การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์
A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE

จุฑาพร เส็งเล็ก
ณัฏฐา ทับดวง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE

จุฑาพร เส็งเล็ก

ณัฏฐา ทับดวง

b.00216471

i.

TB00129

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE

JUTAPORN SENGLEK

NATTA TUBDOUNG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIRMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)

DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑาพร เส็งเล็ก รหัสนักศึกษา 55051474 นางสาวณัฏฐา ทับดวง รหัสนักศึกษา 55051491
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โศภน ประธานกรรมการ	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการ	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ กรรมการ	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์
ชื่อนักศึกษา นางสาวจุฑาพร เส็งเล็ก รหัสนักศึกษา 55051474
นางสาวณัฏฐา ทับดวง รหัสนักศึกษา 55051491
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยได้แบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 3 กรณี กรณีแรกเป็นการเตรียมด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี pH กรณีที่สองเป็นการเตรียมด้วยวิธีทางเคมีโดยการต้มอลูมิเนียมในกรดไฮโดรคลอริค (HCl) และกรณีที่สามคือการเตรียมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีผสมกับวิธีทางเคมี โดยกรณีแรกทำการเตรียมจากแผ่นอะลูมิเนียมสองแผ่น และสารอิเล็กโทรไลต์ จากปริมาณเกลือ 6 กรัม และ 90 กรัม กรณีที่สองนำผงอลูมิเนียมมาผสมในกรดไฮโดรคลอริค(HCl) ที่ความเข้มข้น 0.1 M และผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และกรณีที่สามนำสองวิธีข้างต้นมาผสมกันโดยทำการต้มสารละลายอิเลกโทรไลต์ที่มีปริมาณเกลือ 3 กรัม กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ความเข้มข้น 0.1 M ทดลองที่อุณหภูมิ 60°C,70°C,80°C และ 90°C แล้วนำผลที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆด้วยเครื่องมือ X-ray Diffraction (XRD) ผลที่ได้พบว่าปริมาณเกลือและแรงดันค่าต่างๆที่ใช้ไม่มีผลต่อสารตัวอย่าง คาดว่าสิ่งที่ได้ควรเกิดเป็นสาร PAC แต่จากผลการทดลองได้เป็น $AlCl_3$ เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันและมีความสะอาดที่ไม่เพียงพอ จึงสามารถสรุปได้ว่าสารตัวอย่างที่ได้คือ สารอะลูมิเนียมคลอไรด์(Al_2O_3)

คำสำคัญ : อะลูมิเนียมออกไซด์ ไฟฟ้าเคมี อิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE
Students	Miss Jutaporn Senglek Student ID 55051474
	Miss Natta Tubdoung Student ID 55051491
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Assoc.Prof. Wichan Techitdheera

Abstract

This special project aims to prepare and study polyaluminium chloride (PAC). This separate of experiment to 3 cases. First, preparing PAC by electrochemistry. In this case, two aluminium sheets and electrolyte, 6 g. and 90 g. of salt mixing in 100 ml of distilled water were prepared with small voltage supplied. In the second case aluminium powder and HCl mixing in 100 ml of distilled water were boiled at 80°C for 2 hours. The last case, mixed two methods with boiling at 60°C, 70°C, 80°C and 90°C. In the first case, after sample sintering, we found AlO and Al_2O_3 in the samples. In the second and third case, the solution from our preparation gave the good coagulation but less than commercial PAC.

Keywords : Aluminium oxide, Electrochemical, Electrolyte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคล ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด เสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา รวมทั้งตรวจทานความถูกต้องของงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อ.สาหร่าย เล็กชอุ่ม อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการตรวจทานความถูกต้องงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความถูกต้องตามรูปแบบของงานวิจัยของคณะวิทยาศาสตร์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการธุรการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา บุคคลในครอบครัว คณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้ร่วมแบ่งปันความรู้และประสบการณ์ ในการทำงาน

จุฑาพร เส็งเล็ก
ณัฏฐา ทับดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อะลูมิเนียม (Aluminium : Al)	5
2.1.1 ที่มาของอะลูมิเนียม	5
2.1.2 คุณสมบัติ	7
2.1.3 ประโยชน์	7
2.1.4 การประยุกต์	8
2.2 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride: NaCl)	9
2.2.1 โครงสร้างผลึก	10
2.2.2 คุณสมบัติ	10
2.2.3 องค์ประกอบ	12
2.2.4 ประโยชน์และตัวอย่าง	13
2.2.5 การนำไปประยุกต์ใช้	14
2.2.6 การแยกสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ด้วยกระแสไฟฟ้า	15
2.3 เอนโทรปีและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์	16
2.4 สมการของกิบบ์ส	19
2.5 อะลูมินา	21
2.5.1 โครงสร้าง	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.2 คุณสมบัติ	23
2.5.3 การนำไปประยุกต์ใช้	23
2.6 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly Aluminium Chloride)	25
2.7 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)	26
2.7.1 อิเล็กโทรไลต์แก่ (strongelectrolyte)	27
2.7.2 อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte)	27
2.8 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte)	27
2.9 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	27
2.9.1 ส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี	28
2.9.1.1 ขั้วไฟฟ้า มี 2 ชนิด	28
2.9.1.2 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)	28
2.9.2 เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)	28
2.9.2.1 องค์ประกอบของเซลล์กัลป์วานิก	29
2.9.2.2 ประเภทของเซลล์กัลป์วานิก	29
2.9.3 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte cell)	30
2.10 X-Ray Diffraction (XRD)	31
2.10.1 วิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน	32
2.10.2 วิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ	33
2.10.3 วิเคราะห์ขนาดของผลึก(Crystallite size) และความเครียดระดับจุลภาค (Microstrian)	33
2.10.4 วิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวัด	35
3.2 การออกแบบชุดการทดลอง	36
3.3 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง	37
3.3.1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม	37
3.3.2 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์	37
3.4 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยา	38
3.5.1 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยาโดยวิธีไฟฟ้าเคมี	38
3.5.2 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยาโดยวิธีทางเคมี	40
3.5.3 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยาโดยรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน	41
3.6 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ	43
3.6.1 การอัดเม็ด	43
3.6.2 ทดสอบด้วยเครื่อง (XRD)	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	46
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	46
4.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการเตรียมสารด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี	46
4.2 ผลการทดลองของการเตรียมสาร PAC ด้วยวิธีทางเคมีโดยการต้มโลหะอะลูมิเนียมในกรดไฮโดรคลอริก (HCl)	47
4.3 ผลการทดลองของการเตรียมโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์โดยรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน	49
4.4 ผลการทดสอบด้วย XRD	55
4.4.1 ผลจากกการวัดด้วยเครื่อง XRD ที่ได้จากการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี	55
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ช่วงระยะเวลาในการดำเนินงาน	3
2.1	คุณสมบัติของอะลูมิเนียม	5
2.1	คุณสมบัติของอะลูมิเนียม(ต่อ)	6
2.2	คุณสมบัติของโซเดียมคลอไรด์	11
2.3	ความสามารในการละลายของโซเดียมคลอไรด์ในตัวละลายต่างชนิด	13
2.4	แสดงการสรุปผลของกรณีอุณหภูมิต่างๆ	21
2.5	แสดงข้อมูลของอะลูมิเนียมออกไซด์	24
2.5	แสดงข้อมูลของอะลูมิเนียมออกไซด์(ต่อ)	25
2.6	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี	25
2.7	เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเซลล์กัลป์วานิกกับเซลล์อิเล็กโทรไลต์	31
4.1	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความต่างศักย์และปริมาณเกลือที่แตกต่างกัน 90 g	46
4.2	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความต่างศักย์และปริมาณเกลือที่แตกต่างกัน 6 g	46
4.3	แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80°C กำหนดค่า pH=4.1	47
4.4	แสดงเวลาการตกตะกอนของ PAC,น้ำโคลนและสารที่ปรับค่า pH=4.1 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิ 80°C	48
4.5	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90°C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่ อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ช.ม.	49
4.6	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80°C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่ อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ช.ม.	49
4.7	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70°C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่ อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ช.ม	49
4.8	แสดงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่ อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ช.ม.	50
4.9	แสดงการตกตะกอนของ pH=3, pH=4, PAC, และโคลน ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 60°C	51
4.10	แสดงการตกตะกอนของ pH=3, pH=4, PAC, และโคลน ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 70°C	52
4.11	แสดงการตกตะกอนของ pH=3, pH=4, PAC, และโคลน ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 80°C	53
4.12	แสดงการตกตะกอนของ pH=3, pH=4, PAC, และโคลน ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 90°C	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตารางธาตุ	4
2.2	ชิ้นอะลูมิเนียมยาว 15 เซนติเมตร เทียบขนาดกับเหรียญเซ็นต์สหรัฐฯ	7
2.3	ผลึกโซเดียมคลอไรด์	9
2.4	โครงสร้างผลึกของโซเดียมคลอไรด์โดยการจัดเรียงแบบคิวบิกโคลสแพคก์ (ccp-cubic close packed)(สีน้ำเงินอ่อน =Na+,สีเขียวเข้ม=Cl-)	10
2.5	การแยกสารละลาย NaCl	15
2.6	การจัดของโมเลกุลต่างๆของ CO	17
2.7	ลักษณะโดยทั่วไปของอะลูมิเนียมออกไซด์	21
2.8	แสดงโครงสร้างของอะลูมินา	22
2.9	เซลล์กัลป์วานิก	28
2.10	ตัวอย่างเซลล์ปฐมภูมิ (ซ้าย) เซลล์แห้ง (ขวา) เซลล์แอลคาไลน์	30
2.11	เซลล์นิกเกิล-แคดเดียม	30
2.12	เซลล์อิเล็กโทรไลต์	31
2.13	Bragg's Law	32
2.14	แสดงการวิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่าง เทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน	32
2.15	แสดงการวิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ	33
2.16	แสดงการวิเคราะห์ขนาดของผลึกและความเครียดระดับจุลภาค	33
2.17	แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน	34
3.1	ชุดการทดลอง	36
3.2	ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยา	37
3.3	สารละลายที่ได้หลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี	38
3.4	สารละลายที่ทำการแบกชั้นบนและชั้นล่าง	38
3.5	กรองสารละลาย	39
3.6	สารละลายที่อบแล้ว	39
3.7	ผงอะลูมิเนียม 2.7 กรัม	40
3.8	ต้มที่อุณหภูมิ 80°C	40
3.9	ทดสอบการตกตะกอน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.10	ปรับค่า pH เท่ากับ 3 และ 4	41
3.11	ต้มสารที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C, 80°C และ 90°C	41
3.12	จ่ายกระแส 1 โวลต์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	42
3.13	กรองสารละลายที่ได้	42
3.14	อบสารที่อุณหภูมิ 100°C	42
3.15	ทดสอบการตกตะกอน	43
3.16	อุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดเม็ดสาร	43
3.17	ทำความสะอาดอุปกรณ์ด้วยเอทานอล	43
3.18	การบดสารให้เป็นผงละเอียด	44
3.19	การใส่สารลงในบล็อก	44
3.20	เครื่องอัดสาร	45
3.21	เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)	45
4.1	เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 6 กรัม ชั้นล่าง ที่ความต่างศักย์ 0.75-0.95 โวลต์	55
4.2	เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 90 กรัม ชั้นบน ที่ความต่างศักย์ 0.75-0.9 โวลต์	56
4.3	เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 90 กรัม ชั้นล่างที่ความต่างศักย์ 0.75-0.9 โวลต์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$AlCl_3$	Aluminum Chloride
$Al(OH)_3$	Aluminum Hydroxide
Al_2O_3	Aluminum Oxide
HCL	Hydrogen Chloride
KB_r	Potassium bromide
NaCl	Sodium Chloride
PAC	Poly Aluminium Chloride
XRD	X-Ray Diffraction
อะลูมิน่า	อะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

PAC (โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์) เป็นสารที่ทำเกิดการตกตะกอน มีคุณสมบัติคล้ายสารส้ม คือ สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำหรือการบำบัดน้ำเสียในกระบวนการ Coagulation ซึ่งจะใช้ PAC น้อยกว่าสารส้ม

PAC (โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์) สามารถใช้ได้ทั่วไปในทุกๆความเข้มข้นกับน้ำที่ต้องการให้มีการตกตะกอน ยกตัวอย่างกระบวนการที่ได้นำเอา PAC (โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์) ไปใช้แล้วได้ผลดี ได้แก่

- น้ำประปา โดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำ
- น้ำบาดาล
- น้ำเสียในอุตสาหกรรม
- การแยกอณูของแข็งจากสารแขวนลอยในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ
- การนำสารที่ยังใช้ประโยชน์ได้กลับมา โดยการตกตะกอนจากน้ำเสียชนิดต่างๆ

PAC (โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์) อาจนำไปใช้ได้หลายแบบในทางอุตสาหกรรม เช่น

- การผลิตน้ำประปาชุมชน
- การกำจัดน้ำเสีย
- อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ
- อุตสาหกรรมเคมี
- อุตสาหกรรมเหล็ก
- อุตสาหกรรมไฟฟ้า
- อุตสาหกรรมก่อสร้าง
- อุตสาหกรรมอาหาร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาวิธีการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

1.2.2 ศึกษาโครงสร้างของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์

1.2.3 ศึกษาความสามารถในการตกตะกอนของสารที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์โดยวิธีไฟฟ้าเคมี,วิธีการต้มโลหะอะลูมิเนียมในกรด HCl และแบบที่สามรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน

1.3.2 ศึกษาโครงสร้างของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์โดยใช้เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการตกตะกอนของสารที่เตรียมได้ โดยการเปรียบเทียบเวลาในการตกตะกอน

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1.1 วางแผนการดำเนินงาน ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาและสมาชิกในกลุ่ม

1.4.1.2 เลือกหัวข้อโครงงานพิเศษที่สนใจ(การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์)

1.4.1.3 สร้างชุดการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายในน้ำ และทดลองของการเตรียมสาร PAC โดยการต้มโลหะอะลูมิเนียมในกรดไฮโดรคลอริก(HCl) และวิธีที่สามรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน

1.4.1.4 เริ่มทดลองตามเงื่อนไขปริมาณเกลือที่แตกต่าง และโวลต์ค่าต่างๆ สังเกตผลระหว่างเกิดปฏิกิริยา

1.4.1.5 นำสารมากรอง แล้วนำไปทดสอบโครงสร้างผลึกโดยเครื่อง X-ray Diffraction

1.4.1.6 นำสารละลายที่ได้มาทดสอบการตกตะกอน โดยการเปรียบเทียบเวลาในการตกตะกอน

1.4.1.7 วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 วิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ช่วงระยะเวลาในการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงระยะเวลา
1	ศึกษาการศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์	เดือน ตุลาคม 2558
2	จัดเตรียมอุปกรณ์	เดือน ตุลาคม 2558
	ออกแบบ และสร้างชุดการทดลอง	เดือน พฤศจิกายน 2558
3	เริ่มการทดลองและเก็บผล	เดือน พฤศจิกายน 2558
4	การทดสอบ	
	ส่งสารไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วย XRD	เดือน ธันวาคม 2558
	วิเคราะห์ผล และวางแผนการดำเนินงานต่อ	เดือน กุมภาพันธ์ 2559
	วิเคราะห์ชนิดและคุณสมบัติของสาร	เดือน กุมภาพันธ์-มีนาคม 2559
5	สรุปและอภิปรายผล	เดือน มีนาคม-เมษายน 2559

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ได้

1.5.2 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการเตรียมวัสดุอื่นๆด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีและวิธีทางเคมีต่อไป

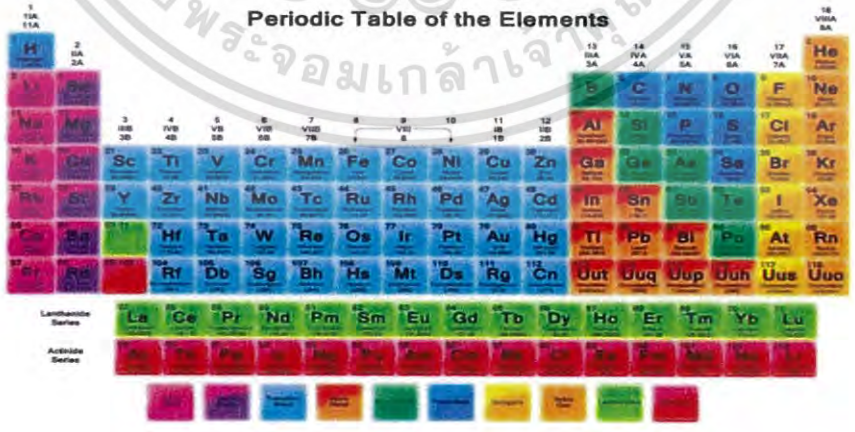
1.5.3 มีความรู้และเข้าใจในเรื่องโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์,ไฟฟ้าเคมีและวิธีทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อะลูมิเนียม (Aluminium : Al)

