแรก ไฮโดรเจนคาร์บอนเนต ไอออนจะแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงและถูกพลาスマเลือดพาไปยังปอด นี่คือกลไกหลักในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ประการที่สอง H^+ ไอออนที่เกิดขึ้นจะทำให้สมดุลเคลื่อนไปทางด้านของโมเลกุลออกซิชีโนโกลบินที่ยังไม่แตกตัว คือ

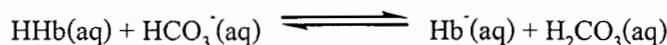


เนื่องจาก HHbO_2 ถ่ายออกซิเจนได้มากกว่าคู่เบส (HbO_2^-) สมดุลของปฏิกิริยา



จึงเคลื่อนจากซ้ายไปขวา ถ่ายออกซิเจนโมเลกุลแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงแล้วถูกเซลล์อื่นนำไปใช้ในเมแทบoliสซึม

เมื่อเลือดคำเคลื่อนกลับเข้าสู่ปอด กระบวนการทั้งหมดข้างต้นก็จะย้อนกลับ (ภาพที่ ก.6 (ข)) คราวนี้ไฮโดรเจนคาร์บอนเนต ไอออน จะแพร่เข้าสู่อิริโทริชีตแล้วทำปฏิกิริยากับชีโนโกลบินให้กรดคาร์บอนิก



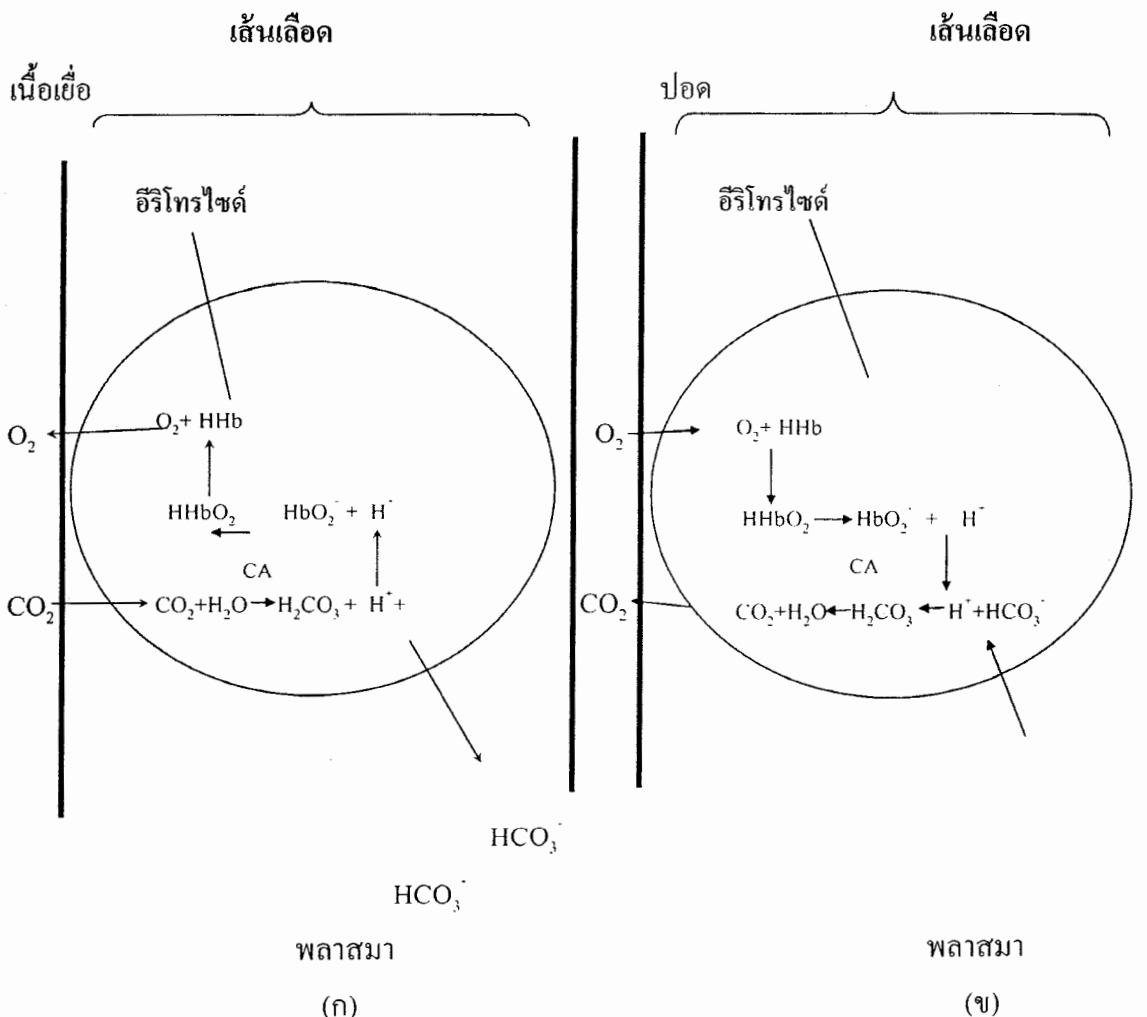
กรดที่เกิดขึ้นนี้ส่วนใหญ่จะถูกคาร์บอนิกแอโนไฮเดรสเปลี่ยนให้เป็น CO_2 ดังสมการ



การบันไดออกไซด์จะแพร่เข้าสู่ปอดแล้วในที่สุดก็ออกจากร่างกายโดยการหายใจออก นอกจากนี้ การเกิด Hb^- ไอออน (จากปฏิกิริยาระหว่าง HHb กับ HCO_3^- ดังกล่าวข้างต้น) ก็จะทำให้ออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาในปอดได้ดีขึ้น



ทั้งนี้ เพราะ Hb^+ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ดีกว่า HHb เมื่อเลือดแดงให้กลับไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย วัฏจักรนี้ก็จะเกิดขึ้นซ้ำอีก



ภาพที่ ก.6 การขนส่งและการรายออกซิเจน-การรับอนไดออกไซด์ในเลือด

จากภาพ (ก) ความคันย่อยของ CO_2 ในเนื้อเยื่อสูงกว่าในพลาสma CO_2 จึงแพร่เข้าสู่เส้นเลือด และเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง แล้วจึงถูกเน盎ไซม์คาร์บอนิกไอกไซเดรต (CA) เปลี่ยนให้เป็นกรดcarbonิก โปรตองจากกรดcarbonิกจะรวมตัวกับ HbO_2^- ไอออนกลายเป็น HHbO_2^- ซึ่งในที่สุดจะแตกตัวเป็น HHb กับ O_2 เนื่องจากความคันย่อยของ O_2 ในเซลล์เม็ดเลือดแดงสูงกว่าในเนื้อเยื่อ O_2 จึงแพร่องจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้าสู่เนื้อเยื่อ ไฮโครเจนคาร์บอนेट ไอออนก์แพร่องจากเซลล์เม็ดเลือดแดง เช่นกัน และถูกพลาสmaพาไปยังปอด (ข) ในปอดกระบวนการทั้งหมดจะย้อนกลับ O_2 ในปอดซึ่งมี

