# การดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัมและเหล็กเกาะบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

# ADSORPTION OF CHROMIUM (VI) IN SYNTHETIC WASTEWATER BY USING LANTANUM AND IRON SUPPORTED ON CHITOSAN MODIFIED WITH POLY (VINYL ALCOHOL)


นางสาวศิวพร ไวทยะบูรณ์

นางสาวอโรชา นิลดี

นายชุรดีกิต เต็งรัง

นางสาวชุวรรณา ถ้านาง


โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

# การดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

# ADSORPTION OF CHROMIUM (VI) IN SYNTHETIC WASTEWATER BY USING LANTANUM AND IRON SUPPORTED ON CHITOSAN MODIFIED WITH POLY (VINYL ALCOHOL)


นางสาวศิวพร ไวทยะบูรณ์

นางสาวสโรชา นิลดี

นายสุรศักดิ์ เต็งรัง

นางสาวสุวรรณา ก้านขาว


โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ADSORPTION OF CHROMIUM (VI) IN SYNTHETIC WASTEWATER BY USING LANTANUM AND IRON SUPPORTED ON CHITOSAN MODIFIED WITH POLY (VINYL ALCOHOL)


MISS SIWAPORN VAITAYABOON

MISS SAROCHA NILDEE

MR. SURASAK TENGRANG

MISS SUWANNA KANKHAW


A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** การดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัม (III) และเหล็ก (III) บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

Adsorption of Chromium (VI) in Synthetic Wastewater by Using Lanthanum and Iron Supported on Chitosan Modified with Poly (Vinyl Alcohol)


**ชื่อนักศึกษา**

| | | |
|---|---|---|
| นางสาวศิวพร | ไวทยะบูรณ์ | รหัสนักศึกษา 54050286 |
| นางสาวสโรชา | นิลดี | รหัสนักศึกษา 54050293 |
| นายสุรศักดิ์ | เต็งรัง | รหัสนักศึกษา 54050317 |
| นางสาวสุวรรณา | ก้านขาว | รหัสนักศึกษา 54050319 |


**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2557

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2557

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ<br>ประธานกรรมการ | |
| ดร.เอกรัฐ เดชศรี<br>กรรมการ | |
| ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | |
|---|---|
| **Title** | Adsorption of Chromium (VI) in Synthetic Wastewater by Using Lantanum and Iron Supported on Chitosan Modified with Poly (Vinyl Alcohol) |
| **Students** | Miss Siwaporn Vaitayaboon student ID 54050286 |
| | Miss Sarocha Nildee student ID 54050293 |
| | Mr. Surasak Tengrang student ID 54050317 |
| | Miss Suwanna Kankhaw student ID 54050319 |
| **Degree** | Bachelor of Science (IndustrialChemistry) |
| **Major** | Chemistry |
| **Academic Year** | 2014 |
| **Advisor** | Dr. Amnat Permsubscul |


## ABSTRACT

This research is the study of comparison efficiency of Chromium (VI) adsorption in wastewater by using Lantanum on Chitosan that is adapted by Poly (Vinyl Alcohol) (La/Chi/PVA) as absorbent and Iron on Chitosan that is adapted by Poly (Vinyl Alcohol) (Fe/Chi/PVA) as absorbent also. Studies factors such as the type of absorbent, concentration of Lantanum and Iron, initial concentration of Chromium (VI), time of adsorption, temperature and interference by specification pH stable solution as 3. According to the analysis result, found that La/Chi/PVA absorbent can adsorb better than Fe/Chi/PVA. Moreover, 5% La/Chi/PVA absorbent can adsorb in the best time at 240 minutes by percent of adsorption is 99.90%.Initial concentration of Chromium (VI) is 50 mg/L beneath room temperature, it found that adsorption at room temperature showed percent of Chromium (VI) elimination higher than 50 celcious degree. Addition interference (Copper ion) into Chromium (VI) solution made adsorption of Chromium (VI) decrease.Moreover, studied the form of Langmuir and Freundlich isotherm by using 5% La/Chi/PVA absorbent found that Chromium (VI) adsorption by using 5% La/Chi/PVA absorbent conform with Langmuir isotherm.



**Keywords** : Adsorption, Chitosan, Chromium, Iron, Lantanum, Poly (Vinyl Alcohol)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

รายงานเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงงานพิเศษ ในหัวข้อเรื่องการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โครงงานพิเศษนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลอง ตอบข้อซักถาม และปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทำการทดลองจนกระทั่งโครงงานพิเศษนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คณะกรรมการ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ และดร.เอกรัฐ เดชศรี ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลองและข้อเสนอแนะ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเคมีต่างๆ

ขอขอบคุณ แม่บ้าน และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเรื่องการเปิดและปิดห้องปฏิบัติการในวันที่มีการทำการทดลอง

ขอขอบใจเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และช่วยคิดแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง ทำให้การทำโครงงานพิเศษนี้เป็นไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดามารดาของผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนกำลังทรัพย์ในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความสนใจในงานที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ หรือผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโครงงานพิเศษนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวศิวพร ไวทยะบูรณ์
นางสาวสโรชา นิลดี
นายสุรศักดิ์ เต็งรัง
นางสาวสุวรรณา ก้านขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
**บทที่ 1 : บทนำ**.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4
**บทที่ 2 : ทฤษฎีและหลักการ**.....5
2.1 ไคตินและไคโตซาน.....5
2.2 แลนทานัมแอซิเตด.....15
2.3 เฟอร์ริกคลอไรด์.....16
2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....17
2.5 กระบวนการดูดซับ.....18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....24
**บทที่ 3 : การดำเนินงานวิจัย**.....26
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....26
3.2 สารเคมี.....27
3.3 การทดลอง.....28
3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ.....28
3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ.....32
3.3.3 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโครเมียม (VI).....35
3.3.4 การทดสอบสมบัติทางเคมีและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับ.....35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

**บทที่ 4 : ผลการทดลองและอภิปรายผล**.....37
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน.....37
ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์, แลนทานัมบนไคโตซาน
ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเหล็กบนไคโตซาน
ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ.....37
4.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ.....41
4.1.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกของตัวดูดซับ.....43
4.1.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวดูดซับ.....45
4.1.5 การหาเลขไอโอดีน.....47
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสีย.....48
สังเคราะห์โดยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์,
แลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และ
เหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
4.2.1 ผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซาน.....48
ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI)
4.2.2 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI).....51
ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI)
4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ.....53
โครเมียมด้วย 10% Fe/Chi/PVA
4.2.4 ผลของไอออนรบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพในการ.....54
ดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 10% Fe/Chi/PVA
4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ.....56
**บทที่ 5 : สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**.....59
เอกสารอ้างอิง.....60
ภาคผนวก.....62
ภาคผนวก ก.....63
ภาคผนวก ข.....66
ภาคผนวก ค.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


**ตารางที่** **หน้า**

2.1 แสดงถึงองค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู....6

2.2 ตัวอย่างรายการแสดงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไคติน....10

2.3 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบไคตินและไคโตซาน....11

2.4 วิธีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของไคตินและไคโตซาน....12

3.1 การทดสอบสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา....35

4.1 ผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วย....49
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ความเข้มข้น
โครเมียม (VI) เริ่มต้น 50 mg/L

4.2 ผลของเวลาและความเข้มข้นในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย....51
5% La/Chi/PVA และ5% Fe/Chi/PVA

4.3 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 10% Fe/Chi/PVA....53
ที่ความเข้มข้นโครเมียม (VI) เริ่มต้น 50 mg/L

4.4 ผลของไอออนรบกวน ($Cu^{2+}$) ในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย....55
10 % Fe/Chi/PVA ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI)
เท่ากับ 50 mg/L