อะลูมิเนียม (ในภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือในอเมริกาเหนือจะใช้ aluminum) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดได้ง่าย ในธรรมชาตินั้น อะลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี มีความแข็งแรงทนทาน และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภทด้วยกัน ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอะลูมิเนียมยังสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยานและสำคัญในด้านอื่นๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรงอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่พบมากบริเวณเปลือกโลก เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับสามรองจากซิลิคอน คือพบประมาณ 7.5% โดยมวล อะลูมิเนียมในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารประกอบชนิดต่างๆเช่น บอกไซต์ ($Al_2O_3.2H_2O$) ไครโอไลต์ (Na_3AlF_6) แต่ในธรรมชาติ อะลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีสีขาวเงิน มีความหนาแน่น 2.699 1 g/cm 320 $^{\circ}$Cนำไฟฟ้าได้ดีและนำได้ดีขึ้นเมื่อมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น มีความว่องไวในป้องกัน ไม่ให้ผุกร่อน ต่อไป ทับทิม ไพลิน และบุศราคัมที่ใช้เป็นเครื่องประดับ เป็นพลอยประเภทคอรันดัม สูตรเคมี คือ Al_2O_3ซึ่งมีความแข็งรองจากเพชร แต่มีสีต่างกันเพราะมีธาตุอื่นที่เป็นมลทินต่างกัน ถ้ามีโครเมียมออกไซด์ปนอยู่จะมีสีชมพูถึงแดงเข้มเรียกว่า ทับทิม ถ้ามีไทเทเนียมและเหล็กออกไซด์ ปนอยู่จะมีสีน้ำเงินเรียกว่า ไพลิน และถ้ามีเหล็กออกไซด์ปนอยู่จะมีสีเหลืองเรียกว่า บุศราคัม



รูปที่ 2.1 ตารางธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ที่มาของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มักเกิดในรูปสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนมากจะพบในดินเหนียวและดินต่างๆ วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตอะลูมิเนียม คือ สินแร่โบไซต์หรือบอกไซต์ (Bauxite) มีลักษณะเหมือนดินแดงหรือดินลูกรังแต่มีความแข็งกว่า ในสินแร่บอกไซด์จะมีดินเหนียวบริสุทธิ์ (อะลูมิเนียมออกไซด์ : Al_2O_3) ปนอยู่ประมาณ 55-60% เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ไม่เกิน 24% น้ำในโมเลกุลสินแร่ประมาณ 12-31% และแร่ซิลิกา (SiO_2) ไม่เกิน 4% แหล่งแร่บอกไซด์ที่สำคัญๆ คือ ที่ประเทศฝรั่งเศสตอนใต้ ฮังการี รัสเซีย สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย อินโดนีเซีย

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม

ทั่วไป	
ชื่อ,สัญลักษณ์,เลขอะตอม	อะลูมิเนียม, Al, 13
อนุกรมเคมี	โลหะ
หมู่,คาบ,บล็อก	13,3,p
ลักษณะ	มันวาว
มวลอะตอม	26.9815386(8) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Ne] $3s^2$ $3p^1$
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 3,
คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	2.70 ก./ซม.^{3}
ความหนาแน่นของของเหลวที่จุดหลอมเหลว	2.375 ก./ซม.^{3}
จุดหลอมเหลว	933.47 K (660.32 °C)
จุดเดือด	2792 K(2519 °C)
ความร้อนจำเพาะของการหลอมเหลว	10.71 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไอ	294.0 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 24.200 J/(mol·K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม(ต่อ)

ความดันไอ						
P(Pa)	1	10	100	1 k	10k	100k
T (K)	1482	1632	1817	2054	2364	2790

คุณสมบัติของอะตอม	
โครงสร้างผลึก	สี่เหลี่ยมลูกบาศก์
สถานะออกซิเดชัน	2, 1 (ออกไซด์เป็นเบสปานกลาง)
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	1.90 (พอลิงสเกล)
รัศมีอะตอม	135 pm
รัศมีอะตอม(คำนวณ)	145 pm
พลังงานไอออไนเซชัน (เพิ่มเติม)	ระดับที่ 1: 745.5 กิโลจูล/โมล ระดับที่ 2: 1957.9 กิโลจูล/โมล ระดับที่ 3: 3555 กิโลจูล/โมล
รัศมีโควาเลนต์	138 pm
รัศมีแวนเดอวาลส์	140 pm
อื่นๆ	
การจัดเรียงทางแม่เหล็ก	diamagnetic
ความต้านทานไฟฟ้า	(20 °C) 16.78 nΩ·m
การนำความร้อน	(300 K) 401 W/(m·K)
การขยายตัวจากความร้อน	(25 °C) 16.5 µm/(m·K)
อัตราเร็วของเสียง (แท่งบาง)	(r.t.) (annealed) 3810 m/s
โมดูลัสของยังก์	130 Gpa
โมดูลัสของแรงเฉือน	48 Gpa
โมดูลัสของแรงบีบอัด	140 Gpa
อัตราส่วนปัวซอง	0.34
ความแข็งโมห์ส	3
ความแข็งวิกเกอร์ส	369 Mpa
ความแข็งบริเนล	874 Mpa
เลขทะเบียน CAS	7440-50-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณสมบัติ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะเป็นเงา เมื่อเกิดการออกซิเดชัน จะเกิดชั้นบางๆ ของออกไซด์ขึ้น เมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอะลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล (MPa) และ 400 MPa ถ้าทำเป็นโลหะผสม อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นประมาณ 1/3 ของเหล็กเป็นโลหะอ่อน สามารถดัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและความทนเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกันพื้นหน้าอะลูมิเนียมมีการสะท้อนแสงมากกว่าโลหะอื่น ๆในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm (UV) และ 3000-10000 nm (IR ไกล)ส่วนในช่วงที่มองเห็นได้ คือ 400-700 nm โลหะเงินสะท้อนแสงได้ดีกว่าเล็กน้อย และในช่วง 700-3000 (IR ใกล้) โลหะเงิน ทองคำและทองแดงสะท้อนแสงได้ดีกว่า อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ดัดได้ง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อะลูมิเนียมนำความร้อนได้ดี จึงเหมาะสมที่จะทำหม้อหุงต้มอาหาร

รูปที่ 2.2 ชิ้นอะลูมิเนียมยาว 15 เซนติเมตร เทียบขนาดกับเหรียญเซ็นต์สหรัฐฯ

2.1.3 ประโยชน์

โลหะอะลูมิเนียมเป็นโลหะเศรษฐกิจที่สำคัญเพราะมีราคาถูก และใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น โลหะเจืออะลูมิเนียม ใช้ทำเครื่องบิน ยานอวกาศ กลอนประตู หน้าต่าง เครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้านนอกจาก นั้นอะลูมิเนียมยังใช้ทำสายไฟฟ้า ทำวัสดุห่อของในลักษณะของอะลูมิเนียมแผ่นบาง ใช้ทำกระป๋องน้ำอัดลม กระป๋องเบียร์ กระป๋องน้ำผลไม้ ชิ้นส่วนเครื่องจักร อุปกรณ์เคมีและอื่นๆ สารส้ม $(K_2SO_4Al_2(SO_4))_3(24H_2O)$ ซึ่งเป็นสารประกอบของอะลูมิเนียมใช้ในกระบวนการทำน้ำประปา การทำกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การประยุกต์

เมื่อวัดในทั้งปริมาณและมูลค่า การใช้อะลูมิเนียมมีมากกว่าโลหะอื่น ๆ ยกเว้นเหล็กและมีความสำคัญในเศรษฐกิจโลกทุกด้าน

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงต่ำ แต่สามารถนำไปผสมกับธาตุต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีสและซิลิกอน (เช่นduralumin) ในปัจจุบันวัสดุเกือบทั้งหมดที่เรียกว่าอะลูมิเนียมเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์พบเฉพาะเมื่อต้องการความทนต่อการกัดกร่อนมากกว่าความแข็งแรงและความแข็ง เมื่อรวมกับกระบวนการทางความร้อนและเชิงกล (thermo-mechanical processing) โลหะของอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์ที่ดีขึ้น โลหะอะลูมิเนียมเป็นส่วนสำคัญของเครื่องบินและจรวดเนื่องจากมีอัตราความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง

อะลูมิเนียมสามารถสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ดีเยี่ยม (~99%) และสามารถสะท้อนแสงอินฟราเรดได้ดี (~95%) อะลูมิเนียมชั้นบาง ๆ สามารถสร้างบนพื้นผิวเรียบด้วยวิธีการควบแน่นของไอสารเคมี (chemical vapor deposition) หรือวิธีการทางเคมี เพื่อสร้างผิวเคลือบออปติคัล (optical coating) และกระจกเงาผิวเคลือบเหล่านี้จะเกิดชั้นอะลูมิเนียมออกไซด์ที่บางยิ่งกว่า ที่ไม่สึกกร่อนเหมือนผิวเคลือบเงิน กระจกเงาเกือบทั้งหมดสร้างโดยใช้อะลูมิเนียมชั้นบางบนผิวหลังของแผ่นกระจกลอย (float glass). กระจกเงาในกล้องโทรทรรศน์สร้างด้วยอะลูมิเนียมเช่นกัน แต่เคลือบข้างหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนภายใน การหักเห และการสูญเสียจากความใส กระจกเหล่านี้เรียกว่า first surface mirrors และเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่ากระจกเงาตามบ้านทั่วไปที่เคลือบข้างหลัง

ตัวอย่างการนำเอาอะลูมิเนียมไปใช้งาน เช่น

1. การขนส่ง (รถยนต์ เครื่องบิน รถบรรทุก ตู้รถไฟ เรือทะเล จักรยานฯลฯ)
2. ภาชนะ (กระป๋อง,ฟอยด์ ฯลฯ)
3. การบำบัดน้ำ
4. การรักษาปรสิตของปลา เช่นGyrodactylus salaris
5. งานก่อสร้าง (หน้าต่าง ประตู ลวด ฯลฯ)
6. สินค้าสำหรับผู้บริโภคที่มีความคงทน (เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ ครัว ฯลฯ)
7. สายไฟฟ้า (ชิ้นส่วนและลวดอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นน้อยกว่าทองแดงและราคาถูกกว่าด้วย แต่มีความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าด้วย มีหลายพื้นที่ ที่ห้ามใช้ลวด อะลูมิเนียมสำหรับสายไฟตามบ้าน เนื่องจากความหนาแน่นสูงกว่าและขยายในความร้อนมากกว่า)
8. แม่เหล็กที่ทำจากเหล็กกล้าเอ็มเคเอ็ม (MKM steel) แอลไนโก (Alnico) แม้ว่าตัวอะลูมิเนียมเองจะใช้วัตถุแม่เหล็กก็ตาม
9. อะลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง (SPA ย่อจาก Super purity aluminium, 99.980% ถึง 99.999% Al) ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์และซีดี.
10. อะลูมิเนียมผงใช้เป็นตัวเคลือบสีเงินเกล็ดอะลูมิเนียมมีอยู่ในสีพื้น เช่นสีเคลือบเนื้อไม้ (primer) เมื่เกล็ดแห้งจะซ้อนทับกันเป็นชั้นกันน้ำ
11. อะลูมิเนียมแอโนไดส์ (anodised) คงทนต่อการออกแซิเดชั่นเพิ่มเติม และใช้ในการก่อสร้างในด้านต่าง ๆ รวมถึงการทำฮีตซิงก์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. อะลูมิเนียมแอโนไดส์ (anodised) คงทนต่อการออกแซิเดชั่นเพิ่มเติม และใช้ในการก่อสร้างในด้านต่าง ๆ รวมถึงการทำฮีตซิงก์ด้วย
13. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่ต้องทำความเย็นของชิ้นส่วนภายใน (เช่น ทรานซิสเตอร์ซีพียู - สารกึ่งตัวนำโดยทั่วไป) มีฮีตซิงก์ที่ทำจากอะลูมิเนียม เนื่องจากผลิตง่าย และนำความร้อนได้ดี ฮีตซิงก์ทองแดงเล็กกว่า แต่แพงกว่าและผลิตยากกว่าด้วย
14. อะลูมิเนียมออกไซด์หรืออะลูมินา, พบในธรรมชาติในรูปของแร่กะรุน (ทับทิมและนิล), และใช้ในการผลิตกระจกทับทิมและนิลสังเคราะห์ใช้ในเครื่องเลเซอร์เพื่อผลิตแสงความถี่เดียว (coherent light)
15. อะลูมิเนียมออกซีไดส์ด้วยพลังงานสูง ทำให้ใช้ในเชื้อเพลิงแข็งสำหรับจรวดเธอร์ไมต์ (thermite) และสารประกอบอื่น ๆ สำหรับทำดอกไม้ไฟ
16. นอกจากนี้ อะลูมิเนียมยังเป็นตัวนำยิ่งยวด ที่อุณหภูมิวิกฤต 1.2 เคลวิน

2.2 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride: NaCl)

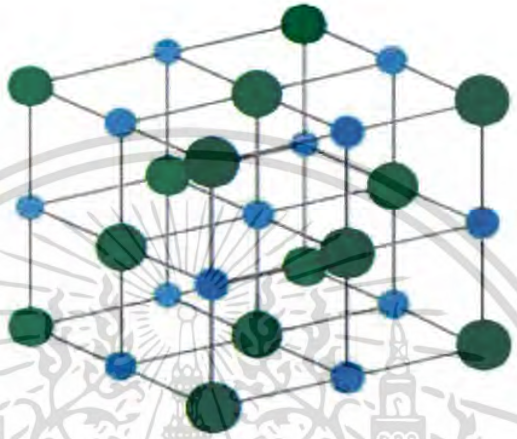
โซเดียมคลอไรด์(ภาษาอังกฤษ :Sodium Chloride สูตรเคมี :NaCl) มีชื่อเรียกทั่วไป คือ เกลือแกง เป็นสารประกอบเคมี โซเดียมคลอไรด์เป็นเกลือที่มีบทบาทต่อความเค็มของมหาสมุทรและของเหลวภายนอกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เป็นส่วนประกอบหลักในเกลือที่กินได้ โดยมักถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเป็นเครื่องปรุงรสและใช้ในการถนอมอาหาร

รูปที่ 2.3 ผลึกโซเดียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โครงสร้างผลึก

โครงสร้างคลอไรด์จะเกิดผลึกแบบคิวบิกสมมาตร ในโครงสร้างเหล่านี้ ไอออนคลอไรด์ที่มีขนาดใหญ่จะถูกจัดเรียงในคิวบิก โคลสแพคก์(ccp-cubic close packed) ในขณะที่โซเดียมไอออนซึ่งมีขนาดเล็กกว่า จะถูกบรรจุในช่องว่าง octahedral ระหว่างไอออน แต่ละไอออนจะถูกแวดล้อมด้วยไอออนชนิดอื่น 6 ตัว ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานเดียวกันกับที่พบในแร่อื่นๆ อีกหลายชนิด และรู้จักกันในชื่อโครงสร้างไฮไลต์ (halite)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของโซเดียมคลอไรด์โดยการจัดเรียงแบบคิวบิกโคลสแพคก์ (ccp-cubic close packed). (สีน้ำเงินอ่อน =Na^{+},สีเขียวเข้ม=Cl^{-})

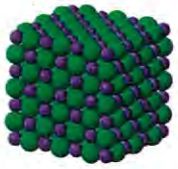
2.2.2 คุณสมบัติ

มนุษย์เรามีความคุ้นเคยกับเกลือมานานตั้งแต่สมัยโบราณ โดยเราใช้เกลือในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร เกลือมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากใช้ง่ายและราคาถูก ในทางวิทยาศาสตร์การอาหารเกลือนั้นหมายถึง เกลือที่ใช้ในการปรุงอาหาร (cooking salt หรือ table salt) ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า Sodium Chloride (Nacl) เกลือบริสุทธิ์นั้นมีลักษณะสีขาว ผลึกรูปร่างไม่คงที่ แต่จัดว่าเป็นแบบ ลูกบาศก์(cubic system) เกลือมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (Hygroscopic) และจะมีคุณสมบัตินี้มากขึ้น ถ้าเกลือนั้นไม่บริสุทธิ์