ความดันย่อยสูงกว่าในเซลล์เม็ดเลือดแดงจะแพร่เข้าสู่เซลล์แล้วรวมตัวกับ HHb เป็น HHbO₂ โปรตอนของ HHbO₂ จะรวมตัวกับใบкар์บอนเนต ไอออนที่แพร่จากพลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง กล้ายเป็นกรดคาร์บอนิก คาร์บอนิกแอนไฮเดรตจะเปลี่ยนกรดคาร์บอนิกเป็น H₂O และ CO₂ แก๊ส CO₂ จะแพร่ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้าสู่ปอดแล้วออกจากร่างกายทางลมหายใจ

ตอนที่ 2 เอนทัลปีของสารละลายและพลังงานแผลต์กิจ

2.1 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ (C_c)

ตัวอย่างการอ่านอุณหภูมิโดยเทอร์มомิเตอร์อันที่ 1 32.0°C อันที่ 2 32.1°C

การแก้ไขอุณหภูมิที่อ่านได้โดยเทอร์มอมิเตอร์อันที่ 2 ต้องลบด้วย 0.1°C เพื่อเมื่อใช้อันที่ 1 เป็นเกณฑ์

ตัวอย่างผลการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของน้ำเย็น	50 g	50 g
น้ำหนักของน้ำอุ่น	50 g	50 g
อุณหภูมิของน้ำเย็น (T_1)	32.1°C	32.0°C
อุณหภูมิของน้ำอุ่น (T_2)	50.0°C	49.9°C
อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำผสม (T_f)	40.0°C	39.9°C
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำเย็น ($T_f - T_1$)	7.9°C	7.9°C
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมน้ำอุ่น ($T_2 - T_f$)	10°C	10°C
ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออกมา	2,092 J	2,092 J
ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ	1,652.68 J	1,652.68 J
ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ	$439.32^{\circ}\text{C}^{-1}$	$439.32^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์	$55.61^{\circ}\text{C}^{-1}$	$55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$
ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์เฉลี่ย (C_c)	$55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$	

แสดงวิธีคำนวณหาความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองครั้งที่ 1

ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออกมา

$$Q = ms\Delta T$$

$$= (50.09 \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (50 - 40) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 2,092 \text{ J}$$

แต่ความร้อนที่น้ำอุ่นหายออก = ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ + ความร้อนที่แคลอร์มิเตอร์ได้รับ

$$\text{แทนค่า } 2,092 \text{ J} = (50.09 \times 4.184 \text{ Jg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) (40.0 - 32.1) \text{ }^{\circ}\text{C} + C_c (40.0 - 32.1) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore C_c = 55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\therefore \text{ความจุความร้อนของแคลอร์มิเตอร์} (C_c) = 55.61 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

2. การหาค่าเอนทัลปีของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})

2.1 ผลจากการทดลอง

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำหนัก NaCl	8.0 g	9.0 g	10.0 g
น้ำหนักน้ำ	100.0 g	100.0 g	100.0 g
น้ำหนักของสารละลายน้ำ (NaCl + น้ำ)	108.0 g	109.0 g	110.0 g
อุณหภูมิของน้ำ (T_3)	32.1 °C	32.1 °C	32.2 °C
อุณหภูมิสารละลายน้ำ (T_4)	31.2 °C	31.0 °C	31.0 °C
ผลต่างของอุณหภูมิ ($\Delta T = T_4 - T_3$)	- 0.9 °C	- 1.1 °C	- 1.2 °C
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln})	+3.34 kJ mol ⁻¹	+3.66 kJ mol ⁻¹	+3.62 kJ mol ⁻¹
ความร้อนของสารละลายน้ำ NaCl (ΔH_{soln}) โดยเฉลี่ย	+ 3.54 kJ mol ⁻¹		

แสดงวิธีคำนวณหาเอนทัลปี (ΔH_{soln}) ของสารละลายน้ำ NaCl โดยนำข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 นาคำนวณ

มีตัวอย่างการคำนวณอยู่ในบทเรียนสำเร็จรูปของนักศึกษาแล้ว

นำค่า ΔH_{soln} โดยเฉลี่ยของสารละลายน้ำ NaCl ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่หาได้จาก สมการ 2.9 (วัฏจักรบอร์น – ชาเบอร์)

2.2 การคำนวณ ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ตามสมการ 2.9 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Delta H_{soln} &= \Delta H_{sub} + \frac{1}{2} \Delta H_{diss} + \Delta_{IE} + \Delta H_{EA} + \Delta H_{hyd\ Na} + \Delta H_{hyd\ Cl} - \Delta H_f^0 \\ &= 108.8 + 121.3 + 493.7 - 364.0 - 401.7 - 363.6 + 410.0 \\ \therefore \text{ค่า } \Delta H_{soln} &= +4.5 \text{ kJmol}^{-1}\end{aligned}$$

2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl จากการทดลอง (ข้อ 2.1) และการคำนวณได้ (ข้อ 2.2)

จากสมการ 2.9 ค่า ΔH_{soln} ของ NaCl = +4.5 kJ mol⁻¹

จากการทดลองครั้งนี้ได้ ค่า ΔH_{soln} ของ NaCl = +3.54 kJ mol⁻¹

3. คำนวณหาค่าพลังงานแล็ตทิชของ NaCl (ΔH_{latt})

3.1 การคำนวณค่า ΔH_{latt} ของ NaCl (สมการ 2.10)

โดยนำค่า ΔH_{soln} ของสารละลายน้ำ NaCl ที่ทดลองได้ในข้อ 2.1 มาแทนค่าพร้อมข้อมูลที่กำหนดให้

$$\begin{aligned}\text{จาก } \Delta H_{latt} &= \Delta H_{soln} + \Delta H_{hyd\ Na} + \Delta H_{hyd\ Cl} \\ &= +3.54 + (-401.7) + (-363.6) \\ \therefore \Delta H_{latt} &= -761.8 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

3.2 ค่า ΔH_{latt} ของ NaCl ตามสมการ บอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

$$\text{ได้ค่า } \Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl} = -755 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ผลการเปรียบเทียบ ΔH_{latt} ของ NaCl จากการทดลองหาค่า ΔH_{soln} ของ NaCl และนำไปแทนค่าในสมการ 2.10 กับการคำนวณจากสมการบอร์น-ແلنเด (สมการ 2.11)

$$\Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl ที่คำนวณได้จาก } \Delta H_{soln} = -761.8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{latt} \text{ ของ NaCl ที่คำนวณจากสมการบอร์น-ແلنเด} = -755 \text{ kJ mol}^{-1}$$

คำแนะนำ

การทดลองครั้งนี้ใช้แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย ๆ อาจทำให้ระบบมีการถ่ายเทความร้อนได้ผลการทดลองจึงอาจคลาดเคลื่อนได้

เคล็ดคำถาม

1. จงให้นิยามของคำต่อไปนี้

1.1 ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี = 4.184 จูด

1.2 ความร้อนจำเพาะของสาร หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารนั้น 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

1.3 ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องทำให้แคลอริมิเตอร์ พร้อมกับอุปกรณ์ที่จำเป็น มีอุณหภูมิ เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

1.4 การเปลี่ยนแปลงแบบคูคูกลีนพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH ΔH เป็น +

1.5 การเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน โดยให้เครื่องหมายของ ΔH ΔH เป็น -