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า


2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน....5
2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของ....7
(ก) โครงสร้างของเซลลูโลส (ข) ไคติน และ (ค) ไคโตซาน
2.3 โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบแอลฟา เบตา และแกมมา....8
2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคตินด้วยเทคนิค X-ray Diffraction....8
2.5 โครงสร้างทางเคมีของแลนทานัมแอซิเตด....15
2.6 โครงสร้างทางเคมีของเหล็กคลอไรด์....16
2.7 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....17
2.8 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ....20
ด้วยถ่านกัมมันต์
2.9 แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm)....21
2.10 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน....21
2.11 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในไอโซเทอมแบบต่างๆ....23
3.1 แผนผังการเตรียมตัวดูดซับโลหะทรานสิชัน (แลนทานัมและเหล็ก)....31
บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน....38
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....38
4.3 การเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....39
4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....39
4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....40
4.6 (ก) โครงสร้างของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....41
(ข) โครงสร้างของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
4.7 ลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วย PVA, La/Chi/PVAและ....43
Fe/Chi/PVA ที่สภาวะต่างๆ
4.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....44
4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแลนทานัมบนไคโตซาน....44
ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
4.10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....45
4.11 เทอร์โมแกรมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์....46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 เทอร์โมแกรมของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....46
4.13 เทอร์โมแกรมของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุง ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....47
4.14 เลขไอโอดีนของตัวดูดซับ La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA.....48
ที่ปริมาณโลหะทรานซิชันต่างๆ
4.15 ผลของชนิดของตัวดูดซับและปริมาณโลหะทรานซิชันที่มีผล.....49
ต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L
4.16 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับ.....52
การดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA
4.17 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์.....52
การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ 5% Fe/Chi/PVA
4.18 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น.....54
50 mg/L โดย 10% Fe/Chi/PVA
4.19 ผลของตัวรบกวนที่มีต่อการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้น.....55
เริ่มต้น 50 mg/L โดย 10% Fe/Chi/PVA
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....56
สำหรับการดูดซับโครเมียมด้วย 5% La/Chi/PVA
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log $q_e$ และ log $C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช.....57
สำหรับการดูดซับด้วย 5% La/Chi/PVA
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....57
สำหรับการดูดซับโครเมียมด้วย 5% Fe/Chi/PVA
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log $q_e$ และ log $C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช.....58
แบบฟรุนดิชสำหรับการดูดซับด้วย 5% Fe /Chi/PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนไม่น้อยที่มีการผสมโครเมียมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้เป็นส่วนผสมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะอื่นๆ เพื่อผลิตเหล็กอัลลอยด์ที่แข็งแกร่ง ทนต่อการกัดกร่อนและความร้อนได้สูง ใช้เป็นสารชุบโลหะ เคลือบโลหะ รวมถึงพลาสติก เพื่อให้เกิดความมันเงา ป้องกันการกัดกร่อน เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตสีย้อมหรือเม็ดสี เช่น Chrome oxide green ($Cr_2O_3$), Chrome yellow ($PbCrO_4$), Chrome orange ($PbCrO_4PbO$) เป็นสารช่วยย้อมติดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอและย้อมผ้า ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังในรูปสารประกอบของ $Cr(OH)SO_4$ ใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อราและน้ำยารักษาเนื้อไม้ ใช้ผลิตตัวยับยั้งฝุ่นและป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซล ใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสนิม ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วสี ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐทนความร้อน เป็นต้น

การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษ เช่น มลพิษทางน้ำ โครเมียมที่พบในน้ำทิ้ง และถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง ส่วนมากจะอยู่ในรูป $Cr^{+6}$ ทั้งในรูปโครเมียมอิสระ และเกลือของโครเมียม สำหรับเกลือของ $Cr^{+6}$ เช่น โครเมียมไตรออกไซด์ (Chromiumtrioxide, $CrO_3$) และโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) จะไม่ตกตะกอนหรือรวมตัวกับดิน จึงสามารถเคลื่อนย้ายไปตามแหล่งน้ำไหลและน้ำใต้ผิวดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ได้ง่าย ส่วน $Cr^{+3}$ ในธรรมชาติโอกาสที่มนุษย์จะสัมผัสหรือรับเข้าร่างกายจะพบได้น้อยกว่า $Cr^{+6}$ โดยจะพบ $Cr^{+3}$ ได้ที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ซึ่งจะไม่ก่อความเป็นพิษและอันตรายต่อมนุษย์ แต่หากได้รับในปริมาณมากเกินความต้องการของร่างกายก็มักจะมีผลต่อระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำตาลมาใช้ผิดปกติได้ ส่วนโครเมียมที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศส่วนมากมาจากแหล่งอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรมพ่นสี เป็นต้น ซึ่งมักจะแพร่กระจายในรูปของฝุ่น และละอองสารที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมผสมอยู่ การแพร่กระจายในรูปแบบนี้มักพบคนงานหรือคนในชุมชนใกล้เคียงมีโอกาสได้รับสารโครเมียมเข้าสู่ร่างกายมากที่สุด และเมื่อฝุ่นหรือละอองสารตกตะกอนจะแพร่กระจายเข้าสู่แม่น้ำลำคลองโดยการชะของฝนต่อไป

ประเทศไทยมีการตรวจพบปริมาณการปนเปื้อนของโครเมียมในแหล่งน้ำบริเวณอุตสาหกรรมของกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งมีระดับการปนเปื้อนอยู่ระหว่าง 0.0007-0.12 ไมโครกรัมต่อลิตร และพบการปนเปื้อนในแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณโซนอุตสาหกรรมประมาณ 0.15–0.26 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ในปัจจุบันอาจมีปริมาณการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น การตกตะกอนของ $Cr^{+3}$ และ $Cr^{+6}$ นิยมใช้สารเคมีในการปรับพีเอชให้มีการเปลี่ยนรูปตกตะกอน ได้แก่ ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) และโซดาไฟ (NaOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ภาวะความเป็นพิษของโครเมียมที่มีต่อร่างกายมนุษย์ ส่วนมากมักเกิดจากการได้รับพิษของ $Cr^{+6}$ ที่ปัจจุบันมีการใช้มากในอุตสาหกรรมจนถึงเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มนุษย์ใช้งาน ทำให้มีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม และมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ถ้าความเป็นพิษฉับพลันมักพบใน

ผู้ป่วยที่ได้รับ $Cr^{+6}$ เช่น กรดโครมิค และโพแทสเซียมไดโครเมต โดยพบอาการเฉียบพลันหลังได้รับสารโครเมียมเข้าร่างกาย คือ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง อาการท้องเสีย มีเลือดออกในกระเพาะอาหาร หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการช็อค และเสียชีวิตได้ ขนาดที่ทำให้เสียชีวิตได้ คือ บริโภค 1–3 กรัม พิษเรื้อรังเป็นลักษณะของพิษโครเมียมที่เกิดจากการที่ร่างกายได้รับในปริมาณน้อยถึงปานกลาง และมีการสะสมเป็นเวลานาน อาการของพิษจะค่อยๆ เริ่มปรากฏกับอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น การระคายเคืองบริเวณผิวหนัง การเกิดแผลเรื้อรัง แผลหายช้า กระดูกพรุน และผนังกั้นจมูกทะลุ รวมถึงการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ $Cr^{+6}$ ถูกจัดให้เป็นสารที่มีอันตรายมาก มีความเป็นพิษรุนแรงกว่า $Cr^{+3}$ มากกว่า 100 เท่า หากได้รับเข้าร่างกายเพียงเล็กน้อยจะมีการสะสมทำให้เกิดพิษเรื้อรัง และเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ ตามมา หากได้รับ $Cr^{+6}$ ในปริมาณความเข้มข้นมากจะเกิดการกัดกร่อนผิวหนัง อวัยวะระบบทางเดินหายใจเสียหายอย่างฉับพลัน $Cr^{+3}$ เป็นธาตุโลหะหนึ่งที่พบในร่างกายมนุษย์ หากร่างกายขาดโครเมียมชนิดนี้จะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับน้ำตาล เช่น โรคกลูโคสซูเรีย (Glycosuria) ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของอินซูลิน (Serum insulin) คลอเลสเตอรอล (Cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ในร่างกาย รวมไปถึงยับยั้งการเจริญเติบโต การทำงานของเส้นโลหิต และแก้วตาอักเสบ