หลักการทางเคมีที่ใช้ผลิตเกลือสมุทร คือ ความถ่วงจำเพาะ การละลาย การระเหย การตกผลึก สิ่งเจอปนที่ติดมากับเกลือ Nacl ได้แก่ Mg2+ , Ca2+ ,SO42- สามารถแยกจากเกลือได้โดยเติมสารต่อไปนี้ลงไป NaOH เพื่อกำจัด Mg2+, Bacl2 เพื่อกำจัด Ca2+และ Ba2+ และเติม HCl เพื่อกำจัด CO42-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของโซเดียมคลอไรด์

 **โซเดียมคลอไรด์**	
ชื่อตาม IUPAC	Sodium Chloride
ชื่ออื่น	Common salt, halite, table salt
ตัวระบุ	
เลขทะเบียน CAS	[7647-14-5][CAS] 7758-99-8 (pentahydrate)
RTECS number	VZ4725000
EC number	231-847-6
RTECS number	GL8800000 (anhydrous) GL8900000 (pentahydrate)
คุณสมบัติ	
สูตรเคมี	NaCl
มวลต่อหนึ่งโมล	58.44 g/mol (anhydrous)
ลักษณะทางกายภาพ	ไม่มีสี เป็นผลึกของแข็งสีขาว
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น	2.16 g/cm^3 (anhydrous)
จุดหลอมเหลว	801 °C (1074 K)
จุดเดือด	1465°C(1738 K)
ความสามารถในการละลายน้ำ	35.9 g/100 ml (25 °C)
ดัชนีหักเหของแสง(n_D)	1.544 (589 nm)
โครงสร้าง	
โครงสร้างผลึก	Cubic,cF8
Space group	Fm3m,No.225
Coordination geometry	Octahedral (Na^+) Octahedral (Cl^-)
ความอันตราย	
EU Index	ไม่ได้ระบุไว้
จุดวาบไฟ	ไม่ติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 องค์ประกอบ

เกลือ เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยไอออนบวกของโลหะ (a positive metallic ion) (รวมทั้งไฮโดรเจนไอออน) และสารไอออนลบของอโลหะ (a negative metallic ion) (รวมทั้ง hydroxide ion) หากเกลือละลายในน้ำจะได้ ion บวก และ ion ลบ เช่น NaClNa++Cl- sodium chloridesodium ion chloride ion, K2SO42K++SO4- potassium sulfate เกลือเป็นคำทั่ว ๆ ไปที่เรียกกัน ความจริงเกลือเป็นสารประกอบซึ่งมีหลายชนิด อย่าได้เข้าใจว่าเกลือทุกชนิดคือเกลือแกง (NaCl) เกลือบางชนิดมีรสเปรี้ยว, บางชนิดมีรสเฝื่อนหรือขม, บางชนิดมีรสเค็ม, บางชนิดละลายน้ำ, บางชนิดไม่ละลายน้ำ, บางชนิดละลายน้ำได้เล็กน้อย ดังเช่น

เกลือที่ละลายน้ำ ได้แก่ เกลือโซเดียม, เกลือโปตัสเซียม, เกลือแอมโมเนีย, เกลืออาซีเตท (acetate), เกลือไนเตรท(nitrate), เกลือของคลอไรด์ (ยกเว้นคลอไรด์ของเงิน ตะกั่ว และปรอท) เกลือซัลเฟต (ยกเว้นเกลือซัลเฟตของแคลเซียม แบเรียมและตะกั่ว)

เกลือที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่

1. คาร์โบเนท (carbonate) ยกเว้น โซเดียม,โปตัสเซียม และ ammonium
2. ฟอสเฟต (phosphate) ยกเว้น โซเดียม,โปตัสเซียม และ ammonium
3. ซัลไฟด์ (sulfides) ยกเว้น โซเดียม,โปตัสเซียม และ ammonium

ตัวอย่างความสามารถในการละลายของเกลือบางชนิด

1. Sodium chloride(NaCl) ละลาย
2. Silver chloride (AgCl) ไม่ละลาย
3. Sodium sulfate (Na_2SO_4) ละลาย
4. Zinc nitrate $Zn(NO_3)_2$ ละลาย
5. Barium sulfate ($BaSO_4$) ไม่ละลาย
6. Calcium phosphate $Ca_3(PO_4)_2$ไม่ละลาย
7. Magnesium carbonate ($MgCO_3$) ไม่ละลาย

ชนิดของเกลือแบ่งออกเป็น

1. Normal Salts ประกอบด้วย metallic ion และ non-metallic ion ไม่มีไฮโดรเจนไอออนหรือไฮดอรกไซด์ไอออนอยาในโมเลกุลซึ่งได้จากการแทนทีไฮโดรเจนของกรดทั้งหมดโดยโลหะ เช่นเกลือแกง (NaCl)

2. Acid Salts มีเกลือบางชนิดที่ไฮโดรเจนไอออนในกรดไม่ได้ถูกแทนที่หมดโดยโลหะ เช่น $2NaOH+H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4+2H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโซเดียมคลอไรด์ในตัวละลายต่างชนิด

(g NaCl /100 g of solvent at 25 °c)	
น้ำ	35.9
แอมโนเนียเหลว	3.02
เมทานอล	1.4
กรดฟอร์มิก	5.2
ซัลโฟเลน	0.005
อะซิโตนิไตรล์	0.0003
อะซิโตน	0.000042
ฟอร์มาไมด์	9.4
ไดเมทิลฟอร์มาไมด์	0.04

2.2.4 ประโยชน์และตัวอย่าง

เกลือจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต และ metabolism ในร่างกาย เช่น เกลือของเหล็ก (iron salt) จำเป็นสำหรับการสร้างฮีโมโกลบิน, เกลือของไอโอดีน (iodine salts) จำเป็นสำหรับการทำหน้าที่ของต่อมไทยรอยด์, เกลือของแคลเซียมและฟอสเฟต (calcium and phosphate salts) จำเป็นสำหรับการสร้างกระดูกและฟัน, เกลือของโซเดียมและโปตัสเซียม (sodium and potassium salts) ช่วยควบคุมความสมดุลกรดด่างในร่างกาย, เกลือบางชนิดควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ, บางชนิดควบคุมการเต้นของหัวใจ,ช่วยรักษาระดับ osmotic pressure ของเซลล์, เกลือบางชนิดใช้ประโยชน์เฉพาะทางยา

1. Potassium iodide (Kl) เป็นผลึกขาว เติมลงไปในเกลือแกง เพื่อทำเกลืออนามัย เพื่อเพิ่มไอโอดีนแก่ร่างกาย ใช้เป็น Thyroid treatment ในทางแพทย์

2. Potassium nitrile (KNO_2), Sodium nitrile ($NaNO_2$) ใส่ในเนื้อกระป๋องหรืออาหารจำพวกเนื้อ เช่น แหนม ไส้กรอก เพื่อให้เกิดสีแดงแก่เนื้อ

3. Sodium Chloride (NaCl) เป็นผลึกสีขาว ช่วยในการถนอมอาหาร ปรุงรสอาหาร ใช้เป็นน้ำเกลือตามโรพยาบาล

4. Sodium Sulfate (Na_2SO_4) ใช้เป็นส่วนประกอบของผลซักฟอก

5. Potassium hydrogen tartate (cream of tartar) ผลึกสีขาวใช้เป็นส่วนประกอบของผงฟู

6. Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) เป็นผลึกสีขาว ใช้ในการแก้น้ำกระด้าง ใช้ในการซักรีดเสื้อผ้า และทางการแพทย์ใช้เป็นยาลดกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Potassium aluminium sulfate หรือสารส้ม $K_2SO_4Al(SO_4)_3.24H_2O$ เป็นของแข็ง ใช้เป็นสารกันฝาดและทำให้ตะกอนในน้ำรวมกัน

8. Calcium carbonate ($CaCO_3$) ใช้เป็นยาลดกรด

9. Sodium sulfate (Na_2SO_4) ใช้เป็นยาถ่าย

10. Magnesium sulfate ($MgSO_4$) ใช้เป็นยาถ่าย

11. Magnesium carbonate ($MgCO_3$) ใช้เป็นยาถ่าย

12. Potassium sodium tartate ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$) ใช้เป็นยาถ่าย

13. Silver Nitrate ($AgNO_3$) ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

14. Barium sulfate ($BaSO_4$) ใช้ในกาเคลือบกระเพาะและลำไส้และตรวจสอบกระเพาะอาหาร

15. Ferrous sulfate ($FeSO_4$) แก้โรคโลหิตจาง

16. Calcium chloride ($CaCl_2$) ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วขึ้น

17. Ammonium carbonate $(NH_4)_2CO_3.H_2O$ ใช้เป็นยาขับเสมหะ

18. ขบวนการสะเทิน (Neutralization) หมายถึงปฏิกิริยาระหว่างกรดกับด่าง เกิดเกลือและ น้ำ

2.2.5 การนำไปประยุกต์ใช้

ปัจจุบันเกลือถูกผลิตโดยการระเหยของน้ำทะเลหรือน้ำเค็มจากแหล่งอื่น ๆ เช่น บ่อน้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำเค็ม (salt lake) และการทำเหมืองเกลือที่เรียกว่า ร็อกซอลต์ (rock salt) ในขณะที่ผู้คนจำนวนมากคุ้นเคยกับการใช้เกลือปรุงอาหารแต่พวกเขาอาจไม่รู้ว่าเกลือใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น

1. ใช้ในการผลิตกระดาษ

2. ใช้ในหมึกพิมพ์ผ้าในอุตสาหกรรมแท็กไทล์

3. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต สบู่และผงซักฟอก

4. ใช้ในการละลายน้ำแข็งที่เกาะบนพื้นถนน ในประเทศแคนาดาและสหรัฐอเมริกา ในช่วงฤดูหนาวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

5. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคลอรีน พีวีซี และยาฆ่าแมลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

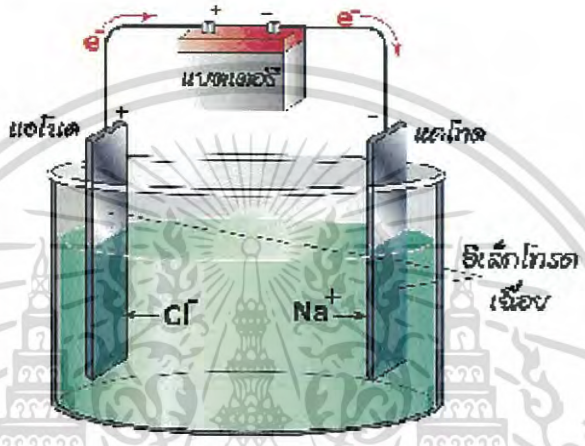
2.2.6 การแยกสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ด้วยกระแสไฟฟ้า

การผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์และแก๊สคลอรีนนี้ อาจได้มาจากโซเดียมคลอไรด์ โดยอาศัยหลักการของเซลล์อิเล็กโทรไลต์

หลังจากการทดลองแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้สารละลาย NaCl อิ่มตัว เป็นสารละลายเล็กโทรไลต์ แตกตัวได้ดังนี้

$$NaCl(aq) \longrightarrow Na^{+}(aq) + Cl^{-}(aq)$$

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



รูปที่ 2.5 การแยกสารละลาย NaCl

ที่แอโนด(+) :

$$2Cl^{-}(aq) \longrightarrow Cl_2(g) + 2e^{-}$$

โดยแก๊สของคลอรีนทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีแดงและสีน้ำเงิน ผลปรากฏว่า เปลี่ยนเป็นสีขาว เพราะ $Cl_2(g)$ ทำปฏิกิริยากับ H_2O ได้ HClO ซึ่งฟอกจางสี

ที่แคโทด (-) :

$$2H_2O(l) + 2e^{-} \longrightarrow 2OH^{-}(aq) + H_2(g)$$

โดยแก๊สไฮโดรเจน ใช้ก้านธูปที่มีเปลวไฟไปจ่อที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ ไฟจะดับพร้อมเกิดเสียงดังเป๊าะ และ OH^{-}จะมีสมบัติเป็นเบส จึงทดสอบได้ เมื่อหยดสารละลายฟีนอฟทาลีนในสารละลาย จะสังเกตเห็นสีชมพูบริเวณขั้วลบของแบตเตอรี แสดงว่ามี $OH^{-}(aq)$ เกิดขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยารวม :

$$2Cl^-(aq) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g) + Cl_2(g)$$

สารละลายที่เหลือจากกาแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก

$$Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow NaOH(aq)$$

ดังนั้นเมื่อนำสารละลายไประเหย จะพบโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นสารสีขาวเหลืออยู่ในการผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในอุตสหกรรมนั้น จะใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนโดยผ่าน NaCl (aq) อิ่มตัวเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ตลอดเวลา H_2 (g), Cl_2 (g) และ NaOH (aq)ที่เกิดขึ้น จะต้องแยกออกจากกันเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสาร

2.3 เอนโทรปี และกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

กระบวนการเปลี่ยนแปลงใดก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางกายภาพหรือทางเคมี จะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มความไม่เป็นระเบียบหรือลดความเป็นระเบียบความจริงแล้วคำกล่าวนี้เป็นวิธีหนึ่งของการให้นิยามของกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ (second low of thermodynamics) และความไม่เป็นระเบียบจะมีมากหรือน้อยเพียงใดระบุโดยฟังก์ชันหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ เรียกว่าเอนโทรปี (entropy, ซึ่งใช้สัญลักษณ์ S) ถ้าความไม่เป็นระเบียบมีมาก S จะมีค่ามาก เอนโทรปี เช่นเดียวกับ E และ H เป็นสเตตฟังก์ชัน (state funtion) กล่าวคือขึ้นอยู่กับภาวะเริ่มต้น (initial state) และภาวะสุดท้าย (final state) เท่านั้น ไม่ขึ้นกับขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลง

ให้ S_1 = เอนโทรปี ณ ภาวะเริ่มต้น

S_2 = เอนโทรปี ณ ภาวะสุดท้าย

และ $\Delta S = S_2 - S_1$

ซึ่ง ΔS = การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี

S_1 และ S_2 เช่นเดียวกับ และเป็นปริมาณที่ไม่สามารถวัดได้ แต่การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีเป็นปริมาณที่วัดได้ โดยให้ความร้อนกับระบบ เช่น คาร์บอนมอนออกไซด์ที่อุณหภูมิ เป็นผลึกสมบูรณ์แบบในลักษณะนี้ผลึก มีความเป็นระเบียบสูงสุด จึงมีค่าเอนโทรปี (S_1) ต่ำสุด เมื่อให้ความร้อนกับระบบ อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้น ($T > 0$ K) โมเลกุลตามจุดในโครงผลึกเริ่มเกิดการสั้นสะเทือนทำให้บางโมเลกุลมีขั้วหันไปในทิศทางที่สวนกับโมเลกุลอื่นๆ

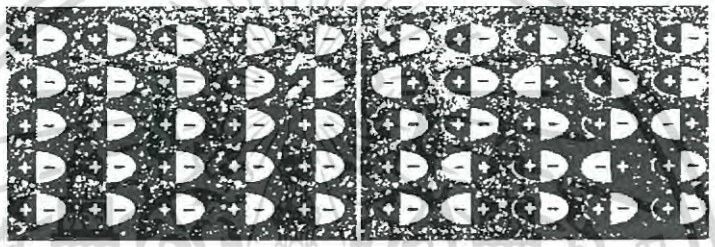
ดังรูปที่ 2.6 การจัดของโมเลกุลต่างๆของ Co ความเป็นระเบียบเริ่มลดลงหรือไม่เป็นระเบียบเริ่มสูงขึ้น เอนโทรปี(S_2) จะมีค่าสูงขึ้น($S_2 - S_1 > 0$) และถ้าเพิ่มความร้อนเข้าไปอีก (T สูงขึ้นอีก) ความไม่เป็นระเบียบจะสูงขึ้นตามลำดับ(S_2 มีค่ามากขึ้นตามลำดับ) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าΔS แปรผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรงกับปริมาณความร้อนที่เพิ่มให้ระบบ ถ้าให้ q_{rev} แทนปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นให้กับระบบจะได้

$$\Delta S \; \alpha \; q_{rev} \qquad (2.1)$$

(q_{rev} คือความร้อนที่สามารถผันกลับได้เหตุผลที่ต้องใช้ q_{rev} เพราะความร้อน q ไม่ใช่สเตดฟังก์ชันแต่ q_{rev}เป็นสเตดฟังก์ชัน คือขึ้นกับภาวะตั้งต้นและถาวะสุดท้ายเท่านั้น กล่าวคืออีกนัยหนึ่งได้ว่าความร้อนจะเป็นสเตดฟังก์ชันได้ก็ต่อเมื่อเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้เท่านั้น และเนื่องจาก ΔS เป็นสเตดฟังก์ชัน ความร้อนที่ใช้จึงต้องเป็นq_{rev})