2. เอนทัลปีของ การละลายของ NaCl ในการทดลองครั้งนี้ เป็นค่าคงที่หรือไม่ เพราะเหตุใด (จะเป็นค่าคงที่ เพราะเป็นการคิดต่อ 1 มอล ของ NaCl)
3. ในการทดลองครั้งนี้ หากค้านอกของถ่วงสไตร์โฟมเปียกผลจะเป็นอย่างไร (อุณหภูมิของสารละลายในแค藻อร์มิเตอร์ไม่น่าจะคงที่)
4. การคำนวณหาพลังงานแผลตพิชของผลึก MgO และเขียนวัฏจักร บอร์น-ชาร์เบอร์มาถ่วง (มีตัวอย่างอื่นแล้วในเนื้อหาบทเรียนสำเร็จรูปสำหรับนักศึกษา)

ตอนที่ 3 สารประกอบไฮอ่อนิก สารประกอบโภเวลเลนต์และสมการไฮอ่อนิก

1. การนำไฟฟ้าของสารที่ 25°C

ตัวอย่างผลการทดลอง

1.1 ผลการทดสอบการนำไฟฟ้าของสาร

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})	ชนิดของอนุภาคของสาร
1. Deionized water	0.00	H_2O (l)
2. Tap water	0.24	H_2O (l), Cl^- (aq), SO_4^{2-} (aq) และอื่น ๆ ปริมาณเล็กน้อย
3. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95%	0.00	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)
4. 0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)	0.00	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq)
5. $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (l)	0.00	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (l)
6. 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.27	H_3O^+ (aq), $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ (aq)
7. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)	0.00	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (s)
8. 0.01 M $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)	0.00	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (aq)
9. NaCl (s)	0.00	NaCl (s)
10. 0.01 M NaCl (aq)	1.05	Na^+ (aq), Cl^- (aq)
11. 0.01 M HCl (aq)	3.08	H_3O^+ (aq), Cl^- (aq)
12. NaOH (s)	0.00	NaOH (s)
13. 0.01 M NaOH (aq)	2.00	Na^+ (aq), OH^- (aq)
14. 0.01 M NH_3 (aq)	0.23	NH_4^+ (aq), OH^- (aq)
15. 0.01 M NH_2CONH_2 (aq)	0.00	NH_2CONH_2 (aq)
16. C_6H_6 (l)	0.00	C_6H_6 (l)

ของแข็งที่นำไฟฟ้าได้ ไม่มี

ของแข็งที่ไม่นำไฟฟ้า ได้แก่ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, NaCl , NaOH และ C_6H_6 ซึ่งเป็นของเหลว

สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ ได้แก่ 0.01 M NaCl , 0.01 M HCl , 0.01 M NaOH

สารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน ได้แก่ Tap water, 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$, 0.01 M NH_3

สารละลายน้ำที่เป็นนอนอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ Deionized water, C₂H₅OH 95%, 0.01 MC₂H₅OH, HC₂H₃O₂, 0.01 M C₁₂H₂₂O₁₁, 0.01 M NH₂CONH₂

1.2 ผลของความเข้มข้นต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 1 หยด	0.009
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 2 หยด	0.012
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 3 หยด	0.017
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 4 หยด	0.019
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 5 หยด	0.022
Deionized water 10 cm ³ + 0.01 KF 6 หยด	0.024

อธิบายผลการทดลองที่ได้คือ เมื่อความเข้มข้นของ KF มากขึ้นในสารละลายน้ำ ไอออนของ K⁺ และ F⁻ มากขึ้น จึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

1.3 ผลของตัวทำละลายต่อการแตกตัวเป็นไอออนของ Glacial acetic acid

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
Glacial acetic acid	0.000
Deionized water	0.002
Benzene	0.000
Glacial acetic acid 6 หยด + Deionized water 10 cm ³	0.485
Glacial acetic acid 6 หยด + Benzene 10 cm ³	0.000

อธิบายผลการทดลองการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ คือ glacial acetic acid (HC₂H₃O₂) ละลายได้ใน Deionized water (H₂O) แล้วแตกตัวดังสมการ



สารละลายน้ำที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน แต่ HC₂H₃O₂ ไม่ละลายใน benzene (C₆H₆) ไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จึงไม่สามารถนำไฟฟ้าได้

1.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำและกรดอ่อน

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M H_2SO_4	5.090
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	0.271

จากการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำ 0.01 M HCl กับ $0.01 \text{ M HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ อธิบายเหตุผลเปรียบเทียบกันได้ดังนี้

สารละลายน้ำ H_2SO_4 เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เพราะเมื่อละลายน้ำแล้ว H_2SO_4 แตกตัวให้ไอออนทั้งหมด 100% ในขั้นที่ 1 และแตกตัวได้มากในขั้นที่ 2 จนอาจถือว่า H_2SO_4 แตกตัวได้หมดในน้ำ คือ



แต่สารละลายน้ำ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน เพราะแตกตัวเป็นไอออนไม่หมดดังสมการ

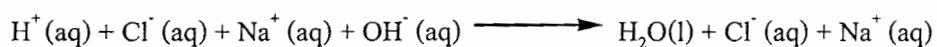


2. ปฏิกิริยาไอออนิกแบบต่างๆ

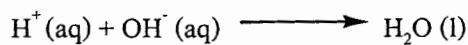
2.1 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M HCl กับ 0.01 M NaOH

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M HCl	3.08
0.01 M NaOH	2.00
สารละลายน้ำและผสม	0.53

สมการไอออนิกรวม แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



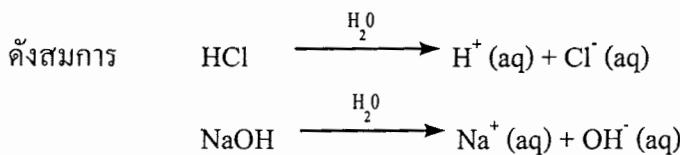
สมการไอออนิกสุทธิ แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำและผสมและหลังผสม คือ

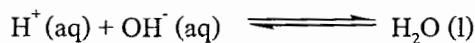
ก่อนผสม

สารละลายน้ำ HCl และ NaOH เมื่อละลายน้ำแตกตัวเป็นไอออนทั้งหมด



หลังผสม

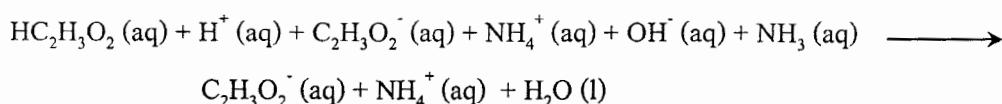
H^+ และ OH^- ซึ่งนำไฟฟ้าได้เกิดปฏิกิริยา กันได้ H_2O ซึ่งสามารถแตกตัวเป็นไอออนเพียงบางส่วน จึงทำให้สารละลายน้ำไฟฟ้าได้ลดลง



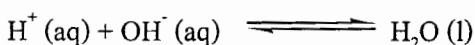
2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ กับ 0.01M NH_3

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.01 M $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ (aq)	0.271
0.01 M NH_3 (aq)	0.232
สารละลายน้ำ	1.745

สมการ ไอออนนิกรูมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สมการ ไอออนนิกสุทธิ์แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