การบำบัดโครเมียม (VI) ที่เจือปนในน้ำ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) และกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการบำบัดเหล่านี้ยังมีข้อกำจัดคือ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง และมีปัญหาในการกำจัดสลัดจ์ของโลหะ (Metal sludges) ทางเลือกในการบำบัดโครเมียม (VI) อีกทางหนึ่งคือ การใช้ตัวดูดซับประเภทไคโตซาน (Chitosan) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ พบไคตินในเปลือกสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ตระกูลครัสเตเชียน (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก และแมลง เป็นต้น [1]

ไคโตซาน (Chitosan, Poly $\beta$-(1-4)-2 amino-2-deoxy- D-glucose) เป็นอนุพันธ์ของไคตินเกิดจากปฏิกิริยา deacetylation ของไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ทำให้หมู่อะซิตามิโด ($-NHCOCH_3$) ของไคตินที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองถูกแทนที่ด้วยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ไคโตซานมีสมบัติเด่นๆ หลายด้าน ได้แก่ รวมตัวกับสิ่งมีชีวิตได้ดี (Biocompatibility) สลายตัวได้โดยจุลินทรีย์ (Biodegradability) และเป็นสารที่ไม่มีพิษ โดยธรรมชาติแล้วมีความแข็งแรงเชิงกลต่ำอาจเกิดการแตกเสียหายเมื่อถูกปั่นกวนในระบบบำบัดโลหะแบบแบตช์ นอกจากนั้นไคโตซานมักจะรวมกลุ่มกันเป็นก้อนในสารละลายซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะที่บริเวณตำแหน่งว่องไว ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานจึงมีการปรับปรุงโครงสร้างของโคโตซานให้มีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้สารต่างๆ ช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างไคโตซาน เช่น Glutaraldehyde (GLA), Epichlorohydrin (ECH), Ethylene glycol diglycidyl ether (EGDE) และ Polyvinyl alcohol (PVA) เป็นต้น [2]

ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงสนใจศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) โดยมีการเติมโลหะทรานซิชัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โลหะทรานซิชัน 2 ชนิด คือ แลนทานัม (Lanthanum) และเหล็ก (Iron) รวมทั้งศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม (VI) ได้แก่ ชนิดของโลหะทรานซิชัน ปริมาณของโลหะทรานซิชัน ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ และไอออนร่วม

## 1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ระหว่างไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชัน

2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ เช่น ชนิดของโลหะทรานซิชัน ปริมาณของโลหะทรานซิชัน ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เวลาในการดูดซับ อุณหภูมิ และไอออนร่วม รวมทั้งศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับด้วย

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) ตัวดูดซับที่ใช้ในการศึกษา คือ ไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2) การสังเคราะห์ตัวดูดซับแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายแลนทานัมและเหล็กเป็น 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมีของตัวดูดซับไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชัน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) เทคนิคฟูเรียส์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) และเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส (Thermogravimetric analysis, TGA)

4) ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชัน ได้แก่

4.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) แปรค่าที่ 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เวลาในการดูดซับ แปรค่าที่ 10, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240 นาที

4.3 อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4.4 ไอออนร่วมที่มีผลต่อการดูดซับ คือ คอปเปอร์ไอออน

5) ศึกษาปัจจัยที่ควบคุม ได้แก่ pH ของน้ำทิ้งสังเคราะห์เท่ากับ 3 และปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัมต่อน้ำทิ้งสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร ไอโซเทอมการดูดซับโครเมียมด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชัน ว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์หรือไอโซเทอมแบบฟรุนดิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงขั้นตอนการเตรียม และประสิทธิภาพของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชันเพื่อเป็นตัวดูดซับในการบำบัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์

2) ทราบถึงผลของตัวแปร และสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับโลหะทรานซิชัน เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม (VI) ในโรงงานอุตสาหกรรม

3) เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเสียเหลือทิ้ง เช่น เปลือกกุ้ง โดยนำมาผลิตเป็นไคโตซาน ซึ่งมีมูลค่ามากขึ้น และมีประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

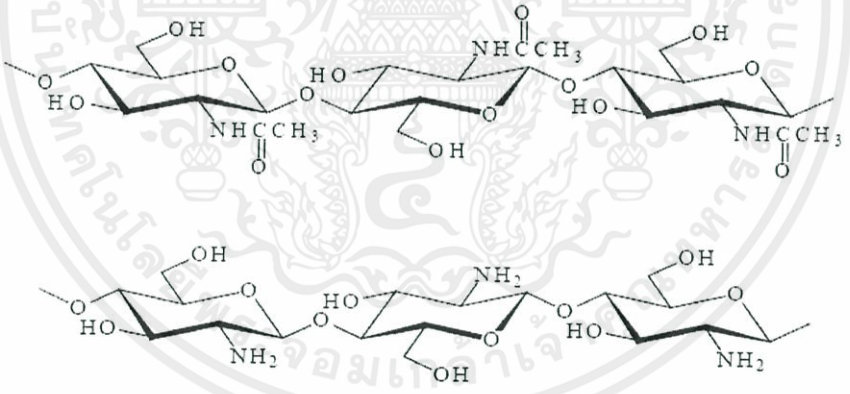
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 ไคตินและไคโตซาน

### 2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคติน (Chitin) เป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ประกอบด้วยโครงสร้างทางเคมี คือ Poly (β-(1-4)-2-acetamido-D-glucose) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนไคโตซาน (Chitosan) เป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยาดิอะซิทิเลชัน (Deacetylation) ของไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานประกอบด้วย Poly (β-(1-4)-2-amino-D-glucose) เป็นโครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ ไคตินและไคโตซานมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับเซลลูโลสโดยแตกต่างกันที่หมู่แทนที่ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (Pyranose ring) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซานโดยหมู่ที่แทนที่ตำแหน่งนี้ของเซลลูโลสจะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) แต่ของไคตินเป็นหมู่อะเซตาไมด์ (Acetamide group) ส่วนของไคโตซานเป็นหมู่อะมิโน (Amino group)

ไคตินและไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymer) ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ (monomer) 2 ชนิด คือ N-acetyl-D-glucosamineและ D-glucosamine มีโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.1



**รูปที่ 2.1** โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

N-acetyl-D-glucosamine มีหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ส่วน Glucosamine มีหมู่อะมิโนเป็นหมู่แทนที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า Glucosamine (m>n) เรียกพอลิเมอร์นั้นว่าไคติน แต่ในกรณีที่พอลิเมอร์ประกอบด้วย N-acetyl-D-glucosamine น้อยกว่า Glucosamine (n>m) เรียกพอลิเมอร์นั้นว่าไคโตซาน การเตรียมไคโตซานจากไคตินจะทำได้โดยการทำปฏิกิริยาดิอะซิทิเลชัน ซึ่งเปลี่ยนหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนสจากหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่อะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

จากลักษณะโครงสร้างที่เป็นโคพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน จึงทำให้มีการกำหนดค่าดัชนีที่จะใช้บอกระดับของการเกิดดิอะซิทิเลชัน โดยเรียกว่าค่าดัชนีนี้ว่า ค่าระดับของการเกิดดิอะซิทิเลชัน (Degree of deacetylation) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงสัดส่วนของจำนวน D-glucosamine ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน [3]