ก ข

รูปที่ 2.6 การจัดของโมเลกุลต่างๆของ Co

ก. ที่ 0 K CO เป็นผลึกสมบูรณ์แบบ
ข. ที่สูงกว่า 0 K เกิดความไม่เป็นระเบียบ
+ และ– แทนสภาพขั้วของ CO โมเลกุล

นอกจากนี้แล้ว ΔS ยังแปรผันอย่างผกผันกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มความร้อนเข้าไป ที่อุณหภูมิต่ำ เช่นที่ใกล้ 0 K ระบบมีความเป็นระเบียบสูงมาก การเพิ่มความร้อนจำนวนหนึ่งอาจทำให้ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นมาก ΔS จึงมีค่ามาก แต่ที่อุณหภูมิสูง ระบบมีความไม่เป็นระเบียบอยู่มากอยู่แล้ว การเพิ่มความร้อนปริมาณเท่ากันทำให้ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ΔS มีค่าน้อยกว่า) สรุปได้ว่าความร้อนที่เพิ่มให้กับระบบที่อุณหภูมิต่ำกว่าทำให้ระบบมีค่า ΔS มากกว่า ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง ΔS, q_{rev}และอุณหภูมิสัมบูรณ์ Tคือ

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} \qquad (2.2)$$

ถ้าΔS = บวก ระบบมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น

ถ้าΔS = ลบ ระบบมีความไม่เป็นระเบียบลดลงหรือความเป็นระเบียบเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีเพิ่มความร้อนให้กับน้ำ ΔS มีค่าเป็นบวกก็เป็นไปตามความคาดหมาย เพราะพลังงานของระบบเพิ่มขึ้น ความไม่เป็นระเบียบย่อมเพิ่มขึ้นด้วย ตัวอย่างกระบวนการซึ่ง ΔS เป็นบวกหรือความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นได้แก่

ก. การทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่แตกสลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เช่น

$$N_2O_4 \longrightarrow 2NO_2$$

ข. เมื่อจำนวนโมลของแก๊สในระบบเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างในข้อ ก.

หรือ $2NH_3 \longrightarrow N_2+3H_2$

ค. เมื่อของแข็งหลอมเหลว

ง. เมื่อของเหลวระเหยเป็นไอ

จ. เมื่อนำสารบริสุทธิ์สองสารหรือมากกว่าสองสารมาผสมกัน รวมทั้งกระบวนการเกิดสารละลาย

ตัวอย่างกระบวนการซึ่ง ΔS เป็นลบ หรือความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น ได้แก่ กระบวนการซึ่งเกิดในทิศทางตรงกันข้ามกับตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วข้างต้นดังนี้

ก. การทำให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น

$$N_2O_2 \longrightarrow N_2O_4$$

หรือปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันของเอทีลีนเกิดเป็นโพลิเอทีลีน

$$n\ CH_2 = CH2 \longrightarrow (CH_2\text{-}\ CH_2)$$

ข. การรวมตัวของแก๊สเกิดเป็นของแข็งหรือของเหลว เช่น

หรือ $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$

ค. เมื่อแก๊สเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

ง. เมื่อของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง

จ. เมื่อสารในสารละลายตกผลึก

ฉ. ปฏิกิริยาของสารละลายเป็นผลให้เกิดตะกอนเป็นผลิตผล เช่น

$$HCl\ (aq) + AgNO_3(aq) \longrightarrow AgC(s) + HNO_3(aq)$$

ในระบบเดี่ยว (isolated system หมายถึงระบบที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนพลังงานของมวลไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบใด)การเปลี่ยนแปลงโดยตนเองที่เกิดขึ้นทุกชนิด เอนโทรปีจะต้องเพิ่มขึ้นเพราะระบบมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะที่มีโอกาสเป็นไปได้มากกว่าหรือมีการจัดหลายแบบกว่า นั่นคือ

$\Delta S > 0$ (การเปลี่ยนแปลงเกิดโดยตนเองในระบบโดดเดี่ยว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าไม่ใช่ระบบโดดเดี่ยว เช่นระบบสามารถแลกเปลี่ยนพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ระบบและสิ่งแวดล้อมอาจถือได้ว่าเป็นอีกระบบโดดเดี่ยวที่ใหญ่โตขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีรวม (ΔS_{total}) จึงเป็นผลบวกของการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของระบบ (ΔS_{system}) และของสิ่งแวดล้อม ($\Delta S_{surrounding}$) นั่นคือ

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surrounding} > 0 \qquad (2.3)$$

(การเปลี่ยนแปลงเกิดโดยตนเอง)

สิ่งแวดล้อมทั้งหมดของระบบใดก็ตามก็คือจักวาลนั่นเอง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า เอนโทรปีของจักรวาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คลอเซียส (Rudolf Clausius) ให้คำสรุปสั้นๆกับกฎข้อที่ 1 และกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 พลังงานของจักวาลคงที่
กฎข้อที่ 2 เอนโทรปีของจักวาลเพิ่มขึ้นตลอดเวลา

2.4 สมการของกิบบ์ส

การเปลี่ยนแปลงจะสามารถเกิดขึ้นโดยตัวเองได้หรือไม่ ขึ้นกับปัจจัยสองประการซึ่งอาจสวนทางกัน คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานและการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี และจากเรื่องของเอนโทรปีและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ทราบว่า

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surrounding} > 0 \qquad (2.4)$$

ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ ความร้อนที่บวกให้กับสิ่งแวดล้อมเท่ากับค่าลบของความร้อนที่บวกให้กับระบบ ใช้สัญลักษณ์ ΔH_{system} (การให้ความร้อนแก่สิ่งแวดล้อมดึงเอาความร้อนออกจากระบบ ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและระบบจึงเท่ากัน แต่มีเครื่องหมายตรงข้าม)

กิบบ์ส (Josiai W. Gibbs) นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา ได้นำฟังก์ชันทางเทอร์โมไดนามิกส์อีกฟังก์ชันหนึ่งมาใช้ คือ G เรียกว่าพลังงานอิสระของกิบบ์ส (Gibbs' free energy) หรือเรียกสั้นลงว่าพลังงานอิสระ (เหตุผลที่เรียกว่าพลังงานอิสระเพราะเป็นพลังงานสูงสุดที่ให้โดยระบบที่สามารถนำไปเปลี่ยนเป็นงานที่มีประโยชน์) ซึ่งก็เป็นสเตดฟังก์ชันเช่นกัน และให้นิยามดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = H - TS \quad (2.5)$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิและความดันคงที่

$$\Delta G = \Delta H - TS \quad (2.6)$$

$$\Delta G_{System} = -T\Delta S_{total} \text{ (ที่ P , T คงที่)} \quad (2.7)$$

ตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นโดยตนเอง ΔS_{total} ต้องมีค่าเป็นบวก หรือ $\Delta S_{total} > 0$ นั่นคือ $-T\Delta S_{total}$ ต้องมีค่าเป็นลบหรือ < 0 เป็นผลให้ $\Delta G_{System} < 0$

ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ระบบใดก็ตามจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยตนเองพลังงานอิสระต้องลดลงหรือมีค่าเป็นลบ ตรงกันข้ามถ้า ΔG มีค่าเป็นบวก การเปลี่ยนแปลงโดยตนเองจะไม่เกิดขึ้น และจะเกิดในทิศตรงกันข้ามหรือปฏิกิริยาจะผันกลับ และถ้าระบบอยู่ในสมดุล $\Delta G = 0$

ค่าของ ΔG สรุปได้ดังนี้

ΔG = ลบ การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นโดยตนเอง หรือปฏิกิริยาเกิดขึ้นตามสมการที่เขียน

ΔG = บวก การเปลี่ยนแปลงไม่สามารถเกิดขึ้นโดยตนเอง หรือปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในทิศทางตรงข้าม หรือปฏิกิริยาจะผันกลับ

$\Delta G = 0$ ระบบอยู่ในสมดุล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสุทธิ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีความสำคัญ และเป็นปรากฏการณ์ที่พบเสมอๆ เช่น ปฏิกิริยาหนึ่งอาจไม่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยานั้นให้สูงพอ ปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นได้ อีกกรณีหนึ่งได้แก่ทั้ง ΔH และ ΔS มีค่าเป็นลบ ในกรณีนี้ก็พิจารณาว่าแต่ละค่าจะลบมากน้อยเพียงใด ทำนองเดียวกับกรณีของทั้ง ΔH และ ΔS มีค่าเป็นบวก ดังได้กล่าวมา และในกรณีนี้อุณหภูมิก็มีผลเช่นกัน ที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นอาจสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงการสรุปผลของกรณีอุณหภูมิต่างๆ

ΔH	ΔS	$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$	การเปลี่ยนแปลง
-	+	-	เกิดขึ้นโดยตนเอง
+	-	+	ไม่เกิดขึ้นโดตนเอง
-	-	- ที่ T ต่ำ + ที่ T สูง	เกิดขึ้นโดยตนเอง ไม่เกิดขึ้นโดตนเอง
+	+	+ ที่ T ต่ำ - ที่ T สูง	ไม่เกิดขึ้นโดตนเอง เกิดขึ้นโดยตนเอง

2.5 อะลูมินา (Alumina)

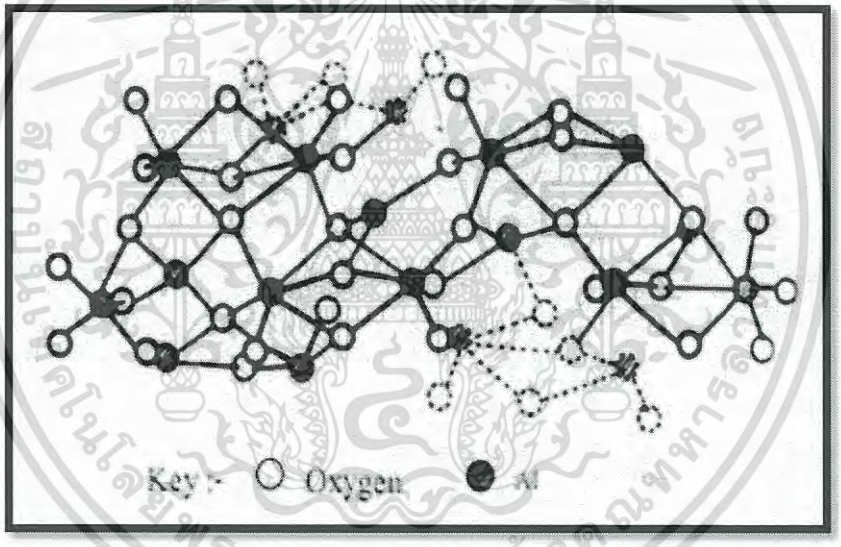
มีชื่อทางเคมี Aluminium oxide มีสูตรทางเคมีเป็น Al_2O_3 จัดเป็นออกไซด์ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ดึกดำบรรพ์จนกระทั่งถึงปัจจุบัน และยังคงถูกพัฒนานำมาใช้งานมากขึ้น อะลูมินาบริสุทธิ์ มีความถ่วงจำเพาะ 3.4-4.0 จุดหลอมเหลว 2,030 องศาเซลเซียส ความแข็ง (Mohs scale) เท่ากับ 9 อะลูมินาในธรรมชาติจัดเป็นแร่ธาตุ ที่พบในรูปของ corundum (Al_2O_3), dispore ($Al_2O_3.H_2O$) , gibbsite ($Al_2O_3.H_2O$) โดยแร่ corundum ที่พบจะเป็นแร่รัตนชาติ เช่น ทับทิม (ruby) ไพลิน (sapphire) บุษราคัม (yellow sapphire) เป็นรูปแบบของ corundum ที่มีมลทิน ในขณะที่ corundum ที่ไม่มีมลทินจะไม่มีสี อะลูมินาบริสุทธิ์และ hydrate อะลูมินาสามารถสกัดได้จากแร่ bauxite และดินลูกรัง โดยวิธีของ Bayer (Bayer process) คือนำแร่มาบดแล้วหลอมด้วยโซดาไฟ (caustic soda) จากนั้นแยกตะกอนที่ได้ออกมาแล้วเผา

รูปที่ 2.7 ลักษณะโดยทั่วไปของอะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 โครงสร้าง

อะลูมิเนียมจะพบในรูปแอลฟา (a) แกมมา (Y) เบต้า (B) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอลฟาอะลูมินา และแกมมาอะลูมินา ในอุณหภูมิที่ไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะอยู่ในรูปแกมมา หากนำไปเผาให้อุณหภูมิสูงถึง 1,150 – 1,200 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนอยู่ในรูปของแอลฟา แต่เบต้าอะลูมินา จะอยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียมคือ sodium aluminate ($NA_2O.11Al_2O_3$) แต่ที่ใช้มากที่สุดจะมีโครงสร้างผลึกแบบ Alpha Phase (**a**-Al_2O_3) เป็น phase ที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด โดยเฉพาะ Hexagonal Alpha โดยมีออกซิเจนเรียงตัวกันแบบเฮกซาโกนอล แซะมีอะลูมิเนียมที่มีขนาดเล็กกว่าแทรกอยู่ในช่องออกตะฮีดรอล 2 ใน 3 ส่วนของช่องทั้งหมด ดังรูปที่ 2.7 โดยโครงสร้างผลึกแบบ Alpha Phase (**a**-Al_2O_3) เป็นตัวที่ Stable มากที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลึกมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีความหนาแน่นสูง Alumina มักพบในรูปของ Hydrate คือผลึกของ Alumina มีการรวมตัวทางเคมีกันน้ำ เช่น หิน Bauxite ซึ่งประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ จิบไซต์ (Al_2O_3 $3H_2O$) , ไดอะสปอร์ ($Al_2O_3H_2O$), โบห์ไมท์ ($AL_2O_3H_2O$) จุดหลอมเหลวสูง (2050°C)



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คุณสมบัติ

เป็นวัตถุดิบที่มีค่าความแข็งสูง มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนสูง ทนต่อสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดีและมีความทนไฟสูง ผลึกอะลูมินา เมื่อเผาผ่านความร้อน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกซับซ้อน เหมือนซิลิกา โดยมีค่าความหนาแน่นและเฟสเท่ากับ 3.97 g/cm^3 , ของแข็ง การละลายในน้ำไม่สามารถละลายได้ มีจุดหลอมเหลวที่ 2054°C และมีจุดเดือดที่ 3000°C ในกานำความร้อนเท่ากับ 18 W/m·k และนอกจากนี้ อะลูมินาเป็นวัตถุดิบ ที่มีความถ่วงจำเพาะหนักถึง 3.95 ถ้าใช้ผสมเนื้อดิบปริมาณ 35% จะทำให้เนื้อดินหลังการเผา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 20% และอะลูมินีความแข็งสูงถึง 9 ซึ่งรองจากเพชร ทำให้การบดย่อย ให้เป็นผงละเอียดทำได้และค่อนข้างยาก ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท

2.5.3 การนำไปประยุกต์ใช้

Alumina เป็นวัตถุดิบมีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อน จากสารเคมี และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ด้วยสมบัตินี้เอง จึงถูกนำมาในการผลิตวัตถุทนไฟ เบ้าหลอม หัวเทียน และแผ่นรองวงจรไฟฟ้า ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเตาเผาได้รุดหน้าไปมาก สามารถผลิตอะลูมินาที่หลอมตัวเป็นเนื้อแก้วมีความโปร่งแสงได้ดี ซึ่งใช้ประกอบกับอุปกรณ์ทำโคมไฟและได้มีการนำอะลูมินามาผสมในเนื้อดินทำถ้วยชาม (Tableware) ด้วย อย่างไรก็ตาม การนำอะลูมินามาใช้ ก็มีผลเสียในบางกรณี เช่น อัตราการ ขยายตัวของดินต่ำ ไม่เท่ากับอัตราการขยายตัวของกาเคลือบเพราะเมื่อผลึกอะลูมินา เมื่อเผาผ่านความร้อน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกซับซ้อน เหมือนซิลิกา นอกจากนี้ได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (abrasive) อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเซรามิก และอื่นๆ ซึ่งแนวโน้มในการนำ อะลูมินาไปใช้งานก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอุตสาหกรรมหนึ่งที่นำ เอาอะลูมินาไปพัฒนาใช้คืออุตสาหกรรมเซรามิก ทั้งเซรามิกดั้งเดิมที่ใช้วัตถุดิบในธรรมชาติที่มีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบใหม่และเซรามิกสมัยใหม่ โดยในอุตสาหกรรมเซรามิกสมัยนี้สามารถนำ อะลูมินาที่ได้จากการสังเคราะห์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท เช่น อุปกรณ์ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์กึ่งตัวนำไฟฟ้า อุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์ส่วนประกอบในจรวด เครื่องมือตัดแต่ง อุปกรณ์ทางการแพทย์ อวัยวะเทียม เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เป็นต้น อะลูมินาที่นำมาใช้ในเซรามิกสมัยใหม่นั้น จะใช้ทั้งที่เป็นผง เป็นผลึกเดี่ยวๆ เป็นฟิมล์บางๆ เป็นเส้นใยและที่เป็นรูพรุน โดยผงอะลูมินาจะเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการขึ้นรูปแบบต่างๆ ได้ดี ทั้งนี้ผงอะลูมินาที่นำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและมีความละเอียดมากเพราะสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลของอะลูมินาสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยการกำจัดมลทินต่างๆ ออกไป เช่น ซิลิกาที่ปนเปื้อนจะมีผลต่อการควบคุม microstructure มีผลต่ออันตราการสึกกร่อนของอะลูมินา รวมทั้งมีผลต่อการเชื่อมผนึก (sintering) และแคลเซียมที่ปนเปื้อนก็มีผลทำให้สมบัติเชิงกลของอะลูมินาลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลของอะลูมิเนียมออกไซด์

ทั่วไป	
ชื่ออื่น	อะลูมินา (Alumina)
สูตรโมเลกุล	Al_2O_3
โมลาร์ แมสส์	101.96 g/mol
เลขทะเบียน CAS	(1344-28-1)
คุณสมบัติ	
ความหนาแน่นและเฟส	3.97 g/cm^3, ของแข็ง
การละลายในน้ำ	ไม่ละลาย
จุดหลอมเหลว	2054°C
จุดเดือด	3000°C
การนำความร้อน	18W/m k
โครงสร้าง	
Coordination geometry	octahedral
โครงสร้างผลึก	ถ้าแสงสามารถส่องทะลุผ่านแผ่นบางของอะลูมิเนียมออกไซด์ได้บางส่วนเรียกว่าพหุผลึกเนื้อแน่นไม่มีช่องว่างภายในแต่ถ้าแสงไม่สามารถส่องทะลุผ่านแผ่นบางของอะลูมิเนียมออกไซด์เรียกว่าพหุผลึกที่มีช่องว่างภายในแล้วถ้าแสงสามารถทะลุผ่านได้ทั้งหมดเรียกว่าผลึกเดี่ยว
ข้อมูลอุณหพลศาสตร์ (Themodynamic data)	
Standard enthalpy Offormation $\Delta_f H^{\theta}_{solid}$	-1675.7 kJ/mol
Standard molar entropy S^{θ}_{solid}	50.92 J/(mol K)
Heat capacity C_p	79.04 J/(mol K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลของอะลูมิเนียมออกไซด์ (ต่อ)

อันตราย	
MSDS	External MS
EU classification	
NFPA 704	
R-phrases	-
S-phrases	-
จุดวาบไฟ	ไม่ติดไฟ

2.6 โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (Poly Aluminium Chloride)

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ หรือชื่อในภาษาอังกฤษว่า Poly Aluminium Chloride หรือเรียกย่อ ๆ ว่า "PAC" หรือบางตำราก็อาจใช้ชื่อย่อเป็น "PACl" เป็นเกลืออะลูมิเนียมที่มีสูตรเคมี คือ Aln(OH)mCl(3n-m) เมื่อ O<m>3n ประเภทสารโพลีอนินทรีย์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวโดยนิวเคลียสหลายตัว (โมเลกุลใหญ่) เช่น $(Al_6(OH)_{15})_{3+}$ เป็นต้น สารโพลีดังกล่าวนี้ มีความเป็นเบสิคเกลือแรงและประจุไฟฟ้าบวก มีคุณสมบัติจับตัวสูงและมีเสถียรภาพมาก ลักษณะทั่วไปของ PAC อาจอยู่ในรูปของสารละลายใส หรือขุ่นเล็กน้อย และอาจอยู่ในรูปของผงละเอียดสีขาว โดยทั่วไปมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี

รายการที่	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	1.1 ถึง 1.4
2	โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (คำนวนเป็นAl_2O_3)	5 ถึง 25
3	ความเป็นด่างร้อยละโดยน้ำหนัก	10 ถึง 83
4	ความขุ่นเอ็นทียู (NTU) ไม่เกิน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAC ทำให้สารต่างๆ ที่แขวนลอยในน้ำจับตัวกันได้ โดยตะกอนสกปรกในน้ำที่มีประจุเป็นลบจะรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกของ PAC ในทุกขนาดของอนุภาคตะกอน PAC มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และมีหลายนิวเคลียสทำให้เกิดตะกอนหนัก จึงสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว

PAC สามารถใช้ได้ทั่วไปในทุกกรณีกับน้ำที่ต้องการให้มีการตกตะกอน ยกตัวอย่างกระบวนการที่ได้นำเอา PAC ไปใช้แล้วได้ผลดี ได้แก่

1.น้ำประปา โดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำ

2. น้ำบาดาล

3. น้ำเสียในอุตสาหกรรม

4. การแยกอณูของแข็งจากสารแขวนลอยในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ

5. การนำสารที่ยังใช้ประโยชน์ได้กลับมา โดยการตกตะกอนจากน้ำเสียชนิดต่างๆ และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้แก่

1. การผลิตน้ำประปาชุมชน
2. การกำจัดน้ำเสีย
3. อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ
4. อุตสาหกรรมเคมี
5. อุตสาหกรรมเหล็ก
6. อุตสาหกรรมไฟฟ้า
7. อุตสาหกรรมก่อสร้าง
8. อุตสาหกรรมอาหาร

2.7 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระ เมื่อละลายน้ำหรือหลอมเหลว ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากทั่วไปสารละลายนั้นจะประกอบไปด้วยไอออน จึงมักเรียกกันว่าสารละลายไอออนิก ในบางครั้งอาจเรียกสั้นๆว่า ไลต์

โดยปกติแล้ว อิเล็กโทรไลต์มักจะอยู่ในรูปของกรด เบสหรือเกลือ นอกจากนี้ ก๊าซบางชนิดอาจทำตัวเป็นอิเลกโทรไลต์ ภายใต้อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

การจำแนกอิเล็กโทรไลต์เข้มข้นหรือเจือจาง สามารถจำแนกได้จากความเข้มข้นของไอออน ถ้าความเข้มข้นมากจะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์เข้มข้น แต่ถ้ามีความเข้มข้นของไอออนน้อยจะเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์เจือจาง ถ้าสัดส่วนการแตกตัวเป็นไอออนของสารใดมีมากกว่าจะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์แก่ แต่ถ้าสัดส่วนนั้นน้อย (ส่วนใหญ่ไม่แตกตัวเป็นไอออน) จะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์อ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 อิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้มาก อาจแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมาก เช่น กรดแก่ เบสแก่ และเกลือส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% ตัวอย่างของอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ เกลือที่ละลายน้ำทั้งหมด กรดแก่ทั้งหมด เบสแก่ทั้งหมด เช่น NaCl, KNO_3, H_2SO_4 ,HCl, NH_4OH,และ HF

2.7.2 อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นได้บางส่วน และนำไฟฟ้าได้น้อย ตัวอย่างของอิเล็กโทรไลต์อ่อน ได้แก่ กรดอ่อนทั้งหมด เบสอ่อนทั้งหมด เช่น CH_3COOH, H_2CO_3, HNO_2, H_2SO_3, H_2S ,$H_2C_2O_4$, และ H_3BO_3

2.8 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte)

นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึง สารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ เมื่อละลายน้ำทั้งนี้ เนื่องจากสารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำตาล แอลกอฮอลล์ เป็นต้น

2.9 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นไฟฟ้า หรือไฟฟ้าเคมีเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvaniccell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่

2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เช่น เซลล์แยกน้ำด้วยไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

2.9.1.1 ขั้วไฟฟ้า มี 2 ชนิด

ก. ขั้วว่องไว (Active electrode) คือ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn, Cu,Pb ขั้วพวกนี้บางโอกาสจะเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาด้วย

ข. ขั้วเฉื่อย (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใดๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น Pt, C (แกรไฟต์)

สำหรับในเซลล์ไฟฟ้าหนึ่งๆ จะต้องประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ดังนี้

-ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดออกซิเดชัน

-ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดรีดักชัน

2.9.1.2 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่มีสถานะเป็นของเหลวนำไฟฟ้าได้เพราะมีไอออนบวกและลบเคลื่อนที่ไปมา อิเล็กโทรไลต์ มี 2 ชนิดคือ

ก. สารประกอบไอออนิกหลอมเหลว เช่น NaCl (s)

ข. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายกรด เบสและเกลือ

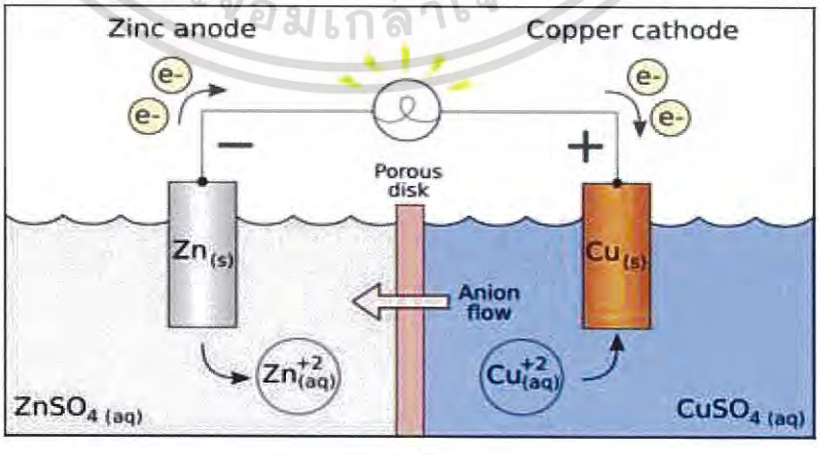
สารละลายกรด : $HCl\ (g) \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$

สารละลายเบส : $NaOH\ (s) \longrightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

สารละลายเกลือ : $NaCl\ (s) \longrightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq)$

2.9.2 เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นระบบที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยภายในเซลล์เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปอีกสารหนึ่ง (ปฏิกิริยารีดอกซ์) โดยที่สารตั้งต้นไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง ทำให้การไหลของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร ตัวอย่างเช่น เซลล์ไฟฟ้าเคมี ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่รถยนต์ และเซลล์เชื้อเพลิงที่มนุษย์อวกาศใช้ในการเดินทางไปสำรวจดวงจันทร์ (เกิดปฏิกิริยาเคมี ได้กระแส)



รูปที่ 2.9 เซลล์กัลป์วานิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2.1 องค์ประกอบของเซลล์กัลป์วานิก

เซลล์กัลวานิก ประกอบด้วยสองครึ่งเซลล์ แต่ละครึ่งเซลล์มักประกอบด้วยโลหะ ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าจุ่มอยู่ในสารละลายของไอออนของโลหะนั้น ทำหน้าที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แต่ไอออน สองชนิดกรณีนี้มักใช้ขั้วเฉื่อย เป็นขั้วไฟฟ้า เพราะอโลหะหรือไอออนไม่สามารถเป็นขั้วไฟฟ้าได้ เช่น มีก๊าซ H2 อยู่ร่วมกับ H+ หรือ ก๊าซ Cl2 อยู่ร่วมกับ Sn4+ โดยมี Pt เป็นขั้วไฟฟ้า เป็นต้น (ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย ไม่มีส่วนในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ เพียงแต่ทำหน้าที่ให้กระแสอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่านั้น)

เซลล์กัลวานิก เป็นเซลล์ไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าให้เกิดขึ้นได้เองด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ ในการศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ เราใช้แผ่นโลหะจุ่มในสารละลายโดยตรง แต่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี แผ่นโลหะที่จะ เกิดปฏิกิริยากับสารละลาย จะอยู่ในภาชนะต่างกัน แล้วนำมาต่อเชื่อมกัน เซลล์ไฟฟ้าจึงประกอบด้วยภาชนะ 2 ใบ เรียกภาชนะแต่ละใบว่า

ครึ่งเซลล์ คือ แผ่นโลหะที่จุ่มลงไปในสารละลายของไอออนของโลหะนั้นหรือก๊าซที่พ่นลงในสารละลาย ของก๊าซนั้น แผ่นโลหะหรือก๊าซที่จุ่มอยู่ในสารละลายเรียกว่า ขั้วไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าจะมี 3 ชนิด

1. ขั้วไฟฟ้าโลหะ คือ แผ่นโลหะที่จุ่มในสารละลายของไอออนของโลหะนั้น ขั้วโลหะจะทำหน้าที่ เกิดปฏิกิริยาและนำอิเล็กตรอน

2. ขั้วไฟฟ้าก๊าซ คือ ก๊าซที่พ่นลงไปในสารละลาย ก๊าซจะทำหน้าที่ในการเกิดปฏิกิริยา แต่นำอิเล็กตรอนไม่ได้ จึงต้องใช้ร่วมกับขั้วไฟฟ้าเฉื่อย

3. ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย เป็นขั้วไฟฟ้าที่ช่วยนำอิเล็กตรอน แต่ไม่มีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาต้องใช้ร่วมกับขั้วไฟฟ้าก๊าซ ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย

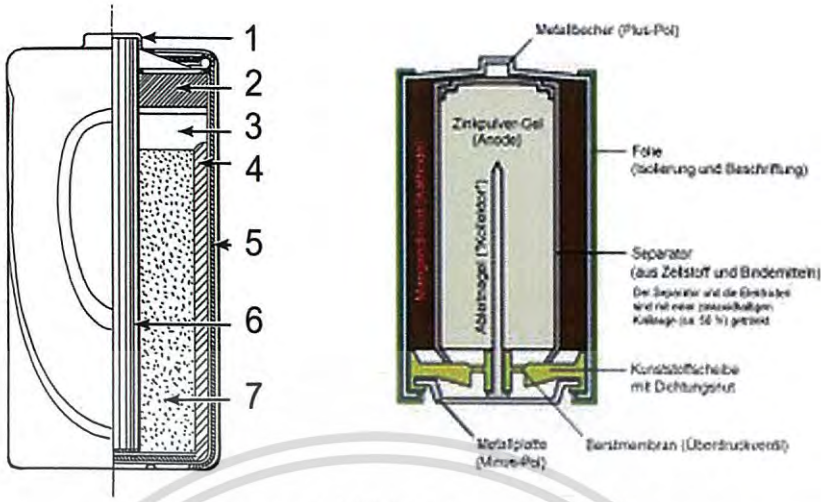
เมื่อนำครึ่งเซลล์ที่ต่างกัน 2 ครึ่งเซลล์ มาต่อเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมวงจรภายในด้วยสะพานไอออนและเชื่อมวงจรภายนอกด้วยตัวต้านทาน จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนขึ้น อิเล็กตรอนไหลไป ทางใดเข็มโวลต์มิเตอร์จะเบนไปในทิศทางนั้น

เซลล์กัลวานิกประกอบด้วยสองครึ่งเซลล์ โดยแต่ละครึ่งเซลล์จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่จุ่มลงไปในสารละลาย แท่งสังกะสีและแท่งทองแดงในเซลล์เป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าอิเล็กโทรด (electrode) ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า ขั้วแอโนด (anode) และขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ขั้วแคโทด (cathode)

2.9.2.2 ประเภทของเซลล์กัลป์วานิก

1. เซลล์ปฐมภูมิ (Primary cell) เมื่อปฏิกิริยาภายในเซลล์เกิดขึ้นและดำเนินไปแล้ว ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไม่ได้ หรือไม่สามารถนำมาอัดไฟใหม่ได้ เช่น เซลล์แห้ง เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างเซลล์ปฐมภูมิ (ซ้าย) เซลล์แห้ง (ขวา) เซลล์แอลคาไลน์

2. เซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้หรือนำมาอัดไฟใหม่ได้ เช่น เซลล์นิกเกิล-แคดเมียม เซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว เป็นต้น

รูปที่ 2.11 เซลล์นิกเกิล-แคดเดียม

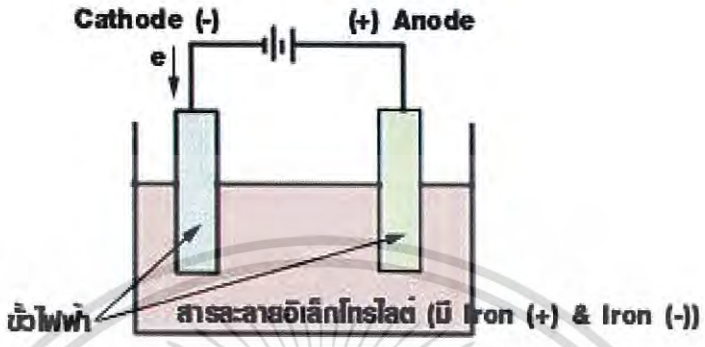
2.9.3 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte cell)

อิเล็กโทรลิซีส (Electrolysis) หมายถึง กระบวนการการแยกสลายสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หรือสารอิเล็กโทรไลต์ที่หลอมเหลวแล้ว สารอิเล็กโทรไลต์เกิดการแยกสลายได้สารใหม่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หมายถึง เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาเคมี หรือเป็นระบบที่เกิดกระบวนการอิเล็กโทรลิซีส ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้ว จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรืออิเล็กโทรไลต์ที่หลอมเหลว ขั้วไฟฟ้าทั้งสองต่อกับขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่าแอโนด และเป็นขั้วบวก ส่วนขั้วไฟฟ้าที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่าแคโทด และเป็นขั้วลบ



รูปที่ 2.12 เซลล์อิเล็กโทรไลต์

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเซลล์กัลป์วานิกกับเซลล์อิเล็กโทรไลต์

เซลล์กัลป์วานิก	เซลล์อิเล็กโทรไลต์
1. จากปฏิกิริยาเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า	1. จากพลังงานไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาเคมี
2. เป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง	2. เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยา
3. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวกเสมอ	3. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ
4. ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นขั้วลบ ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นขั้วบวก	4. ขั้วแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นบวก ขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นขั้วลบ

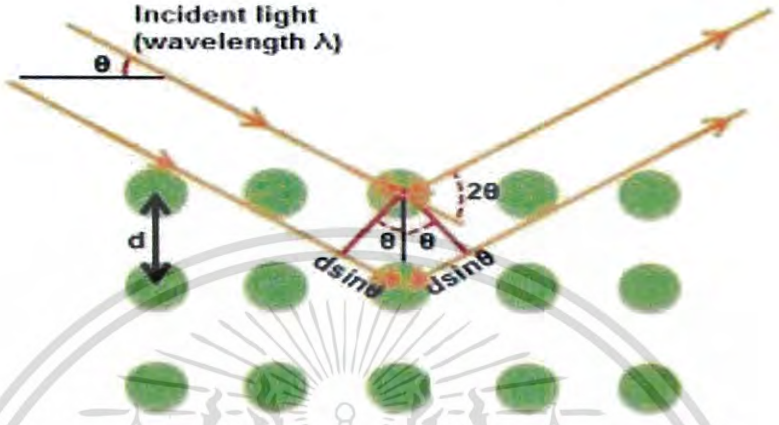
2.10 X-Ray Diffraction (XRD)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักหารเลี้ยงเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่งมุมต่างกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวัฏภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการและวิธีการวิเคราะห์

วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังภาพที่แสดงในภาพที่ ซึ่งค่าระยะ d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก



รูปที่ 2.13 Bragg's Law

สมการของ Bragg's Law มีที่มาจากหลักการจากภาพที่ 2.12 คือ $2d \sin\theta = n\lambda$ ใน ปี ค.ศ.1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบ ระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ Theta รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน Theta เท่ากับมุมตกกระทบดังแสดงในภาพที่ 2.13 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆถูกเสนอในรูปสมการ

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad \text{สมการ "Bragg's Law"} \tag{2.8}$$

ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ของเครื่อง XRD

2.10.1 วิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน (Phase analysis)

รูปที่ 2.14 แสดงการวิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐาน ข้อมูลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัฏภาคที่เป็นผลึกจะมีลักษณะ แตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ดังนั้นรูปแบบการเลี้ยวเบน รังสีเอ็กซ์ จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้บอกได้ว่าสารตัวอย่างนั้น ประกอบด้วยวัฏภาคที่เป็นผลึกชนิดใดบ้าง

2.10.2 วิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis)

รูปที่ 2.15 แสดงการวิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ

ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะเป็นค่าที่แปรผันตาม ปริมาณของวัฏภาคที่เป็นผลึกภายในสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของพีค คำนวณหาปริมาณของวัฏภาคองค์ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างได้

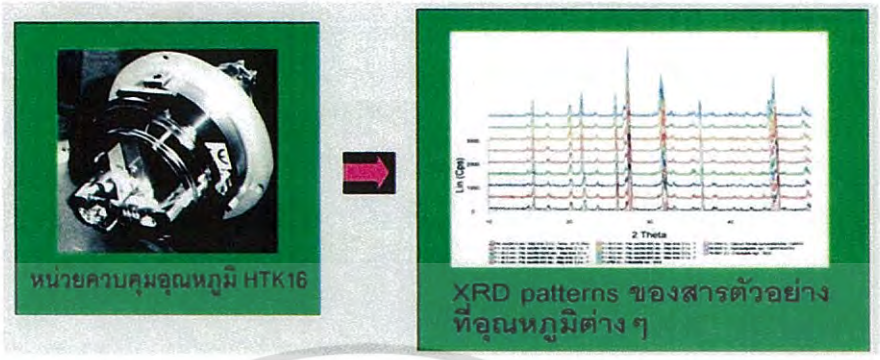
2.10.3 วิเคราะห์ขนาดของผลึก(Crystallite size)และ ความเครียดระดับจุลภาค (Microstrian)

รูปที่ 2.16 แสดงการวิเคราะห์ขนาดของผลึกและความเครียดระดับจุลภาค

ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เป็นผลเนื่องมาจากเครื่อง มือและลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึก และขนาดของตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถหาขนาดผลึกและความเครียดจุลภาคจากความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 วิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



รูปที่ 2.17 แสดงการวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างกัน

เมื่อใช้หน่วยควบคุมอุณหภูมิ HTK16 ร่วมกับเครื่อง XRD จะทำให้ สามารถวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ภายใต้สภาวะตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1600°c ทั้งในบรรยากาศปกติ สุญญากาศ หรือบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

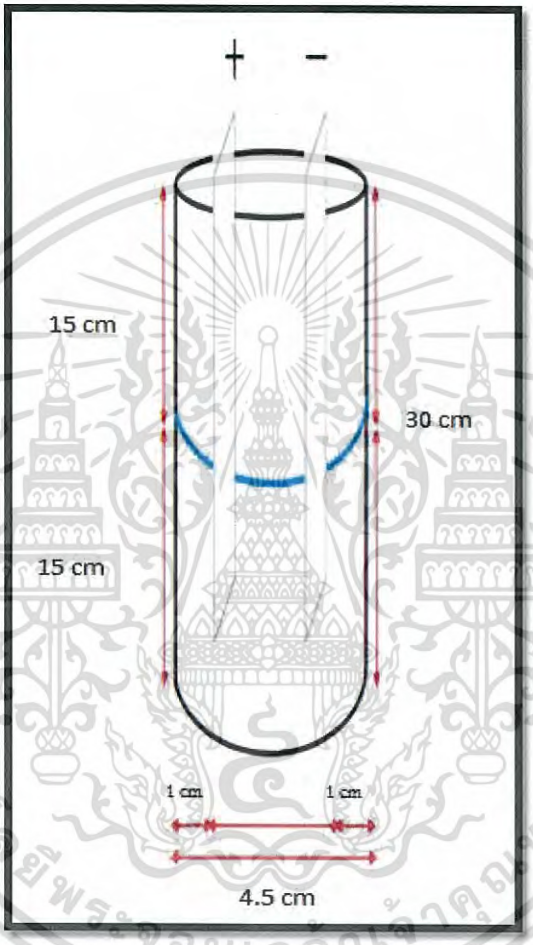
วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในชุดการทดสอบ การศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE) มีดังต่อไปนี้

1.แผ่นอะลูมิเนียม	2	แผ่น
2.กระดาษทราย	1	แผ่น
3.น้ำกลั่น	100	มิลลิลิตร
4.กรด HCl	100	มิลลิลิตร
5.กระบอกตวง	2	กระบอก
6.ภาชนะสำหรับใส่สารละลายพร้อมฝาปิด	1	อัน
7. เกลือ		
8.เครื่องชั่งสาร	1	เครื่อง
9.แท่งคนสาร	1	แท่ง
10.แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	1	เครื่อง
11. โวลต์มิเตอร์	1	ตัว
12. แอมป์มิเตอร์	1	ตัว
13. สายไฟ	5	เส้น
14.หลอดดูดสาร	1	หลอด
15.บีกเกอร์	2	อัน
16.หลอดทดลอง	4	หลอด
17.กระดาษกรอง	4	แผ่น
18. น้ำยาล้างจาน		
19.เครื่องhot plate	1	เครื่อง
20.แม่พิมพ์สำหรับอัดสาร	1	ชุด
21.เครื่องอัดสาร	1	เครื่อง
22.ชุดเครื่อง X-ray Diffraction (XRD)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชุดการทดลอง

ชุดการทดลองการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีและวิธีทางเคมีนั้น จำเป็นต้องออกแบบให้มีการควบคุมตัวแปรอื่นๆที่จะเข้ามารบกวนระบบได้ เช่น ปริมาณเกลือความต่างศักย์ที่ให้กับแผ่นอะลูมิเนียม ขนาดของแผ่นอะลูมิเนียม รวมถึงการจัดอุปกรณ์ในการทดลองทุกๆ ครั้งให้เหมือนเดิมด้วย โดยจะทำการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 3.1 ชุดการทดลอง

จากขนาดของภาชนะสำหรับใส่สารละลายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จึงต้องทำการกำหนดระยะความห่างและลักษณะการวางของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองแผ่นให้มีความเหมาะสม โดยจัดวางให้แผ่นอะลูมิเนียมวางขนานกันเป็นระยะทาง 3 เซนติเมตรและลอยอยู่เหนือฐานของภาชนะเป็นระยะ 1 เซนติเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม

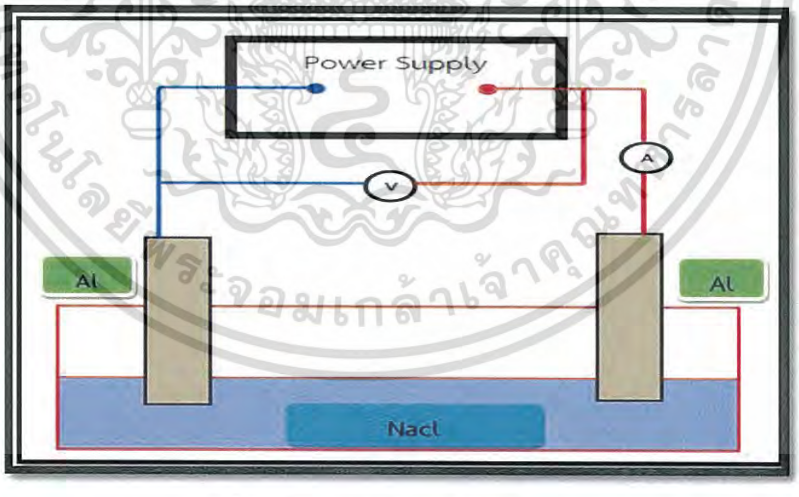
ตัดแผ่นอะลูมิเนียมให้มีขนาด 20x 1.5 เซนติเมตร เพื่อให้มีขนาดที่พอดีและเหมาะสมกับขนาดของภาชนะ จำนวนทั้งหมด 2 แผ่นด้วยกัน แล้วนำไปทำความสะอาดผิวโดยการใช้กระดาษทรายถูเบาๆทั้งสองด่าน นำไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อขจัดคราบไขมัน แล้วจุ่มลงไปในสารละลาย HCL เป็นเวลา 2 วินาที เพื่อล้างออกไซด์ออกจากผิวอะลูมิเนียมจากนั้นล้างด้วยน้ำ D.I. เพื่อล้าง HCL ออกเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนให้แห้ง สุดท้ายเก็บไว้ในซองให้แผ่นอะลูมิเนียมสัมผัสอากาศน้อยที่สุด

3.3.2 การเตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์

นำเกลือไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 6 กรัม และ 90 กรัม แล้วผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลตรในภาชนะที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นคนให้เกลือละลายก็จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังรูปที่ 3.2 ไว้ใช้ในการทำการทดลองต่อไป

3.4 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา

นำแผ่นอะลูมิเนียมแผ่น จุ่มลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมไว้ จัดวางอุปกรณ์ตามแบบที่ออกแบบไว้ แล้วต่อวงจรดังรูป โดยจะจ่ายความต่างศักย์ให้กับแผ่นอะลูมิเนียมที่ 0.75, 0.85 และ 0.95 โวลต์ตามลำดับ จับเวลาแล้วดูมิเตอร์แอมป์ เมื่อมีกระแสเป็นศูนย์ให้ปิดแหล่งจ่ายไฟ และสังเกตผล



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงการเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยา

3.5.1 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยา โดยวิธีไฟฟ้าเคมี

หลังจากที่ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมและเกลือที่ละลายในน้ำได้สิ้นสุดไปแล้ว เราจะสังเกตเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองแผ่น ซึ่งนอกจากแผ่นอะลูมิเนียมที่มีการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว สารละลายที่อยู่ในภาชนะก็มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน โดยจะนำสารละลายที่ได้มาทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ จำต้องทำให้เป็นผงโดยวิธีการดังนี้

1. จะพบว่าสารละลายที่ได้จะแยกเป็นสองชั้นมีลักษณะเป็นวุ้นและมีผงดำๆตกตะกอนอยู่ด้วย ดังภาพ

รูปที่ 3.3 สารละลายที่ได้หลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

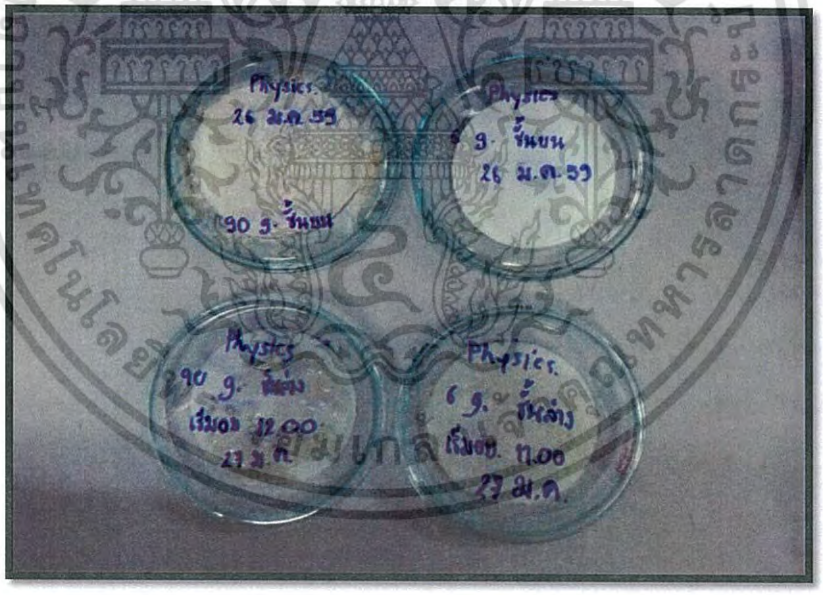
2. ทำการแยกวุ้นที่ได้กับสารละลายที่เหลือ โดยการใช้ช้อนตักชั้นบน มาใส่ในบีกเกอร์ไว้ แล้วใช้สลิงค์ดูดเอาสารละลายที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทิ้ง จะเหลือส่วนล่างก้แยกไว้อีกส่วนในบีกเกอร์เช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 สารละลายที่ทำการแยกจากชั้นบนและชั้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นนำสารละลายแต่ละส่วนไปกรอง แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสสารละลายที่เหลือจะกลายเป็นของแข็งติดกับบีกเกอร์ แล้วใช้ช้อนขูดออกแล้ว เก็บผลไว้นำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆต่อไป