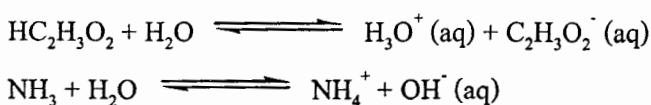


สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสมและหลัง

ผสม

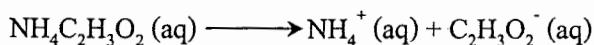
ก่อนผสม

สารละลายน้ำ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ และ NH_3 เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน เนื่องจากแตกตัวเป็นไอออนไม่หมด ดังสมการ



หลังผสม

H^+ และ OH^- ทำปฏิกิริยาได้ H_2O ซึ่งแตกตัวน้อยแต่ $HC_2H_3O_2$ และ NH_3 ทำปฏิกิริยากันได้ $NH_4C_2H_3O_2$ ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนหมุด



2.2 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.01 M H_2SO_4 กับ 0.01 M $Ba(OH)_2$

สาร	การนำไฟฟ้า ($mS\ cm^{-1}$)
0.01 M H_2SO_4	5.090
0.01 M $Ba(OH)_2$	16.020
สารละลายน้ำ	0.023

สารละลายน้ำ

สมการไอออนนิกรรมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สมการไออนนิกสูตรแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ



สาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำแตกต่างกันระหว่างก่อนผสมและหลัง

ผสม คือ

ก่อนผสม

สารละลายน้ำ H_2SO_4 และ $Ba(OH)_2$ เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เพราะแตกตัวให้ไอออนหัวน้ำในน้ำจึงนำไฟฟ้าได้ดี

หลังผสม

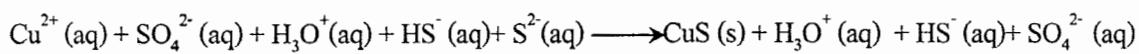
H^+ และ OH^- รวมกันเป็น H_2O แตกตัวไม่หมุดและ Ba^{2+} กับ SO_4^{2-} เป็นสารละลายน้ำ

เกิดปฏิกิริยากันได้ $BaSO_4$ เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ทำให้ปริมาณไอออนในสารละลายน้ำลดลง สารละลายน้ำจึงนำไฟฟ้าได้น้อยลง

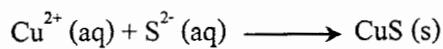
2.4 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M CuSO₄ กับ 0.1 M H₂S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm^{-1})
0.1 M CuSO ₄	1.306
0.1 M H ₂ S	0.119
สารละลายน้ำสีฟ้า	5.300

สมการ ไอออนิกรอมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

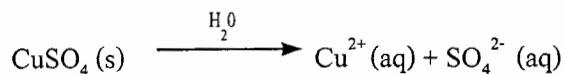


สมการ ไอออนิกสูทช์แสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

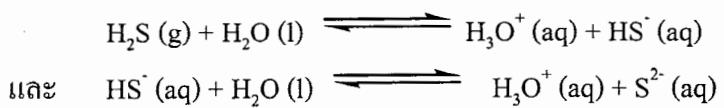


จะอธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำต่างกัน ระหว่างก่อนผสม และหลังผสม ได้ดังนี้

CuSO₄ เมื่อละลายน้ำสารละลายเป็นอิเด็กโโทร ไลต์แก่ เพราะแตกตัวให้ไอออน หักหมุด ดังสมการ

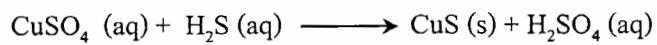


สำหรับ H₂S เมื่อละลายน้ำสารละลายเป็นอิเด็กโโทร ไลต์อ่อน เพราะแตกตัวให้ ไอออนเพียงบางส่วน ดังสมการ

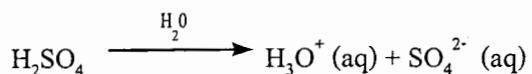


เมื่อนำสารละลาย CuSO₄ มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย H₂S จะเกิดปฏิกิริยา ดัง

สมการ



ถึงแม่จะได้ตะกอน CuS แต่ H₂SO₄ เป็นกรดแก่แตกตัวให้ไอออนในน้ำได้เกือบ 100% คือ

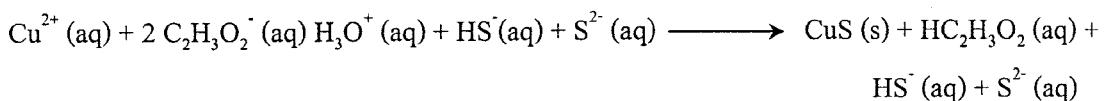


จากการแตกตัวของ H₂SO₄ ทำให้ได้ H⁺ (ซึ่งรวมกับ H₂O ได้ H₃O⁺) และ SO₄²⁻ จำนวนมาก H₂S ในรูปโมเลกุลลดลง การนำไฟฟ้าของสารละลายผสมจึงสูงขึ้น

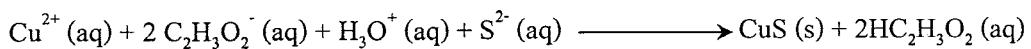
2.5 ปฏิกิริยาระหว่าง 0.1 M Cu (C₂H₃O₂)₂ กับ 0.1 M H₂S

สาร	การนำไฟฟ้า (mS cm ⁻¹)
0.1 M Cu (C ₂ H ₃ O ₂) ₂	3.830
0.1 M H ₂ S	0.119
สารละลายผสม	0.905

สมการ ไอออนนิกรอมแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

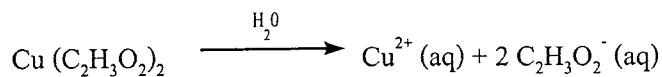


สมการ ไอออนนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยา คือ

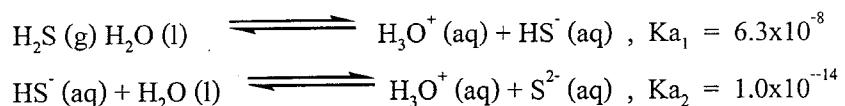


อธิบายสาเหตุที่ทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแตกต่างกัน ระหว่างก่อนผสม และหลังผสม ดังนี้

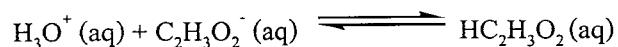
Cu (C₂H₃O₂)₂ ละลายนำไฟฟ้าตัวเดียว ไอออนทั้งหมด สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ดี เป็นอิเล็กโโทรໄโลต์ แก่ ดังสมการ



แต่สารละลาย H₂S ละลายนำไฟฟ้าตัวเดียว ไอออนเพียงบางส่วน บางส่วนเป็น H₂S จึงเป็นอิเล็กโโทรໄโลต์ อ่อน



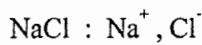
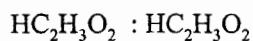
เมื่อนำสารละลาย Cu(C₂H₃O₂)₂ มาผสมกับสารละลาย H₂S และ H₃O⁺ จากสารละลาย H₂S จะทำปฏิกิริยากับ C₂H₃O₂⁻ จากสารละลาย Cu (C₂H₃O₂)₂ ได้โน้มถี่ HC₂H₃O₂ ดังสมการ



สารละลายผสมจึงมีไอออนลดลง สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้น้อยลง เมื่อเทียบกับสารละลาย Cu(C₂H₃O₂)₂ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารละลาย H₂S เพราะ HC₂H₃O₂ (aq) แตกตัวได้ดีกว่า H₂S นั้นเอง (K_a ของ HC₂H₃O₂ = 1.75 × 10⁻⁵)