**2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคติน**

ไคตินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ซึ่งสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีมากในธรรมชาติเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) โดยสารที่พบเป็นองค์ประกอบในเปลือกของสัตว์มีกระดอง (Crustaceous shell) ประเภท กุ้ง ปู หอย ปลาหมึก และสัตว์อื่นๆ ที่มีเปลือกแข็งหุ้มตัวซึ่งลักษณะของเปลือกจะหนาแข็ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์ เรียกว่า Nitrogeneous polysaccharide chitin รวมกับสารแคลเซียมซึ่งเป็นตัวทำให้แข็งและรวมอยู่ในรูปสารประกอบของโปรตีน

วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสำคัญที่ใช้ในการผลิตไคติน ได้แก่ เปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

**2.1.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตซาน**

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองมาจากเซลลูโลส โดยถูกพบในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวกปู กุ้ง และแกนหมึก นอกจากนี้ยังถูกพบในผนังเซลล์ของเห็ดราและสาหร่ายบางชนิด เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติจึงพบอยู่ในรูปของสารประสม (Compositematerial) กับสารอินทรีย์จำพวกโปรตีนและสารอินทรีย์จำพวกแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** องค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู (แสดงเป็นน้ำหนักเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากการอบแห้ง)

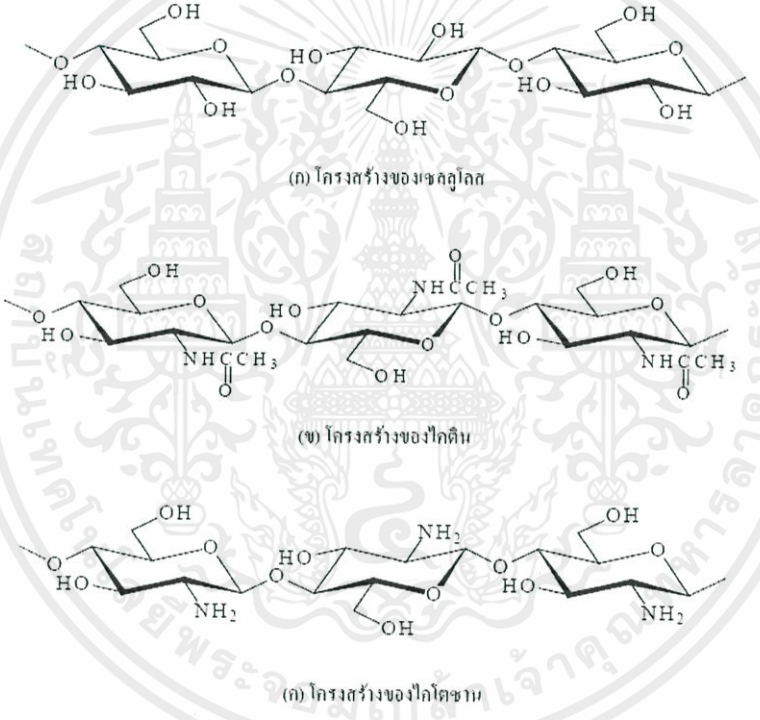
| | ปริมาณองค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **สิ่งมีชีวิต** | **ไคติน** | **โปรตีน** | **แคลเซียม** | **แมกนีเซียม** | **ฟอสฟอรัส** |
| ปูขน | 18.4 | 10.5 | 21.3 | 1.2 | - |
| King Crab | 10.7 | 44.7 | 8.2 | - | 1.8 |
| Swimming Crab | 9.0 | 6.5 | 25.3 | 2.1 | - |
| White Shrimp | 32.4 | 29.4 | 15.3 | 0.6 | - |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงพบว่าเปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคติน-โปรตีนเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู จะเป็นไคตินที่มีหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตนอกเหนือจากโปรตีน

### 2.1.4 สายโซ่ไคตินและไคโตซาน

โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานมีความคล้ายคลึงกันกับเซลลูโลส คือเป็นสายโซ่ของแซคคาไรด์ แต่มีอะตอมของไนโตรเจนเข้าไปเพิ่ม เมื่อหน่วยแซคคาไรด์นั้นมีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของอะเซตาไมด์เราจะเรียกว่าไคติน ในขณะเดียวกันหากหน่วยนั้นๆ มีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของหมู่อะมิโน เราจะเรียกว่าไคโตซาน (รูปที่ 2.2) เป็นที่น่าสังเกตว่าสายโซ่ที่มีหน่วยของไคตินและไคโตซานจะอยู่ในรูปที่ผสมกันอยู่สลับหน่วยปะปนกันไปเป็นโคพอลิเมอร์ ดังนั้นสารไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู แม้ว่าจะมีหน่วยไคตินเป็นหลักอยู่สายโซ่ก็ตาม ก็จะมีหน่วยของไคโตซานปะปนอยู่จำนวนหนึ่ง (ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์) หรือแม้ว่าจะนำไคตินมาผ่านกระบวนการการปรับโครงสร้างทางเคมีด้วยการเปลี่ยนหมู่อะเซตาไมด์เป็นอะมิโนไม่สามารถได้สายโซ่นี้ในรูปของไคโตซาน 100 เปอร์เซ็นต์ เกณฑ์ที่เป็นที่เข้าใจในกลุ่มวิจัยคือ ในกรณีที่สายโซ่ของไคโตซานเกินกว่า 70-75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เรียกว่า ไคโตซาน




**รูปที่ 2.2** แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของ (ก) โครงสร้างของเซลลูโลส (ข) โครงสร้างของไคติน (ค) โครงสร้างของไคโตซาน

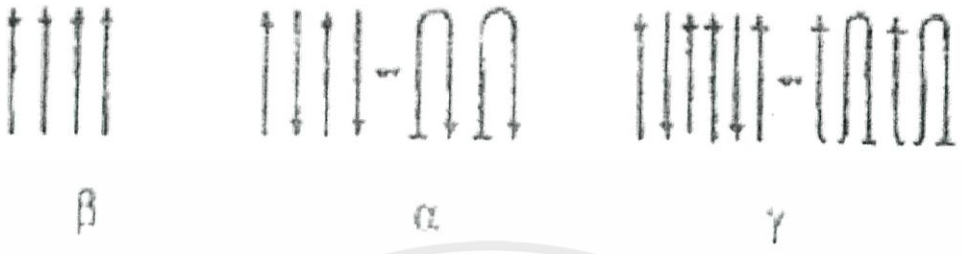
### 2.1.5 โครงสร้างที่แข็งแรงของไคตินและไคโตซาน

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์มีหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างภายในสายโซ่ที่เรียกว่า Intramolecular hydrogen bonding และระหว่างสายโซ่ที่เรียกว่า Intermolecular hydrogen bonding ซึ่งพันธะไฮโดรเจนทำให้การเรียงตัวของสายโซ่แต่ละสายเป็นไปอย่างจำกัดทิศทางของสายโซ่ที่เรียงตัวกันนี้จำแนกได้ 3 ประเภท (รูปที่ 2.3) คือการเรียงตัวของสายโซ่เป็นการเรียงแบบทิศทางเดียวกัน หรือเบตา-ไคติน ($\beta$-chitin), แบบทิศทางเดียวกันและทิศทางสลับกันไป หรือแอลฟา-ไคติน ($\alpha$-chintin) และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