รูปที่ 3.5 กรองสารละลาย



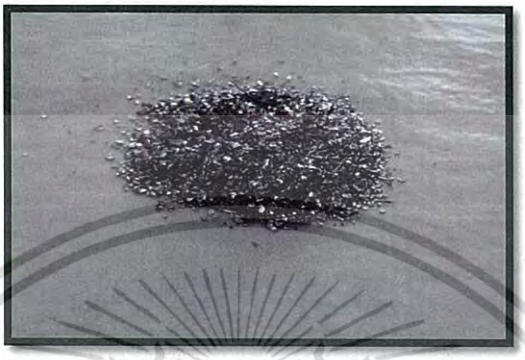
รูปที่ 3.6 สารละลายที่อบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยา โดยวิธีการต้มโลหะอะลูมิเนียมในกรดไฮโดรคลอริค (HCl)

1. นำผงอะลูมิเนียมไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 2.7 กรัม

2. เตรียมสารละลาย โดยผสมน้ำกลั่นกับกรด HCl เข้าด้วยกัน โดยปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 4.1 ใช้กรด HCl ที่ความเข้มข้น 0.1 M



รูปที่ 3.7 ผงอะลูมิเนียม 2.7 กรัม

3. นำผงอะลูมิเนียมที่เตรียมได้ผสมกับสารละลายใส่ในบีกเกอร์

4. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 3.8 ต้มที่อุณหภูมิ 80°C

5. จากนั้นนำสารที่ต้มได้มากรองเพื่อนำมาทดสอบการตกตะกอน เปรียบเทียบกับน้ำโคลนและสาร PAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จับเวลาในการตกตะกอนทุกๆ 20 นาที เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง

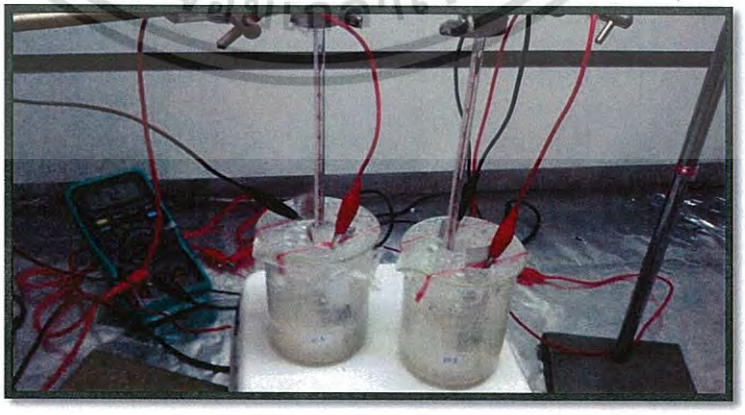
รูปที่ 3.9 ทดสอบการตกตะกอน

3.5.3 การเตรียมสารละลายที่ได้จากปฏิกิริยา โดยรวมทั้งสองเข้าด้วยกัน

1. นำเกลือไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 3 กรัม แล้วผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในภาชนะที่ใช้ในการทดลอง ให้เกลือละลาย จากนั้นนำกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ความเข้มข้น 0.1 M หยดลงในภาชนะเพื่อทำการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 3 และ 4 จากนั้นคนให้เกลือละลาย

รูปที่ 3.10 ปรับค่า pH เท่ากับ 3 และ 4

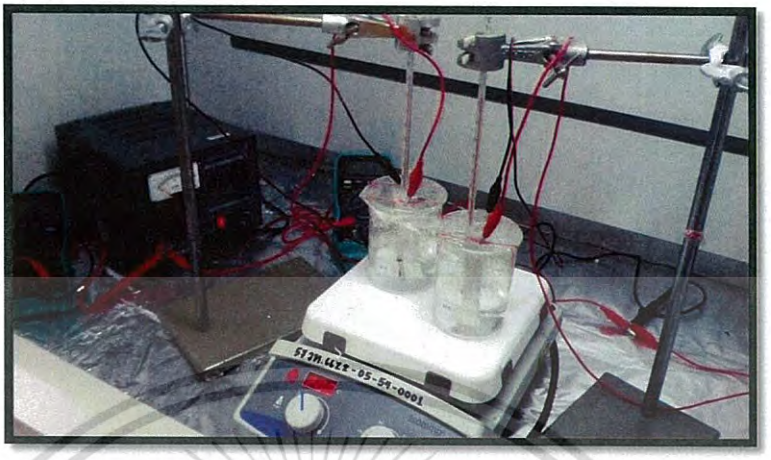
2. ต้มสารละลายที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C, 80°C และ 90°C จนกว่าอุณหภูมิจะหยุดนิ่ง



รูปที่ 3.11 ต้มสารละลายที่อุณหภูมิ 60°C, 70°C, 80°C และ 90°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่ออุณหภูมิหยุดนิ่งแล้ว นำแผ่นอะลูมิเนียมมาต่อเข้ากับวงจร และทำการจ่ายกระแส 1 โวลต์ให้กับวงจรเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.12 จ่ายกระแส 1 โวลต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว ก็นำสารละลายที่ได้ไปกรองเพื่อแยกเนื้อสารกับส่วนที่เป็นสารละลายออกจากกัน

รูปที่ 3.13 กรองสารละลายที่ได้

5. นำเนื้อสารไปอบเพื่อให้น้ำระเหยออกสารเนื้อสาร และนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ด้วยเครื่อง XRD

รูปที่ 3.14 อบสารที่อุณหภูมิ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากนั้นนำสารที่ต้มแล้วมาทดสอบการตกตะกอน เทียบกับน้ำโคลน และPAC ที่มี โดยดูการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 20 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 3.15 ทดสอบการตกตะกอน

3.6 การทดสอบคุณสมบัติต่าง

3.6.1 การอัดเม็ด

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการอัดเม็ดสาร

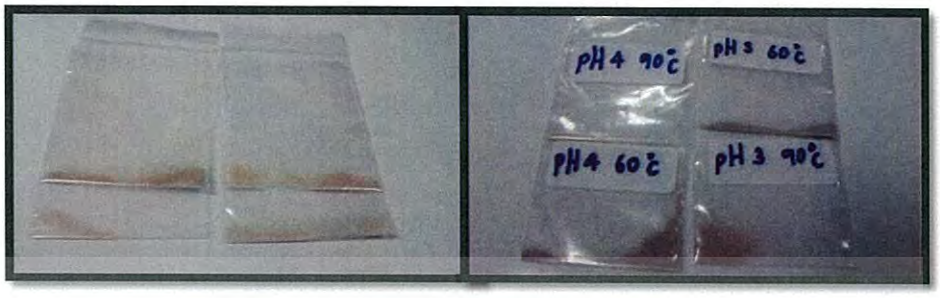
รูปที่ 3.16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดเม็ดสาร

2. เช็ดอุปกรณ์ทั้งหมดด้วยเอทานอล เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอื่นๆ

รูปที่ 3.17 ทำความสะอาดอุปกรณ์ด้วยเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่ผงสารปริมาณเล็กน้อยลงไปในครกบดสาร จากนั้นเติมโพแทสเซียมโบรมีน(KB_r) ตามลงไปในปริมาณที่มากกว่าผงสาร แล้วทำการบดให้เป็นผงละเอียด



รูปที่ 3.18 การบดสารให้เป็นผงละเอียด

4. ใส่แกนกลางบล็อกชิ้นที่หนึ่งลงไปในบล็อกอัดสาร (เอาด้านหยาบลงด้านล่าง ด้านเรียบขึ้นด้านบน) จากนั้นตักผงสารใส่ตามลงไปทีละนิดๆ ใช้แกนกลางอันยาวเกลี่ยสารให้เป็นชั้นบางๆโดยทั่ว ไม่ให้เห็นแกนกลางบล็อกชั้นที่หนึ่ง แล้วใส่แกนกลางบล็อกชิ้นที่สองปิดทับ (เอาด้านเรียบลงด้านล่าง ด้านหยาบขึ้นด้านบนหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เอาด้านเรียบของแกนกลางบล็อกทั้งสองชิ้น ประกบเข้าหาสาร เพื่อที่จะสามารถเอาเม็ดสารที่อัดแล้ว ออกมาได้โดยไม่แตกหัก) จากนั้นเอาแกนกลางอันยาวใส่ลงไป

รูปที่ 3.19 การใส่สารลงในบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารไปอัดด้วยเครื่องอัดสาร ที่ความดัน 1.5 ตัน เป็นเวลา 1 นาที

รูปที่ 3.20 เครื่องอัดสาร

6. แกะเอาสารออกจากบล็อก จะได้เม็ดสารลักษณะเป็นแผ่นกลมบาง

7. จากนั้นนำเม็ดสารที่เตรียมได้ไปตรวจสอบด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) ต่อไป

3.6.2 ทดสอบด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

รูปที่ 3.21 เครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

นำสารที่เป็นผงแล้วไปทดสอบโครงสร้างผลึกโดยเครื่องXRD ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำให้สารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวัฏภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี

4.1.1.1 ผลการทดลองจากการเตรียมด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีเมื่อไม่ได้กำหนดค่า pH จากการศึกษาและเตรียมสารอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีการไฟฟ้าเคมี ดังวิธีการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความต่างศักย์และปริมาณเกลือที่แตกต่างกัน **ครั้งที่ 1 วันที่ 19 มกราคม 2559**

ขนาดความต่างศักย์ / ปริมาณเกลือ	เวลา (นาที)		
	0.75 โวลต์	0.85 โวลต์	0.95 โวลต์
90 กรัม	3.30 ช.ม	2.50 ช.ม	1.45 ช.ม

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความต่างศักย์และปริมาณเกลือที่แตกต่างกัน **ครั้งที่ 2 วันที่ 23 มกราคม 2559**

ขนาดความต่าศักย์ / ปริมาณเกลือ	เวลา (นาที)		
	0.75 โวลต์	0.85 โวลต์	0.95 โวลต์
6 กรัม	5.30 ช.ม	4 ช.ม	2 ช.ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***หมายเหตุ: เวลาในที่นี้ หมายถึง เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา จนกระทั่งแผ่นอะลูมิเนียมขั้วบวกขาด ทำให้ค่ากระแสเป็นศูนย์

จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนั้นไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือในสารอิเล็กโทรไลต์และแรงดันไฟฟ้าด้วยถ้าใช้เกลือปริมาณ 90 กรัม จะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าปริมาณเกลือ 6 กรัม ที่แรงดันไฟฟ้าเท่ากันในทำนองเดียวกันถ้าใช้แรงดันไฟฟ้ามากก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้เร็วขึ้นด้วย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยไฟฟ้าเคมีเมื่อมีปริมาณของเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำมาก เกลือจะแตกตัวเป็น Na^{+} และ Cl^{-} ได้มากขึ้น ทำให้ค่ากระแสที่อ่านได้มากขึ้นด้วย ดังนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วนั่นเอง

4.1.2 ผลการทดลองจากการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยวิธีการต้มโลหะอะลูมิเนียมในกรดไฮโดรคลอริค (HCl)

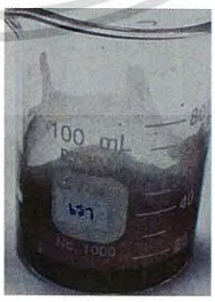
ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}C$ กำหนดค่า pH=4.1 เป็นเวลา 2 ช.ม

สาร (กรัม) (ที่ pH=4.1)	เวลา (นาที)
2.7 กรัม	เริ่มต้มที่เวลา 10.30 นาที
	หยุดต้มที่เวลา 12.30 นาที
	รวมทั้งหมดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการตกตะกอนในระยะเวลา 1 ช.ม. โดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทุก 20 นาที

ตารางที่ 4.4 แสดงการตกตะกอนของ PAC, น้ำโคลน และสารที่ปรับค่า pH=4.1 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 80°C

ชนิดสาร / เวลา (นาที)	PAC	น้ำโคลน	pH = 4.1
20 นาที			
40 นาที			
60 นาที			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองของการเตรียมโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90° C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ช.ม.

อุณหภูมิ 90°C (ที่ pH=3)	อุณหภูมิ 90°C (ที่ pH=4)
เริ่มต้มที่เวลา 11.10-12.30 น. = 1.20 ช.ม.	เริ่มต้มที่เวลา 11.10-12.30 น. = 1.20 ช.ม.
เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา12.40-13.20= 1 ช.ม.	เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา12.40-13.20= 1 ช.ม.

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80° C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ช.ม.

อุณหภูมิ 80°C (ที่ pH=3)	อุณหภูมิ 80°C (ที่ pH=4)
เริ่มต้มที่เวลา 14.10-14.40 น. = 30 นาที	เริ่มต้มที่เวลา 14.10-14.40 น. = 30 นาที
เริ่มจ่ายแรงดันที่เวลา12.45-13.20= 35 นาที	เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา14.45-13.20= 35 นาที

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70° C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ช.ม.

อุณหภูมิ 70°C (ที่ pH=3)	อุณหภูมิ 70°C (ที่ pH=4)
เริ่มต้มที่เวลา 10.50-11.50 น. = 1 ช.ม.	เริ่มต้มที่เวลา 10.50-11.50 น. = 1 ช.ม.
เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา11.50-13.50= 2 ช.ม.	เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา11.50-13.50= 2 ช.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

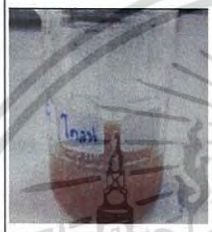
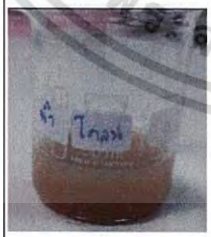
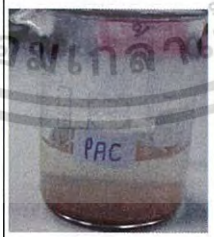
ตารางที่ 4.8 แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เมื่อกำหนดค่า pH=3 และ pH=4 ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ช.ม.