ເຄລຍຄໍາຄານ

1. ແສດງສ່ວນສຳຄັນ (ໄອອອນ ພຣີອ ໂມເລກຸດ) ທີ່ເປັນອົງກໍປະກອບສ່ວນໃຫຍ່ໃນສາຮລະລາຍຂອງສາຮຕ່ອໄປນີ້

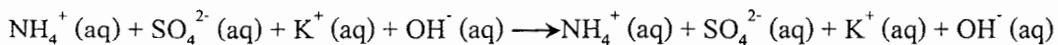


$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$: NH_4^+ , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	H_3PO_4 : H^+ , H_2PO_4^- , PO_4^{3-} , H_3PO_4
Ba(OH)_2 : Ba^{2+} , OH^-	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: Al^{3+} , SO_4^{2-}
Cr(OH)_3 : $\text{Cr(OH)}_3(s)$	HBr : H^+ , Br^-
KClO_3 : K^+ , ClO_3^-	CH_3OH : CH_3OH
HCOOH : H^+ , HCOO^- , HCOOH	PbCO_3 : $\text{PbCO}_3(s)$

2. ເຈີນສາມກາຣໄອອອນິກ ແສດງກາຣເກີດປົກົກີຣີຍາຮະຫວ່າງສາຮ ໂດຍແສດງທີ່ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ ແລະ ສາມກາຣໄອອອນິກສຸທີ ແລະ ຄ້າຫາກຄືດວ່າ ໄນເກີດປົກົກີຣີຍາໃຫ້ແສດງເຫດຜລວ່າ ເປັນພູຮະເຫດໄດ

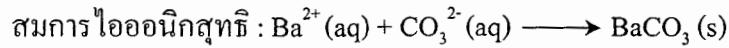
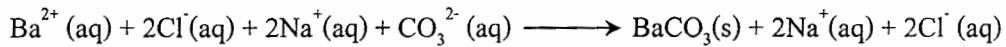
2.1 Ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ກັບ Potassium hydroxide (KOH)

ໄມ່ສາມາດເພີ່ມສາມກາຣໄອອອນິກໄດ້ພູຮະ ໄອອອນິກໄມ່ເກີດປົກົກີຣີຍາກັນ ຄືອ



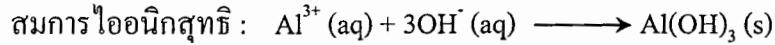
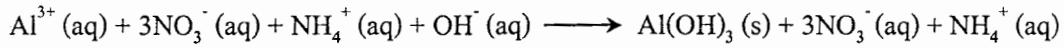
2.2 Barium chloride (BaCl_2) ກັບ Sodium carbonate (Na_2CO_3)

ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



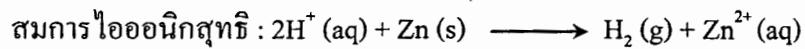
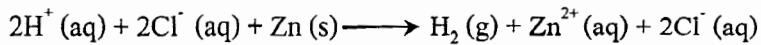
2.3 Aluminium nitrate ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) ກັບ Ammonia solution (NH_3)

ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



2.4 Hydrochloric acid (HCl) ກັບ Zinc metal (Zn)

ສາມກາຣໄອອອນິກຮວມ :



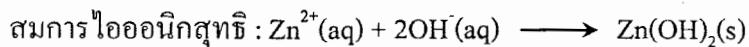
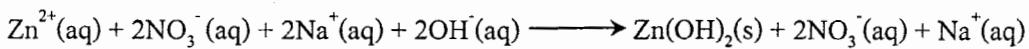
2.5 Hydrochloric acid (HCl) กับ Magnesium acetate ($Mg(C_2H_3O_2)_2$)

ไม่สามารถเขียนสมการไฮอนิกได้ เพราะไฮอนไม่เกิดปฏิกิริยา คือ



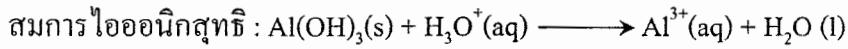
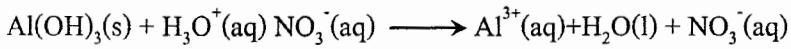
2.6 Zinc nitrate ($Zn(NO_3)_2$) กับ Sodium hydroxide (NaOH) มากเกินพอ

สมการไฮอนิกรวน :



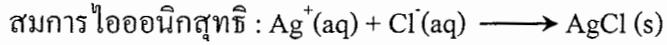
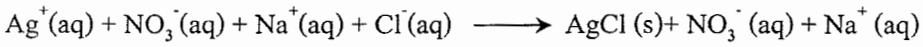
2.7 Nitric acid (HNO_3) กับ Aluminium hydroxide ($Al(OH)_3$)

สมการไฮอนิกรวน :



2.8 Silver nitrate ($AgNO_3$) กับ Sodium chloride (NaCl)

สมการไฮอนิกรวน :



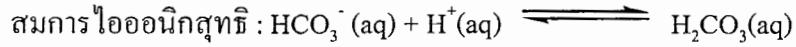
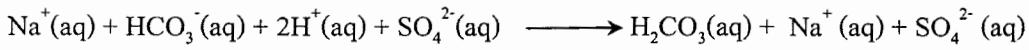
2.9 Silver chloride (AgCl) กับ Nitric acid (HNO_3)

ไม่เกิดปฏิกิริยา เพราะ



1.10 Sodium hydrogen carbonate ($NaHCO_3$) กับ Sulfuric acid (H_2SO_4)

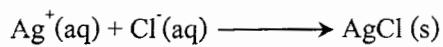
สมการไฮอนิกรวน :



3. ถ้าต้องการแยกสารเหล่านี้ออกจากกัน สามารถทำได้ดังนี้

3.1. Ba^{2+} กับ Ag^+ นำสารละลายผสมน้ำเติมสารละลาย HCl มากเกินพอจะได้ $AgCl$

ตกตะกอนออกมา ดังสมการ



แต่ Ba^{2+} ยังคงอยู่ในสารละลายเมื่อนำมากรองก็สามารถแยก $AgCl$ ออกໄไปได้

3.2 Ba^{2+} กับ Al^{3+} นำสารละลายผสมมาเติมสารละลาย NH_4Cl ในสารละลาย NH_3 จะ

ได้ตะกอนคล้ายรูปของ $Al(OH)_3$ แยกออกมานอกจาก Ba^{2+} ยังคงอยู่ในสารละลาย

4. อธิบายเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าของสารประกอบไฮอ่อนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ ได้ดังนี้
- 4.1 สารประกอบไฮอ่อนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ เมื่อเป็นของแข็ง ไม่นำไฟฟ้า
 - 4.2 สารประกอบไฮอ่อนิกจะลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮอ่อน สารจะลายจึงนำไฟฟ้าได้ดี
 - 4.3 แต่สารประกอบโคเวเลนต์ เมื่อจะลายน้ำอาจนำไฟฟ้าได้หรือไม่นำไฟฟ้าขึ้นกับว่า ไม่เลกูลของสารโคเวเลนต์แตกตัวเป็นไฮอ่อนหรือไม่ ถ้าแตกตัวเป็นไฮอ่อนหมุด สารจะลายจะนำไฟฟ้าได้ดี ถ้าแตกตัวเป็นไฮอ่อนบางส่วนสารจะลายจะนำไฟฟ้าได้น้อย และหากไม่แตกตัวเป็นไฮอ่อนเลย ยังคงอยู่ในสภาพไม่เลกูลสารจะนำไฟฟ้า