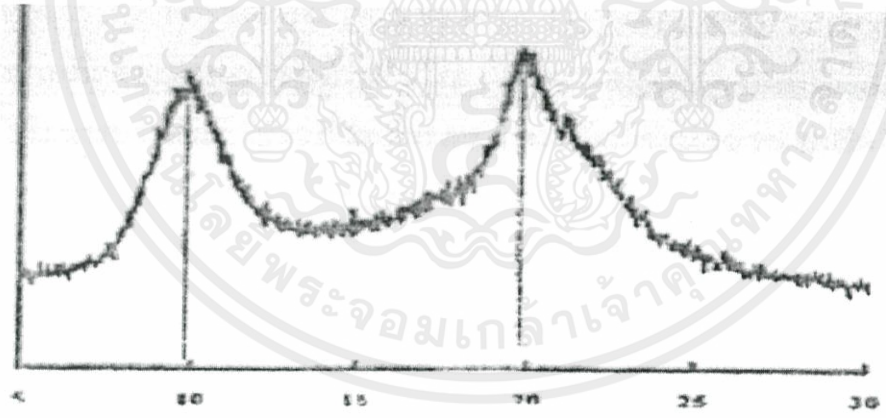
สวนทิศทางตลอดสายโซ่ หรือแกมมา-ไคติน ($\gamma$-chitin) โครงสร้างแอลฟาเป็นโครงสร้างที่มีความสมบูรณ์ในด้านพันธะไฮโดรเจน คือมีทั้งแบบภายในและระหว่างสายโซ่อย่างเป็นระเบียบ

ไคตินและไคโตซานที่มีโครงสร้างประเภทนี้จะมีความเสถียรสูงได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปู และเชื้อราบางชนิด สำหรับเบตาและแกมมา จะพบในแกนปลาหมึก และแมลง




**รูปที่ 2.3** โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบแอลฟา เบตา และแกมมา

โครงสร้างทางกายภาพของผลึกนี้ สามารถศึกษาได้ด้วยการตกผลึกของไคโตซาน และวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผลึกเดี่ยว แต่เนื่องจากไคติน และไคโตซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงจึงไม่สามารถที่จะเตรียมผลึกเดี่ยวได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้คือ การศึกษาด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบ (X-ray diffraction) กล่าวคือ เมื่อให้แสง X-ray ไปตกกระทบที่ตัวอย่าง แล้วรูปแบบของการเบี่ยงเบนของแสงที่เกิดขึ้นหลังจากตกกระทบบนตัวอย่าง จะเป็นนัยบ่งถึงโครงสร้างผลึกของสายใยพอลิเมอร์นั่นเอง




**รูปที่ 2.4** ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไคตินด้วยเทคนิค X-ray Diffraction

รูปที่ 2.4 แสดงถึงโครงสร้างของไคติน ซึ่งมีลักษณะเด่นที่มีพีค 2 ตำแหน่งหลัก คือ ที่มุม 2 Theta ประมาณ 9 องศา และ 19 องศา ซึ่งบ่งบอกว่า โครงสร้างไคตินจะมีความเป็นผลึก และมีหน้าที่ห่างกันในช่วงประมาณ 19.63 และ 8.87 อังสตรอม วิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่เนื่องจากมีความง่ายต่อการเตรียมสาร และตรวจวิเคราะห์ได้รวดเร็ว จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบทางกายภาพในการจำแนกไคติน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 สมบัติทางกายภาพ

#### 2.1.6.1 การละลาย

การละลายเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของสารกับตัวทำละลาย ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะทำให้พอลิเมอร์หนึ่งๆ ละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายแทรก ผ่านเข้าไปในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์

ไคตินและไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น และเป็นระเบียบ ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและสร้างพันธะกับสายโซ่ของไคตินและไคโตซานได้ เป็นเหตุให้ไคตินและไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป และบ่อยครั้งที่สารจะบวมหรือพองตัวในตัวทำละลายเท่านั้นแต่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์

ตัวทำละลายที่ดีสำหรับไคตินและไคโตซาน จึงอาศัยหลักการที่จะทำให้เกิดพันธะไอออนไปทดแทนตำแหน่งไฮโดรเจน เช่น ที่ตำแหน่งอะมิโน หรือตำแหน่งอะเซตาไมด์ เมื่อตำแหน่งดังกล่าวกลายเป็นไอออนบวก แล้วพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายและไอออนบวกจะสร้างพันธะไอออนิกกับไอออนลบในระบบตัวทำละลาย การละลายจึงเกิดขึ้น

ในกรณีของไคติน พบว่าในตัวทำละลายทั่วไป เช่น น้ำ กรดเจือจาง ด่างทั้งเจือจางและเข้มข้นแอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ไม่สามารถที่จะทำให้ไคตินละลายได้ แต่ในขณะเดียวกัน กรดเข้มข้นจำพวกไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก จะให้เกิดการละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากกรดเข้มข้นดังกล่าวมีปริมาณโปรตอนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนบวกที่ตำแหน่ง อะเซตาไมด์ และทำให้ตำแหน่ง C-2 ของไคตินกลายเป็นไอออนบวก พันธะไฮโดรเจนจึงสลายลงในขณะเดียวกันพันธะไอออนิกถูกสร้างขึ้นระหว่างไอออนของกรดประเภทนั้นๆ ทำให้การละลายเกิดขึ้น

ตัวทำละลายอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับไคติน คือ ประเภทเกลือในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น สารละลายลิเทียมคลอไรด์อิ่มตัวใน N,N,-dimethylformamide หรือสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อิ่มตัวในเมทานอล การที่ไคตินละลายได้เนื่องมาจากเกลือในตัวทำละลายนี้สร้างพันธะไอออนิกแทนที่พันธะไฮโดรเจน

#### 2.1.6.2 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงความเสถียรของไคตินและไคโตซาน เมื่อพิจารณาไคตินและไคโตซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ประเภทหนึ่ง เนื่องด้วยไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงจึงควรแสดงสมบัติเป็น Thermoplastics ซึ่งจะให้อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) เมื่อให้ความร้อนแก่ไคตินและไคโตซานจนถึงระดับหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงเมื่อทำการให้ความร้อนแก่ไคตินและไคโตซานจะพบว่าไคตินและไคโตซานจะไม่แปรสภาพเป็นสารหนืด แต่จะไหม้และสลายสภาพไปในที่สุด

ในการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analysis) จำพวก Thermal gravimeter และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) สามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบของพอลิเมอร์หรือปรากฏการณ์ของสมบัติทางความร้อนได้อย่างดี เนื่องจากการศึกษาด้วย DSC นี้ เป็นการศึกษาในระบบปิด ป้องกันการเกิดสันดาปกับออกซิเจนในอากาศ และแสดงถึงปริมาณความร้อนและกระบวนการที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการดูดความร้อนหรือคายความร้อน ณ อุณหภูมิหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.7 สมบัติทางเคมี

ไคตินและไคโตซานเป็นสายโซ่ของโมเลกุลน้ำตาลแบบเส้นตรงที่มีโครงสร้างทางเคมีซึ่งคล้ายเซลลูโลส โครงสร้างของไคตินและไคโตซานจะพบว่ามีอะตอมของไนโตรเจนเข้าไปเพิ่ม ในรูปของหมู่อะเซตาไมด์ และหมู่อะมิโน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของไคตินและไคโตซานมีหมู่ 3 หมู่ คือ หมู่อะมิโนและหมู่อะเซตาไมด์ที่ตำแหน่ง C-2 และหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C-3 (Secondary alcohol) และ C-6 (Primary alcohol)

### 2.1.8 มาตรฐานของไคตินและไคโตซาน

การพัฒนาไคตินและไคโตซานเพื่อให้สินค้ามีมูลค่าเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงสารไคตินและไคโตซานตั้งต้น เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารประสม (Composite material) กับสารอนินทรีย์ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่ดีจำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพและมีการรายงานได้ด้วยว่าคุณภาพของสารไคโตซานที่สกัดได้นั้นอยู่ในระดับไหนทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้สารไคตินและไคโตซานเลือกใช้สารได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตที่เกี่ยวกับการปรับแต่งโครงสร้างของไคตินและไคโตซานได้ พร้อมระบบควบคุมคุณภาพ