อุณหภูมิ 60°C (ที่ pH=3)	อุณหภูมิ 60°C (ที่ pH=4)
เริ่มต้มที่เวลา 13.50-15.00 น. = 1 ช.ม.	เริ่มต้มที่เวลา 13.50-15.00 น. = 1 ช.ม.
เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา 15.00-17.00= 2 ช.ม.	เริ่มจ่ายกระแสที่เวลา 15.00-17.00= 2 ช.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

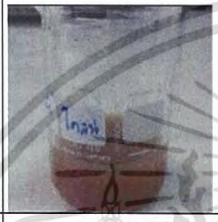
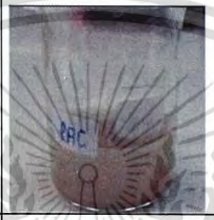
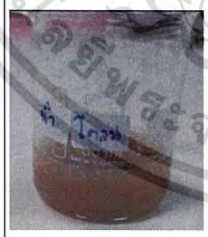
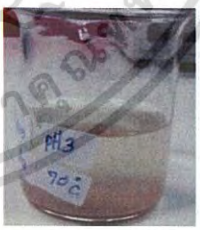
ตารางแสดงการตกตะกอนในระยะเวลา 1 ช.ม. โดยสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงทุก 20 นาที

ตารางที่ 4.9 แสดงการตกตะกอนของ PAC, น้ำโคลน และสารที่ปรับค่า pH=3, pH=4 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 60°C

ชนิดสาร / เวลา (นาที)	โคลน	PAC	pH = 3	pH = 4
20 นาที				
40 นาที				
60 นาที				

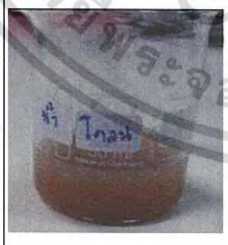
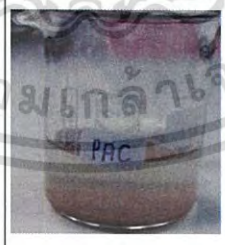
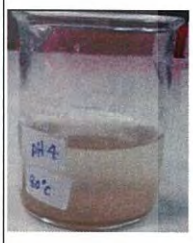
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงการตกตะกอนของ PAC, น้ำโคลน และสารที่ปรับค่า pH=3, pH=4 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 70°C

ชนิดสาร / เวลา (นาที)	โคลน	PAC	pH = 3	pH = 4
20 นาที				
40 นาที				
60 นาที				

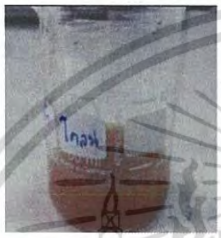
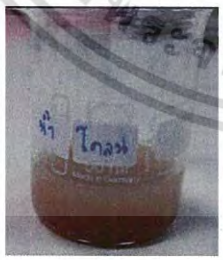
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงการตกตะกอนของ PAC, น้ำโคลน และสารที่ปรับค่า pH=3, pH=4 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 80°C

ชนิดสาร / เวลา (นาที)	โคลน	PAC	pH = 3	pH = 4
20 นาที				
40 นาที				
60 นาที				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงการตกตะกอนของ PAC, น้ำโคลน และสารที่ปรับค่า pH=3, pH=4 ที่ต้มด้วยอุณหภูมิที่ 90°C

ชนิดสาร / เวลา (นาที)	โคลน	PAC	pH = 3	pH = 4
20 นาที				
40 นาที				
60 นาที				

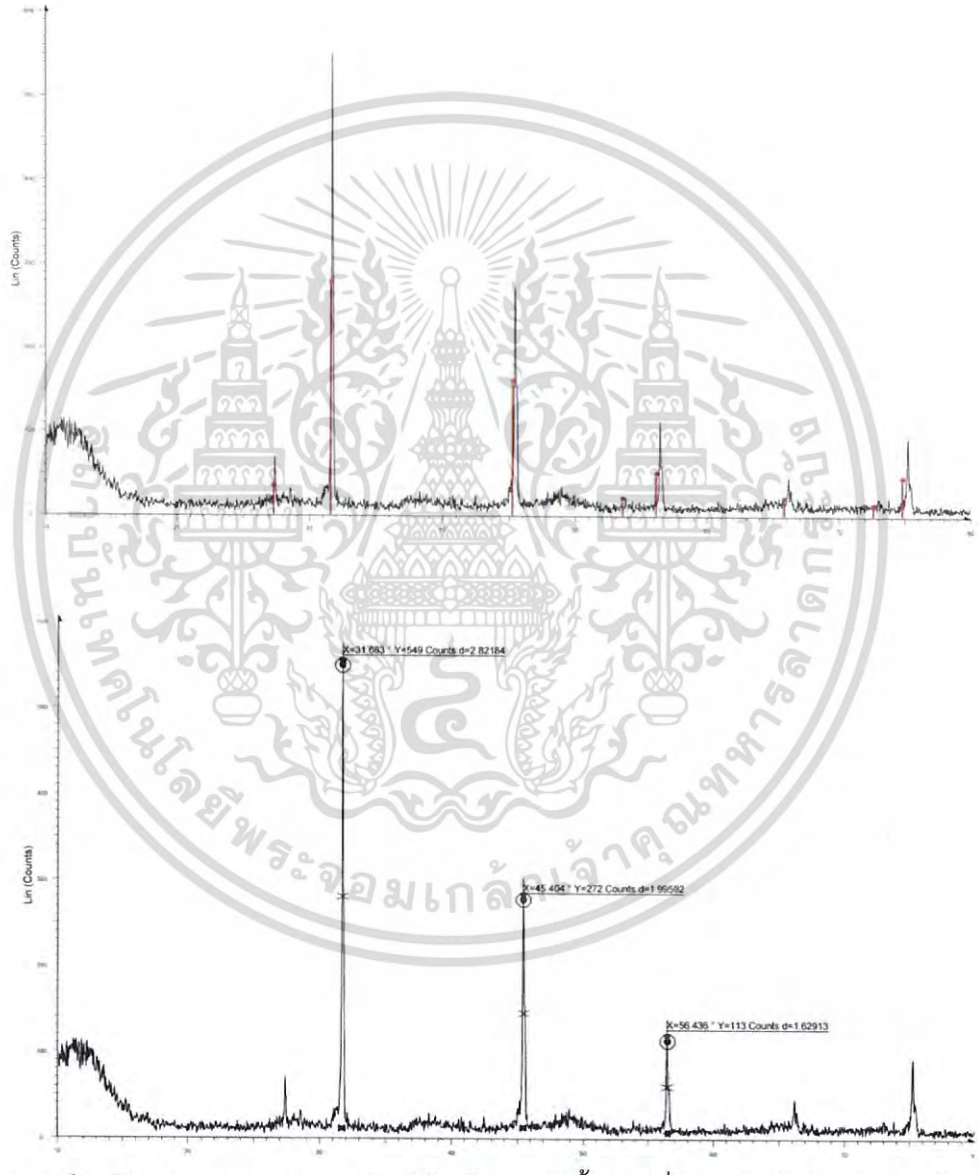
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลจากการทดสอบด้วย XRD

4.4.1 ผลจากการวัดด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ที่ได้จากการเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ โดยวิธีไฟฟ้าเคมี

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี แล้วสารละลายจะแยกตัวเป็นชั้นบนและล่าง จึงนำมาทดสอบด้วยเครื่อง XRD

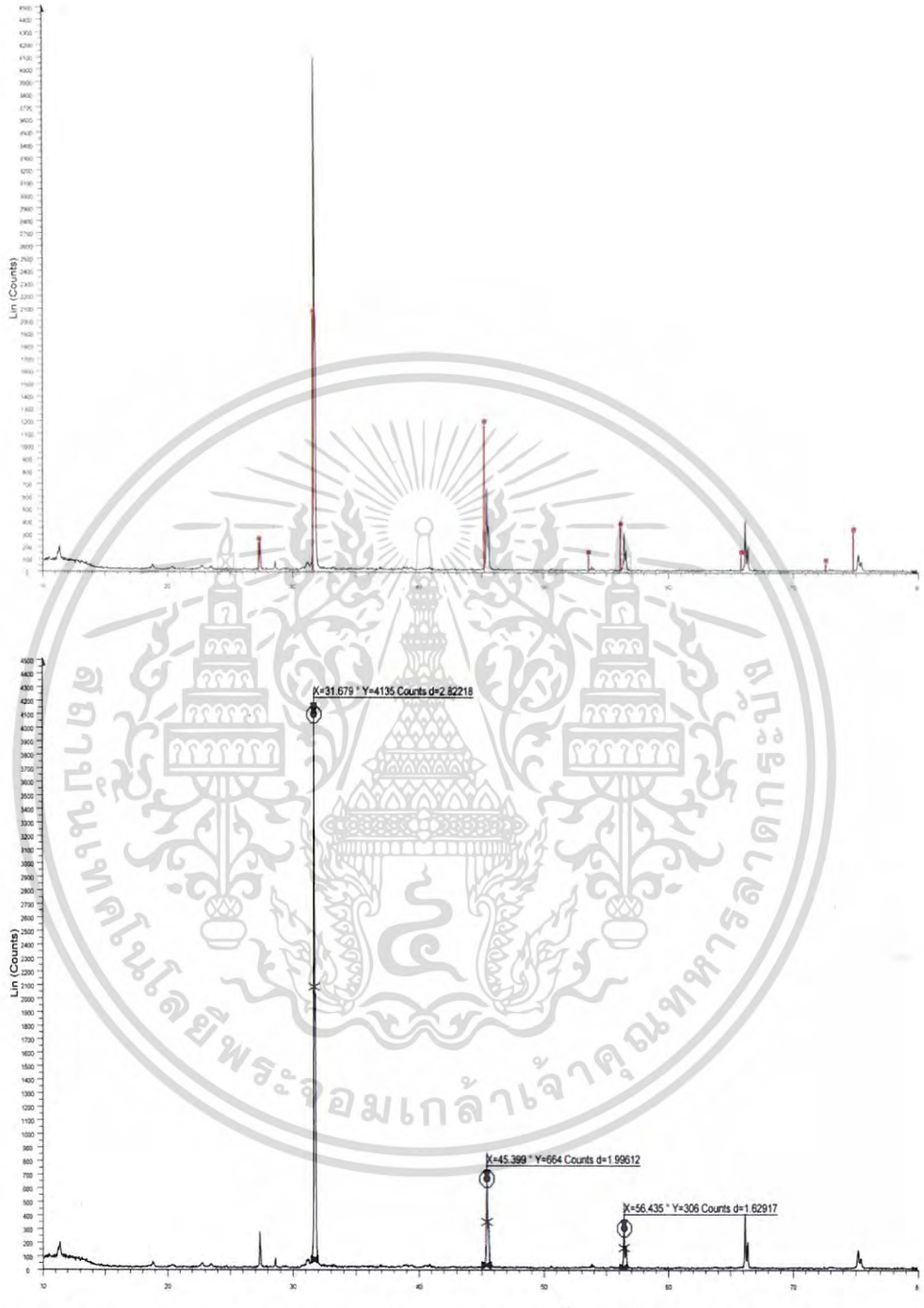
<u>ปริมาณเกลือ 6 กรัม ชั้นล่าง</u>



รูปที่ 4.1 เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 6 กรัมชั้นล่าง ที่ความต่างศักย์ 0.75-0.95โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

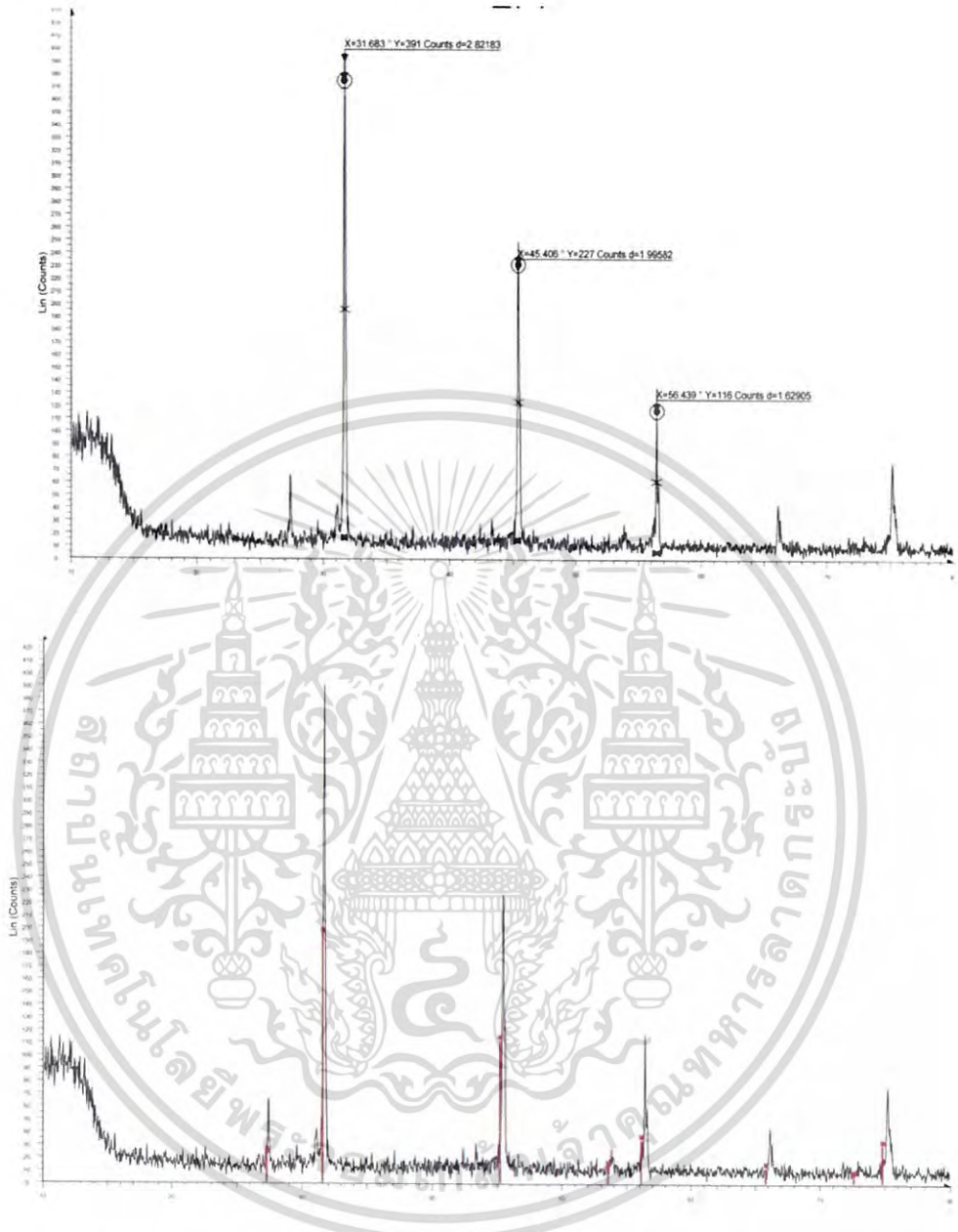
ปริมาณเกลือ 90 กรัมชั้นบน



รูปที่ 4.2 เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 90 กรัมชั้นบน ที่ความต่างศักย์ 0.75-0.9โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเกลือ 90 กรัม ชั้นล่าง



รูปที่ 4.3 เทียบกับ Aluminum Oxide โดยใช้เกลือ 90 กรัม ชั้นล่าง ที่ความต่างศักย์ 0.75-0.9โวลต์

จากกราฟจะเห็นว่าผลที่ได้มีพีคที่เกิดเหมือนกันทั้งปริมาณ 9 กรัมและ 6 กรัม และแรงดันที่ 0.75,0.85,0.95 โวลต์ จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณเกลือ และแรงดันค่าต่างกันจะได้สารตัวอย่างชนิดเดียวกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

ในงานวิจัย เรื่องการศึกษาและเตรียมสารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (A STUDY AND PREPARATION OF POLYALUMINIUM CHLORIDE) ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีและวิธีทางเคมีระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 6 กรัม และ 90 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั้นปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยการป้อนแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ 0.75 , 0.85 และ 0.95 โวลต์ การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1 . การเกิดปฏิกิริยาฟ้าเคมีนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือและแรงดันที่ตกคร่อมโดยจะแปรผันตรงกันคือเมื่อปริมาณเกลือมากจะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้เร็วขึ้นเช่นเดียวกันกับแรงดันไฟฟ้า

2. ในการทดลองนี้อาจเกิดสาร$AlCl_3$ และ $Al(OH)_3$ จากการเตรียมด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี แต่ AlCl3 มีจุดเดือดที่ใกล้เคียงกับน้ำจึงมีโอกาสเป็นไปได้สูงกว่าจะหายไปบางส่วนในขณะที่นำไปต้มเพื่อไล่ความชื้นแต่$Al(OH)_3$มีจุดเดือดที่สูงมากจึงยังคงปะปนอยู่กับอะลูมินา

3. ทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ทำให้พบว่าสารที่เราทำการทดลองนั้นมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่คล้ายกันกับสารอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในทางอุตสาหากรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้เป็นแค่อีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ ซึ่งพบว่าถ้าต้องการความรวดเร็ว สามารถทำได้โดยการให้แรงดันและปริมาณเกลือมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ดร. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2552. **หลักทางเคมี.** หน้า 3 - 15

คมวรรณ ฉันทานุรักษ์. 2558. **คุณสมบัติทางเคมี.** [Online]. Available: https://khetmuang.sskedarea.net/SALT/s8.html. เข้าถึงเมื่อ 11 กรกฎาคม 2558

บริษัท เวลคิน เอนเตอร์ไพส์ จำกัด. **สารโพลีอลูมิเนียมคลอไรท์.** [Online]. Available: http://welkinchemi.com/product-PolyAluminiumChloride(PAC)-205895-1.html เข้าถึงเมื่อ 5 พฤษภาคม 2555

บริษัท สยามเคมี จำกัด. **คุณสมบัติของอลูมิเนียม.** [Online]. Available: http://www.science.kmitl.ac.th/downloads/student/formexample/.pdf. เข้าถึงเมื่อ 7 พฤษภาคม 2556

อลงกต ตรีทอง. 2558. **X-ray Diffractrometer (XRD).** [Online]. Available: https://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm. เข้าถึงเมื่อ 5 ตุลาคม 2555

ดร.ธนูสิทธิ์ บุรินทร์ประโคน. 2555. **การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เชิงปฏิบัติ.** [Online]. Available: http://mwit.ac.th/.../characterization%20[Compatibility%20Mode].pdf. เข้าถึงเมื่อ 5 ตุลาคม 2555

ธีรยุทธ วิไลวัลย์ และวรวรรณ พันธุมนาวิน. 2555. **อินฟาเรด สเปกโตรสโคปี.** [Online]. Available: http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/ir265.pdf. เข้าถึงเมื่อ 2 ตุลาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้