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1. NaHCO_3 ซึ่งเป็นสารประกอบไฮออนิก ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายประการ เราสามารถเดริบสารประกอบโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอนเนตจากสารตั้งต้นข้อใดได้
 - ก. $\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \longrightarrow$
 - ข. $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow$
 - ค. $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow$
 - ง. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow$
 - จ. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow$
2. HCO_3^- มีประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างไร
 - ก. ช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาท
 - ข. ควบคุมการทำงานของหัวใจ
 - ค. เป็นไฮออนที่สำคัญในระบบบับเพอร์ ที่ควบคุม pH ของเลือด
 - ง. หากร่างกายขาด HCO_3^- จะเป็นตะคริว
 - จ. เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร
3. มีของแข็งสีขาวนิดหนึ่ง ไม่แน่ใจว่าเป็น NaCl หรือ NaHCO_3 นักศึกษามีวิธีทดสอบง่าย ๆ และเหมาะสมอย่างไรเพื่อสรุปว่าของแข็งสีขาวนี้เป็นสารใด
 - ก. หาจุดหลอมเหลว แล้วนำไปเปลี่ยนเทียนกับจุดหลอมเหลวของ NaCl และ NaHCO_3
 - ข. แบ่งมาทดสอบโดยหยด HCl ลงไปหากเกิดฟองแก๊ส CO_2 แสดงว่าเป็น NaHCO_3
หากไม่เกิดฟองแก๊สแสดงว่าเป็น NaCl
 - ค. แบ่งมาละลายน้ำแล้วทดสอบการนำไฟฟ้า หากนำไฟฟ้าได้ดีแสดงว่าเป็น NaCl ถ้า
นำไฟฟ้าได้น้อยแสดงว่าเป็น NaHCO_3
 - ง. ลองชนดู NaCl มีรสเค็ม แต่ NaHCO_3 มีรสฝาด
 - จ. ละลายน้ำแล้วทดสอบความเป็นกรด-เบส โดยสารละลาย NaCl เป็นเบสแต่
สารละลาย NaHCO_3 เป็นกรด

4. จงคำนวณหาค่าพลังงานแlectทิชในหน่วย kJ mol^{-1} ในผลึกของสารประกอบ AB ที่มีระยะห่าง

$$\text{ระหว่าง } A^+ \text{ และ } B^- \text{ } 0.276 \text{ nm โดยคิดจากกฎของคูลอมน์ } E = 2.31 \times 10^{-10} \text{ J nm} \left\{ \frac{q^+ q^-}{r} \right\}$$

ก. $-8.37 \times 10^{-10} \text{ kJ mol}^{-1}$

ข. $-1.67 \times 10^{-9} \text{ kJ mol}^{-1}$

ค. -504 kJ mol^{-1}

ง. $-1,030 \text{ kJ mol}^{-1}$

จ. $-2,160 \text{ kJ mol}^{-1}$

5. จากสมการของบอร์น – แลนเดค $U_0 = \frac{-MZ^+ Z^- e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} N \left(1 - \frac{1}{n}\right)$

จงคำนวณหาค่าพลังงานแlectทิชของ NaCl เมื่อกำหนดค่าต่างๆ ให้คงต่อไปนี้

Madelung constant (M) = 1.74756

The charge on the electron (e) = $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Avogadro's number (N) = 6.02×10^{23}

Permittivity of free space (ϵ_0) = $8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{J}^{-1} \text{m}^{-1}$

Born exponent (n) = 8

Internuclear distance (r_0) = $2.814 \times 10^{-10} \text{ m}$

พลังงานแlectทิชของ NaCl เท่ากับ

ก. -755 kJ mol^{-1}

ข. -800 kJ mol^{-1}

ค. -896 kJ mol^{-1}

ง. -902 kJ mol^{-1}

จ. $-1,510 \text{ kJ mol}^{-1}$

คำสั่ง ให้ใช้ข้อมูลแสดงค่าเออนทัลปีค่าง ๆ ของสารตอบคำถามข้อ 6-7

ตาราง ค่าเออนทัลปีที่เกี่ยวข้องในการเกิด CuCl และ CuCl_2 (kJ mol^{-1})

	CuCl	CuCl_2
ΔH_{sub}	+ 338	+ 338
ΔH_{IE_1}	+ 746	+ 746
ΔH_{IE_2}	-	+ 1,958
ΔH_{diss}	+ 242	+ 242
ΔH_{EA}	- 349	- 698
ΔH_{latt}	-	- 2,772
ΔH_f	- 117	-

6. จงหาค่าพลังงานแล็ตทิช (ΔH_{latt}) ของ CuCl

- ก. - 739 kJ mol^{-1}
- ข. - 873 kJ mol^{-1}
- ค. - 973 kJ mol^{-1}
- ง. -1,094 kJ mol^{-1}
- จ. 1,734 kJ mol^{-1}

7. จงหาค่าเออนทัลปีของการเกิดสารประกอบ CuCl_2

- ก. - 186 kJ mol^{-1}
- ข. 163 kJ mol^{-1}
- ค. 1,210 kJ mol^{-1}
- ง. 5,358 kJ mol^{-1}
- จ. 6,754 kJ mol^{-1}

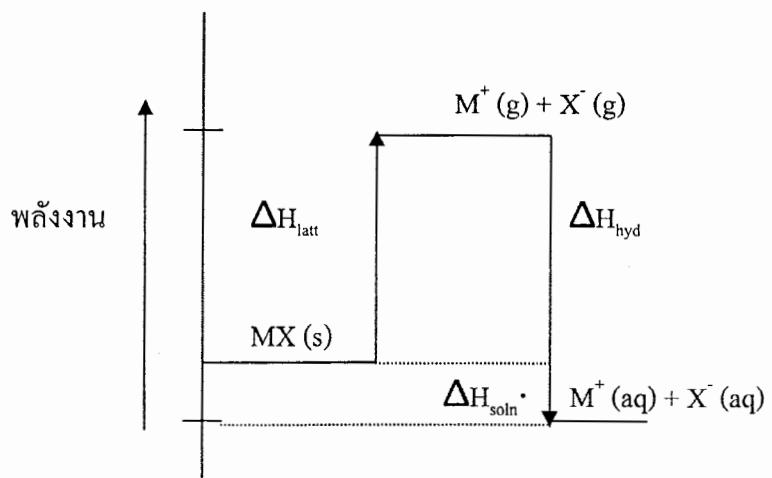
8. จากข้อมูลที่กำหนดให้ต่อไปนี้ จงหาค่า electron affinity (ΔH_{EA}) ของ F

ΔH_f° ของ LiF	= - 594.1 kJ mol ⁻¹
ΔH_{sub} ของ Li	= 155.2 kJ mol ⁻¹
ΔH_{IE} ของ Li	= 520 kJ mol ⁻¹
ΔH_{diss} ของ F ₂	= 150.6 kJ mol ⁻¹
ΔH_{latt} ของ LiF	= - 1,012 kJ mol ⁻¹
ก. - 1,188.6 kJ mol ⁻¹	
ข. - 855.6 kJ mol ⁻¹	
ค. - 408.3 kJ mol ⁻¹	
ง. - 333 kJ mol ⁻¹	
จ. + 260 kJ mol ⁻¹	