วิธีการประเมินหรือการตรวจสอบคุณภาพสารไคตินและไคโตซานทั้งในระดับพื้นฐาน เช่น การดูสี ดมกลิ่น การละลายเพื่อตรวจสอบความขุ่นใส การวัดความหนืด จนถึงระดับที่ต้องการอุปกรณ์พิเศษ เช่น การตรวจดูปริมาณ ความชื้นที่มีอยู่การดูระดับเถ้าหรือสารอนินทรีย์เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถศึกษาหรืออ้างอิงได้จากกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพที่ดำเนินอยู่ในประเทศอื่นโดยเฉพาะญี่ปุ่น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.2** ตัวอย่างรายการแสดงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไคติน ชื่อตัวอย่าง Chitosan 1000 Wako จากบริษัท Wako Chemicals เลขที่ WTH 1028 ปริมาณ 25 กรัม

| คุณสมบัติ | ข้อมูลของสาร | ข้อกำหนดในมาตรฐาน |
|---|---|---|
| ลักษณะทางกายภาพ | สีครีมอ่อน , เป็นเกล็ด | สีขาว-ครีมอมชมพู,เป็นเกล็ด |
| ความหนืด | 991 เซ็นติพอยส์ | 800-1500 เซนติพอยส์ |
| สารละลายกรดอะซิติก | เกือบใส | ขุ่นเล็กน้อย |
| น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากอบแห้งที่ $105^0$ C | 0.6 เปอร์เซ็นต์ | <10 เปอร์เซ็นต์ |
| Degree of Deacetylation | 85.9 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์ | 75.0-90.0 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.3** แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบไคตินและไคโตซาน

| คุณสมบัติ | ไคติน | ไคโตซาน |
|---|---|---|
| มวลโมเลกุล,ดาลตัน | $>10^{6b}$ (1-5) x $10^{5c}$ | (1-5) x $10^{5c}$ |
| ความชื้น,เปอร์เซ็นต์ | 2-10 | 2-10 |
| ไนโตรเจน,เปอร์เซ็นต์ | 6-7 | 7-8, 4 |
| Deacetylation, เปอร์เซ็นต์ | < 10 | > 60 |
| เถ้าที่ 900 องศาเซลเซียส,เปอร์เซ็นต์ | < 1.0 | < 1.0 |
| ความหนืดของสารละลาย 1 เปอร์เซ็นต์/ 1 เปอร์เซ็นต์ กรดอะซิติก, Cp | | 200-300 |
| Dissociation constant, Kα | 6.0-7.0 | 6.0-7.0 |
| X-ray diffraction peaks | $8^0$ 58' -$10^0$ 26' $19^0$ 58' -$20^0$ 00' | $8^0$ 58' -$10^0$ 26' $19^0$ 58' -$20^0$ 00' |
| Transition metals, µg/g | < 5.0 | < 5.0 |

(a) R.A.A.Muzzarelli, in G.O. Aspinall, ed., The Polysaccharides, Vol.3, Academic Press, New York, 1985.
(b) ไคตินจากธรรมชาติ (Native chitin)
(c) ไคโตซานทางการค้า (Commercial products)

### 2.1.9 การทดสอบไคตินและไคโตซานในอุตสาหกรรม

วิธีการทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานในระดับอุตสาหกรรมนั้น มีความแตกต่างจากระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้การทดสอบจะต้องง่ายและให้ผลการทดสอบที่มีนัยสำคัญ แม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยการกำหนดมาตรฐาน และวิธีการของไคตินและไคโตซานยังไม่ได้ดำเนินการแต่ผู้ประกอบการอาจคำนึงถึงบางรายการที่สามารถดำเนินการได้เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นถึงคุณภาพของวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่ผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.4** วิธีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของไคตินและไคโตซาน

| คุณสมบัติ | วิธีการตรวจสอบคุณภาพ |
|---|---|
| ความชื้น | น้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังอบที่ 105±2 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง |
| ขนาด | 1000 ไมโครเมตร |
| พีเอช | ละลายในน้ำกลั่นแล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงก่อนวัดพีเอช |
| ปริมาณเถ้า | หาน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังเผาที่ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง |
| ความสามารถในการละลายในสารละลายด่าง | หาน้ำหนักที่หายไปหลังแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 95±2 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงแล้ว อบที่ 105±2 °C เป็นเวลา3 ชั่วโมง |
| ความหนืดของไคติน | แช่สารละลายตัวอย่าง 3 กรัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ที่ 95±2 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงเพื่อให้เป็น Deacetylation chitin หลังจากนั้นทำให้แห้งแล้ววัดเหมือนไคโตซาน |
| ความหนืดของไคโตซาน | -ให้ความร้อนสารละลายตัวอย่าง 1.5 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติก 1.5 กรัม และน้ำ 297 กรัม ที่ 105±2 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง<br>-วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ที่ 20 องศาเซลเซียส |

### 2.1.10 การกำหนดสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพและเคมีสำหรับประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่สูงที่สุดในโลกแห่งหนึ่ง ดังนั้นการส่งเสริมการประยุกต์ใช้การสนับสนุนด้านการศึกษาและวิจัย ตลอดจนการวางแนวทางการให้ข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับผู้บริโภคต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญในการที่จะให้ไคตินและไคโตซานเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีมูลค่าเพิ่มในทิศทางที่ถูกต้อง

ดังนั้นขั้นพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ ที่เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงหรือตรวจสอบได้ เพื่อให้ผู้ประกอบการ นักวิจัย และผู้บริโภคได้สามารถเลือกใช้ไคโตซานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ

สมบัติพื้นฐานที่ควรทดสอบได้แก่ ปริมาณเถ้า ความหนืด (หรือทดสอบด้วย Brookfield Viscometer ก็ได้) ปริมาณ %DD (Degree of Deacetylation)

### 2.1.11 สมบัติที่สำคัญของสารไคตินและไคโตซาน

นอกจากลักษณะทางเคมีของสารไคตินและไคโตซานแล้วสิ่งที่ควรพิจารณาอีกปัจจัยหนึ่งก็คือสมบัติที่สำคัญของสารพอลิเมอร์ เช่น ไคตินโดยธรรมชาติไม่ละลายในน้ำและในสารอินทรีย์ทั่วไป ส่วนไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด แล้วสามารถเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิมได้ ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก สารละลาย มีลักษณะข้นหนืด และมีความใสสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เป็นเส้นใย เป็นเม็ด เป็นแผ่นบาง เป็นสารเคลือบผิว เป็นต้น ทั้งสารไคตินและไคโตซานสามารถดัดแปลงทางเคมีให้เป็นอนุพันธ์อื่นได้อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่สารไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาว ฉะนั้นขนาดของโมเลกุลจึงมีส่วนในการแสดงสมบัติ ต่างๆ ที่ปรากฏออกมาและสามารถปรับเปลี่ยนในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ เช่น พวกที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ยาว ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้วเมื่อนำมาละลายแล้วจะมีประจุบวกสูงสามารถใช้ในการตกตะกอนดึงเอาสารอื่นลงมารวมเป็น กลุ่มตะกอนได้ดี ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศที่มีกฎเกณฑ์เข้มงวดด้านสิ่งแวดล้อม ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้ไคตินและไคโตซาน ในการตกตะกอนและรวมตะกอนที่ได้แยกออกมาแล้วนำกลับไปสู่สิ่งแวดล้อมใหม่ โดยเกิดการหมุนเวียนเข้าสู่ระบบนิเวศได้ พวกไคตินและไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลที่สั้นและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เรียกว่าพวกโอลิโกเมอร์ มีความสำคัญและมีประสิทธิภาพมากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยมีผลงานวิจัยในหลายประเทศพบว่า พวกโอโกเมอร์ที่กล่าวนี้มีสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของยีนส์ในพืชสามารถช่วยให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนที่เสริมสร้างภูมิคุ้มกันตนเองได้ซึ่งถือว่าเป็นพวก Elicitor นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นและเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อีกมากมาย นอกจากนี้หน่วยย่อยที่เป็นองค์ประกอบของสารไคตินและไคโตซานหรือโมโนเมอร์ ยังพบว่ามีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตโดยเป็นองค์ประกอบในอวัยวะบางอย่าง เช่น กระดูกอ่อน ฉะนั้นจึงมีผลการวิจัยสนับสนุน การนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในการเสริมสร้างและรักษาโรคเกี่ยวกับไขข้อและกระดูกเสื่อม ปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ออกสู่ตลาดมากมาย

จากผลการศึกษาวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าตัวสารไคตินและไคโตซานมีประสิทธิภาพในตัวมันเองอยู่แล้ว หากมีความรู้เพียงพอที่จะนำมันมาปรับปรุงการใช้ให้เหมาะสมก็จะสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประโยชน์สูงสุด ฉะนั้นผลการวิจัยทดลองเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะเลือกเทคโนโลยีในการผลิตให้เหมาะสมกับการใช้งานจึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

การนำไคตินและไคโตซานไปปรับประยุกต์ใช้นั้นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเป็นสำคัญ ประสิทธิผลที่เกิดจากการใช้ต้องมีคำอธิบายและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มาสนับสนุน จึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและความมั่นใจต่อการใช้สมบัติเด่นประการหนึ่งของไคตินและไคโตซาน คือ การต่อต้านจุลินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง พบว่าปัจจุบันมีความต้องการสารต่อต้านด้านจุลินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น จึงมีการศึกษาด้านประสิทธิภาพของสารไคตินไคโตซานและอนุพันธ์ต่างๆ เพื่อการนำมาใช้ในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีกลไกที่มีนักวิทยาศาสตร์อธิบายไว้ดังนี้

1) โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตซานกับประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้เกิดการแตกและการรั่วออกมาของสารโปรตีนและสารอื่นๆ จากภายในเซลล์ของจุลินทรีย์

2) เป็นสารคีเลต (Chelating agent) ที่จำเพาะกับพวกจุลธาตุ (Trace element) บางชนิดและทำให้เกิดการยับยั้งการผลิตสารพิษจากจุลินทรีย์ และขัดขวางการเจริญเติบโตของมันเอง

3) กระตุ้นกระบวนการป้องกันตัวเองของเซลล์เจ้าบ้าน (Host cell) ของพืชโดยไปกระตุ้นยีนของพืชให้เพิ่มการสร้างเอ็นไซม์ เช่น Glucanase, Chitinase และ Phytoalexins ทำให้พืชมีความต้านทานต่อโรคที่มาจากเชื้อราบางชนิดได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็น Elicitor ชนิดหนึ่ง

4) เป็นสารจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ดีซึ่งอาจทำให้เกิดกระบวนการขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิดในจุลินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อมีการซึมเข้าไปของพวกไคโตซานโมเลกุลเล็กเข้าสู่ในนิวเคลียสของเซลล์จุลินทรีย์และราบางชนิดพบว่า มีการจับตัวกันของไคโตซานกับ DNA ทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์ Mrna ซึ่งขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์นั่นเอง

**2.1.12 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซาน**

ไคตินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมเกษตร และการแพทย์ ได้ดังนี้

**2.1.12.1 ด้านการเกษตร**

- ใช้เป็นปุ๋ย
- เป็นผสมในอาหารสัตว์
- เป็นส่วนผสมในอาหารเม็ดสำหรับเลี้ยงปลาและกุ้ง
- ปรับปรุงคุณภาพดินและผสมในดินเพื่อปรับสภาพของดินเหนียว
- ใช้ในด้านการเก็บรักษาพันธุ์พืช
- ใช้เป็นยาฆ่าแมลง
- ใช้เป็นยาฆ่าหนอนตัวกลม
- เป็นพาหะของจุลินทรีย์ในดินเพื่อป้องกันการเกิดโรคในพืช

**2.1.12.2 ด้านเครื่องสำอาง**

- ไคตินไคโตซานและอนุพันธุ์มีศักยภาพในการเป็นเครื่องสำอางใช้ดูแลรักษาผิว ถนอมผิว และรักษากลิ่นปาก

**2.1.12.3 ด้านอาหาร**

- ใช้ในรูปของวัตถุเจือปน เพื่อช่วยจับไขมันและคลอเลสเทอรอลให้ร่างกายรับไขมันน้อยลง
- ช่วยควบคุมความข้นหนืด ทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่ต้องการ
- ใช้ผลิตสารให้ความหวาน
- การผลิตโปรตีนเซลล์เดียว

ไคโตซานมี 2 ลักษณะ ซึ่งเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และสามารถซึมผ่านออกซิเจนได้ต่ำ ในทางพันธุ์วิศวกรรมการผลิตไคโตซานจากราสามารถนำมารับประทานได้เมื่อปรับน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการแล้ว อาจถูกนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร ซึ่งไม่เป็นพิษและมีความแข็งแรงสูง เช่น พวกปลอกไส้กรอก วัสดุห่ออาหารเข้าเตาอบ และการบรรจุหีบห่อสำหรับอาหารต่างๆ

- การผลิตเครื่องดื่ม องค์กรคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกาได้แสดงผลการทดลองระดับนำร่องโดยนำไคโตซานไปผลิตเป็นเครื่องดื่มโดยใช้ไคโตซาน ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคโตซานจะซึมซับโลหะ ยาฆ่าแมลง และมวลสารอื่นๆ ที่ปะปนมากับน้ำและสามารถลดความขุ่นและทำเป็นน้ำผลไม้ได้อีกด้วย กลุ่มฟองที่ประกอบด้วยไคโตซานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแก่กระบวนการทำให้ใสในเครื่องดื่มได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.12.4 ด้านการแพทย์และเภสัช**

ไคตินและไคโตซานมีประโยชน์อย่างมากทางการแพทย์ ที่สำคัญที่สุดก็คือการรักษาบาดแผล การปลูกถ่ายอวัยวะ ยาลดไขมันและคลอเลสเทอรอล และอื่นๆ

- ใช้ในการตกแต่งบาดแผล เส้นไหมไคตินสามารถนำมาถักทอเป็นแผ่น เพื่อนำมาใช้ตกแต่งบาดแผลทำหน้าที่เร่งการสมานแผลและลดความเจ็บปวด แผ่นไคโตซานนี้ไม่ละลายโดยง่ายจากของเหลวจากร่างกายซึ่งต่างจากผิวหนังเทียม แผ่นไคตินสามารถนำมาใช้ในการตกแต่งบาดแผลที่เกิดขึ้นที่ใบหน้าและตำแหน่งที่มีการปลูกถ่ายอวัยวะ
- ใช้เป็นยาขี้ผึ้งรักษาแผล
- เป็นสารห้ามเลือด
- ใช้ในการรักษาทางทันตกรรม
- เป็นสารจับกับไขมันและสารต้านการสร้างคอลเลสเทอรอล
- ใช้ในการปลูกถ่ายเซลล์
- ใช้เป็นสารต้านมะเร็ง
- ช่วยในการทำงานของระบบย่อยอาหาร

**2.1.12.5 การบำบัดกากของเสียและน้ำ**

คุณสมบัติในการเกิดตะกอนและการจับกับโลหะหนักของไคโตซาน จะเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำดื่ม สระว่ายน้ำและบ่อน้ำแร่รวมทั้งน้ำทิ้งชนิดต่างๆ