9. จากข้อมูลที่กำหนดให้ต่อไปนี้ จงหาค่าเอนทัลปีของสารละลาย KCl

กำหนด พลังงานแผลต์ทิชของ KCl	= + 690 kJ mol ⁻¹
พลังงานไชเดรชันของ KCl	= - 686 kJ mol ⁻¹
เอนทัลปีของสารละลาย KCl เท่ากับ	
ก. - 682 kJ mol ⁻¹	
ข. - 4 kJ mol ⁻¹	
ค. + 4 kJ mol ⁻¹	
ง. + 694 kJ mol ⁻¹	
จ. + 1,376 kJ mol ⁻¹	

10. จากแผนภาพ แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานในกระบวนการเกิดสารละลายน้ำออกนิก ดังนี้



รูป กระบวนการเกิดสารละลายน้ำออกนิก

คำกล่าวใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- การเกิด $\text{MX}(\text{s}) \rightarrow \text{M}^+(\text{g}) + \text{X}^-(\text{g})$ เป็นกระบวนการรายพลังงาน (ΔH เป็น -)
- การเกิด $\text{M}^+(\text{g}) + \text{X}^-(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{X}^-(\text{aq})$ เป็นกระบวนการดูดพลังงาน (ΔH เป็น +)
- เอนทัลปีของสารละลาย $\text{MX} = \Delta H_{\text{latt}} - \Delta H_{\text{hyd}}$
- การเกิดสารละลาย MX เป็นกระบวนการรายพลังงาน
- พลังงานแล็ตทิชของ MX มีค่ามากกว่าพลังงานไฮเดรชัน

11. วัสดุกรบอร์น – ชาเบอร์ มีพื้นฐานมาจากกฎ ๆ หนึ่ง ซึ่งกล่าวว่า “ในปฏิกริยาที่มีหลายขั้นตอน การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกริยารวมจะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในปฏิกริยาขั้นตอน” กฎนี้คือกฎใด

- กฎของไฮสต์
- กฎทรงมวล
- กฎของคูลอมบ์
- กฎสัดส่วนคงที่
- กฎของอิโวการไดร์

12. สารประกอบในข้อใดต่อไปนี้ เมื่อละลายน้ำแล้ว สารละลายนำไฟฟ้าได้ดี จัดเป็นอิเล็กโตร ไอล์ต์ แก๊ส (strong electrolyte) ทั้งหมด

- ก. N_2HCONH_2 , CH_3OH
- ข. NH_3 , H_3PO_4
- ค. CuSO_4 , H_2SO_4
- ง. CH_3COOH , KOH
- จ. $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

13. สารประกอบในข้อใดต่อไปนี้ เมื่อละลายน้ำแล้ว สารละลายนำไฟฟ้าได้ไม่ดีจัดเป็น อิเล็กโตร ไอล์ต์อ่อน (weak electrolyte) ทั้งหมด

- ก. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, glacial acetic acid
- ข. NaCl , NaOH
- ค. CsI , KCl
- ง. KMnO_4 , AgNO_3
- จ. NaHCO_3 , NH_3

คำสั่ง ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 14-15

จากการทดลอง ทดสอบการนำไฟฟ้าของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และสารละลาย NH_3 แล้วนำสารละลายหั่งสองผสมกันสังเกตผลที่ได้ และวัดการนำไฟฟ้าของสารละลายผสมนี้ แล้วเติมสารละลาย NH_3 เพิ่มลงไปอีก ปรากฏผลการทดลองดังตาราง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ลำดับที่	สารละลาย	ลักษณะที่สังเกตได้	การนำไฟฟ้าของสารละลาย
1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	ใส, สีฟ้า	-
2	NH_3	ใส, ไม่มีสี	-
3	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$	เกิดตะกอนคล้ายวุ้นสีเขียว	-
4	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$ แล้วเพิ่ม NH_3 อีก	ตะกอนคล้ายวุ้นหายไป ได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม	-

จากข้อมูลที่ให้จะตอบคำถามข้อ 14 - 15

14. นักศึกษาคาดว่า คำกล่าวใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- การนำไฟฟ้าของสารละลาย NH_3 จะดีกว่า $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เพราะ NH_3 เป็นสารประกอบโคลเวเลนต์แต่ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ เป็นสารประกอบไฮอนิก
- สารละลายผสมระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3$ ในข้อ 3 จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ในข้อ 1
- สารละลายผสมตามข้อ 4 เมื่อเพิ่มสารละลาย NH_3 ลงไปอีกจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลายในข้อ 3
- สารละลาย NH_3 นำไฟฟ้าได้ไม่ดีเท่าสารละลายผสมระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ NH_3 ในข้อ 3
- สารละลายในข้อ 3 นำไฟฟ้าได้ดีเท่ากับสารละลายในข้อ 4

15. เมื่อผสมสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ NH_3 ในข้อ 3 สามารถเขียนสมการไฮอนิกสูตรที่ได้อย่างไร

- $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{NO}_3^- + 2 \text{OH}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + 2 \text{NO}_3^-$
- $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + 2 \text{NH}_4^+$
- $\text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{OH}^-$
- $\text{Cu}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(s) + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}^+$
- $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(s)$

16. เมื่อสารละลาย HCl ทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH ที่จุดสมมูลสามารถเขียนสมการไฮอนิกสูตรแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างไร

- $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) \longrightarrow \text{NaCl}(\text{aq})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

17. จงแสดงสมการ ไออ่อนิกรรมของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายน HCl กับ โลหะ Zn

- $Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) + 2Cl^-(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + H_2(g)$
- $Zn(s) + 2H^+(aq) + 2Cl^-(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$

18. สมการ ไอออนิกสูทชี แสดงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายน $AgNO_3$ กับ HCl คือข้อใด

- $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + H^+(aq) + Cl^-(aq)$
- $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + HCl(aq)$
- $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$
- $AgNO_3(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s) + NO_3^-(aq)$
- $AgNO_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + HNO_3(aq)$

คำสั่ง จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 19 - 20

จากการศึกษาปฏิกิริยาของ 0.1 M $CuSO_4$ กับ 0.1 M $H_2S(g)$ และ 0.1 M $Cu(C_2H_3O_2)_2$ กับ $H_2S(g)$ ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ลำดับที่	สารละลายน	การนำไฟฟ้า
1	$CuSO_4$	1,306 μS
2	H_2S	118.7 μS
3	$Cu(C_2H_3O_2)_2$	3.84 mS
4	$CuSO_4 + H_2S$	5.30 mS
5	$Cu(C_2H_3O_2) + H_2S$	905 μS

19. สมการ ไอออนิกสูทชี แสดงการเกิดปฏิกิริยาในข้อใดถูกต้อง

- $Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s) + H_2SO_4(aq)$
- $Cu(C_2H_3O_2)_2(aq) + H_2S(aq) \longrightarrow CuS(s) + 2HC_2H_3O_2(aq)$
- $Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \longrightarrow CuS(s) + H_2SO_4(s)$
- $Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s)$
- $CuSO_4(aq) + H_2S(aq) \longrightarrow Cu(s) + H_2SO_4(aq)$

20. การอธิบายผลการทดลอง ข้อใดไม่ถูกต้อง

- ก. ปฏิกิริยาระหว่าง CuSO_4 กับ H_2S ได้ H_2SO_4 ซึ่งเป็นกรดแก่ แตกตัวได้คีสารละลาย จึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น
- ข. ปฏิกิริยาระหว่าง CuSO_4 กับ H_2S ได้ CuS ที่แตกตัวได้คีสารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น
- ค. ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ กับ H_2S ได้ CuS เป็นของแข็งสารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ลดลง
- ง. ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$ กับ H_2S ได้ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ เป็นกรดอ่อน แตกตัวได้น้อย สารละลายจึงนำไฟฟ้าได้ลดลง
- จ. CuSO_4 เป็นเกลือละลายนำคีแตกตัวหนดจึงเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ แต่ H_2S ละลายนำ แล้วแตกตัวไม่หนดจึงเป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อ	คำตอนที่ถูก	ข้อ	คำตอนที่ถูก
1	ก	11	ก
2	ค	12	ค
3	ข	13	ก
4	ก	14	ค
5	ก	15	ข
6	ค	16	ง
7	ก	17	ข
8	ง	18	ค
9	ค	19	ง
10	ง	20	ข

ภาคผนวก ค

คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

คะแนนจากแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง

ตารางที่ ค.1 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เกมี

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความ ก้าวหน้า
1	12	60	15	75	15
2	5	25	6	30	5
3	2	10	12	60	50
4	5	25	6	30	5
5	7	35	12	60	25
6	9	45	7	35	- 10
7	3	15	9	45	30
8	8	40	9	45	15
9	7	35	8	40	5
10	5	25	8	40	15
รวม	63.0	315.0	92.00	460	155.00
\bar{X}	6.3	31.50	9.20	46.00	15.50
SD	2.9	14.72	2.94	14.68	16.57

ตารางที่ ค.2 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความก้าวหน้า
1	4	20	8	40	20
2	5	25	3	15	-10
3	5	25	5	25	0
4	8	40	6	30	-10
5	6	30	8	40	10
6	5	25	4	20	-5
7	4	20	7	35	15
8	7	35	4	20	-15
9	6	30	6	30	0
10	3	15	4	20	5
11	4	20	4	20	0
12	4	20	5	25	5
13	4	20	6	30	10
14	8	40	7	35	5
15	5	25	8	40	15
รวม	78.00	390.00	85.00	425.00	45.00
\bar{X}	5.20	26.00	5.66	27.50	3.00
SD	1.52	7.60	1.67	8.38	10.14

ตารางที่ ค.3 คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาระดับ ก.บ. 5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	คะแนน ก่อนเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	คะแนน หลังเรียน (เต็ม 20)	ร้อยละ คะแนน หลังเรียน	ร้อยละ ความก้าวหน้า
1	6	30	9	45	15
2	4	20	8	40	20
3	9	45	5	25	-20
4	7	35	12	60	25
5	5	25	12	60	35
6	5	25	12	60	35
7	7	35	9	45	10
8	7	35	12	60	25
9	5	25	14	70	45
10	5	25	10	50	25
11	4	20	9	45	25
12	8	40	10	50	10
13	6	30	11	55	25
14	6	30	10	10	-20
15	4	20	8	40	20
16	5	25	6	30	5
17	7	35	10	50	15
18	5	25	9	45	20
19	5	25	10	50	25
20	5	25	7	35	10
21	6	30	11	55	25
22	5	25	10	50	25
รวม	126.00	630.00	214.00	1030.00	400.00
\bar{X}	5.72	28.63	9.72	46.81	18.18
SD	1.31	6.57	2.11	13.41	15.39

ตารางที่ ก.4 ช่วงเปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าของคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาลุ่มตัวอย่าง

ช่วง % ความก้าวหน้า	วท.บ.4/2 เคมี		ค.บ. 5/2 วิทย์ฯ (เคมี)		ค.บ. 5/3 วิทย์ฯ (เคมี)		รวมทุกระดับ	
	จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา		จำนวนนักศึกษา	
	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%
ต่ำกว่า 0	1	1	4	26.7	2	9.1	7.0	14.9
1 - 10	0	0	3	20.0	0	0.0	3.0	6.4
11 - 20	3	3	5	33.3	4	18.2	12.0	25.5
21 - 30	3	3	3	20.0	5	22.7	11.0	23.4
31 - 40	2	2	-	-	8	36.4	10.0	21.3
41 - 40	0	0	-	-	2	9.1	2.0	4.3
41 - 50	1	1	-	-	1	4.5	2.0	4.3
51 - 60	-	-	-	-	-	-	-	-
61 - 70	-	-	-	-	-	-	-	-
71 - 80	-	-	-	-	-	-	-	-
81 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-
91 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	10	100	15	100	22	100	47	100
\bar{X} ของ %	15.5%		3%		18.2%		12.2%	

ตารางที่ ค.5 คะแนนแบบฝึกหัดทักษะการทดลองของนักศึกษาระดับ วท.บ. 4/2 เค米

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	6	8	6
2	9	8	8
3	6.75	9	7
4	6	8	6
5	6	8	6
6	6	8	6
7	6.75	9	7
8	6.75	9	7
9	9	8	8
10	9	8	8
รวม	71.25	83.00	69.00
\bar{X}	7.12	8.30	6.90
SD	1.52	3.48	2.77

ตารางที่ ค.6 คะแนนแบบฝึกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษา ระดับ ก.บ. 5/2 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	6	8	7
2	6	8	7
3	5	8	5
4	5	8	5
5	6	8	7
6	5	8	5
7	5.25	8	8
8	5	8	5
9	5	8	7
10	5	8	7
11	5.25	8	8
12	5	8	7
13	5.25	8	7
14	5.25	8	8
15	6	8	7
รวม	80.00	120.00	100.00
\bar{X}	5.33	8.00	6.60
SD	0.43	0.00	1.11

ตารางที่ ก.7 คะแนนแบบผีกหัดท้ายการทดลองของนักศึกษา ระดับ ก.บ.5/3 วิทยาศาสตร์ (เคมี)

คนที่	ตอนที่ 1 (เต็ม 10)	ตอนที่ 2 (เต็ม 10)	ตอนที่ 3 (เต็ม 10)
1	5	7	8
2	5	7	8
3	5	7	8
4	8	7	8
5	8	7	8
6	8	7	8
7	5	8	7
8	5	8	7
9	5	8	7
10	5	7	6
11	5	7	6
12	5	7	6
13	5	8	7
14	5	8	7
15	5	8	7
16	5	8	7
17	5	8	7
18	7	8	7
19	7	8	7
20	7	8	7
21	7	8	7
22	7	8	7
รวม	134	167	157
\bar{X}	6.09	7.59	7.14
SD	1.27	0.50	0.63

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

นางสาวนกพร แข็งขัน

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2534 – 2537 วิทยาศาสตรบัณฑิต

วิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ประวัติการวิจัย

ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

พ.ศ. 2548

สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ

การสำรวจความหลากหลายของพรรณพืชป่าโคกกระ

เพอ ต.นาโคเมือง อ.เมือง จ.สุรินทร์ เพื่อการอนุรักษ์

พันธุกรรมพืชหายาก

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2538 – ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

โทรศัพท์ 044 – 521393 โทรสาร 044 – 521393