- การบำบัดน้ำดื่ม การนำไคโตซาน (รวมทั้งอนุพันธุ์) ร่วมกับถ่านกัมมันต์สามารถทำให้น้ำดื่มบริสุทธิ์ได้ ไคโตซานมีหน้าที่ 2 ประการ คือ กำจัดสารประกอบอินทรีย์ และสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสังกะสีได้
- การบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำและบ่อแร่ ไคโตซานและอนุพันธ์ สามารถตกตะกอนได้ เช่น น้ำมัน สบู่ สิ่งสกปรก ฝุ่นที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำในสระว่ายน้ำ บ่อน้ำแร่ บ่อน้ำร้อน น้ำพุ ทะเลสาบ และแหล่งน้ำใสขึ้น
- การกำจัดกากของเสียประเภทอาหาร ไคโตซานจะจับกับอนุภาคที่เป็นคอลลอยด์ซึ่งแพร่ กระจายอยู่ในน้ำทิ้งโดยจะดึงโปรตีนกลับมาเพื่อใช้ผลิตอาหารสัตว์ กระบวนการดึงเอาโปรตีนคืนมาจะใช้วิธีการเติมสารละลายไคโตซาน 0.25-1.0 เปอร์เซ็นต์ลงในน้ำทิ้ง จะได้ตะกอนโปรตีนซึ่งประกอบด้วยไคโตซาน 0.5-8.0 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 30-70 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง)

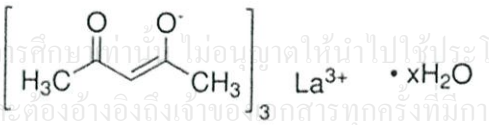
## 2.2 แลนทานัมแอซิเตด (Lanthanum (III) acetate)

**เอกลักษณ์**

สูตรเคมี : $La(CH_3CO_2)_3 \cdot xH_2O$ น้ำหนักโมเลกุล : 316.04 g/mol

จุดหลอมเหลว :110 °C ความหนาแน่น : 1.640g/$cm^3$

โครงสร้างทางเคมี :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.5** โครงสร้างทางเคมีของแลนทานัมแอซิเตด

ชื่อเรียกอื่นๆ : Lanthanum (III) acetate; Lanthanum Acetate Hydrate; Lanthanum Acetate N-Hydrate; Lanthanum Acetate, Hydrated; Lanthanum Acetate Hydrate; Lanthanum triacetate hydrate; Lanthanum (III) Acetate Hydrate; Lanthanum Acetaten-Hydrate; Lanthanum Acetate, Sesquihydrate; Lanthanum (+3) Acetate Sesquihydrate
ชื่อทางการค้า : Lanthanum acetate hydrate

**2.2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี**

เป็นผงแป้งละเอียดสีขาว

**2.2.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้แลนทานัมแอซิเตด**

ใช้สังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนของไดแลนทานัม (III) เป็นเมทัลโลโปรตีนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางเคมี

**2.2.3 ความปลอดภัย**

ทำให้สมองขาดเลือดถ้าได้รับในปริมาณ 160-180 กรัมโดยจะไปบล็อคการขนส่งของเลือดจากเส้นเลือดแดงหลักที่คอ [5]

## 2.3 เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) [6]

**เอกลักษณ์**

สูตรเคมี : $FeCl_3$

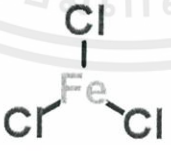
น้ำหนักโมเลกุล : 162.2 g/mol (anhydrous)
270.3 g/mol (hexahydrate)

จุดเดือด : 306°C (anhydrous)
37°C (hexahydrate)

จุดหลอมเหลว : 315°C (anhydrous,decomp)
280 °C (hexahydrate,decomp)

ความหนาแน่น : 2.898 g/$cm^3$ (anhydrous)
1082 g/$cm^3$ (hexahydrate)

โครงสร้างทางเคมี :




**รูปที่ 2.6** โครงสร้างทางเคมีของเฟอร์ริกคลอไรด์

ชื่อเรียกอื่นๆ : Ferric Chloride, Molysite, Flores Martis
ชื่อทางการค้า : Iron (III) Chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี**

เป็นผลึกสีขาวบริสุทธิ์/เขียว/เหลือง ถ้ามีแสงส่องผ่านจะพบว่าเป็นสีม่วงแดง

**2.3.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์**

ใช้เป็นตัวเร่งในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีความแข็งแรงในการออกซิไดซ์คลอไรด์ ใช้เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นออกซิเจน และน้ำ

**2.3.4 ความปลอดภัย**

เกิดการระคายเคืองต่อ ระบบการมองเห็น ทางเดินหายใจและผิวหนังสามารถดูดความชื้นโดยดูดซับจากอากาศได้

## 2.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Poly (Vinyl Alcohol) [7]

**เอกลักษณ์**

สูตรเคมี : $[CH_2CH(OH)]_n$ น้ำหนักโมเลกุล : 44 g/mol

จุดเดือด : 228 °C จุดหลอมเหลว : 200 °C

ความหนาแน่น : 1.19-1.31 $g/cm^3$

โครงสร้างทางเคมี :

**รูปที่ 2.7** โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ชื่อเรียกอื่นๆ : PVOH; Poly(Ethenol), Homopolymer; PVA; Polyviol; Vinyl; Alvyl; Alkotex; Covol; Gelvatol; Mowiol; Kuraray Poval, Mowiflex, Alcotex, Elvatol, Gohsenol, Lemol, Mowiol, Nelfilcon A, Polyviol und

ชื่อทางการค้า :PVOH, PVA, PVAl

**2.4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี**

เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลว และการยึดติด (เป็นกาว) ที่ยอดเยี่ยม อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน, น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนา และตัวทำละลาย (โซลเว้นท์) ได้ดี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นด้วย หากความชื้นสูงขึ้น น้ำก็จะถูกดูดซับได้มากขึ้น โดยน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้พลาสติกนิ่ม (พลาสติไซเซอร์) นั้นก็จะลดความเค้นแรงดึงลง แต่จะเพิ่มแรงยึดและแรงเฉือนให้มากขึ้น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว และสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ โดยมีจุดหลอมละลายที่ 230°C และที่ 180-190°C สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C เนื่องจากมันย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงเท่านั้น

**2.4.2 การสังเคราะห์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์**

PVA JP-24E เป็นพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ชนิดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน ซึ่งใช้สำหรับไวนิลอะซีเตตโดยอาศัยวิธีการแบบอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน

**2.4.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์**

ใช้สำหรับงานพอลิยูรีเทน งานขึ้นรูป ยาง ฟองน้ำ และอื่นๆมีความสามารถในการละลายของเหลวที่ดีมาก

**2.4.4 ความปลอดภัย**

ทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ เกิดการระคายเคืองต่อระบบการมองเห็นเช่น ทำให้ตาแดง คันที่ตาไม่สามารถมองเห็นได้ชั่วขณะน้ำตาไหลออกมามากผิดปกติและอาจทำให้จอประสาทตามีสีซีดลง

## 2.5 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพชีวภาพและเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำทิ้ง การดูดซับเป็นความสามารถของสารใสการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Absorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้างการจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับการเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นเมื่อดูดซับจนอิ่มตัวแล้วสามารถนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำทิ้ง ที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุมมีประสิทธิภาพดี และระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือ ต้องการพื้นที่น้อย [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.1 ลักษณะการดูดซับ**

การดูดซับแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)

2) การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้และยึดติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงวันเดอร์วาล์ว (Van der Waal's force) ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่บนชั้นโมเลกุล ก่อนหน้านี้โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายซึ่งจำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารที่ถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีนั้น จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นจะแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) แต่การดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (Reversible) เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรี่ต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรี่ต่อโมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และแอกติเวดเตดซิลิกาสารธรรมชาติ มักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีขีดจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดติดผิวที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อจำกัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer)**

1) กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2. การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

3. ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดติดที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นแรงต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง

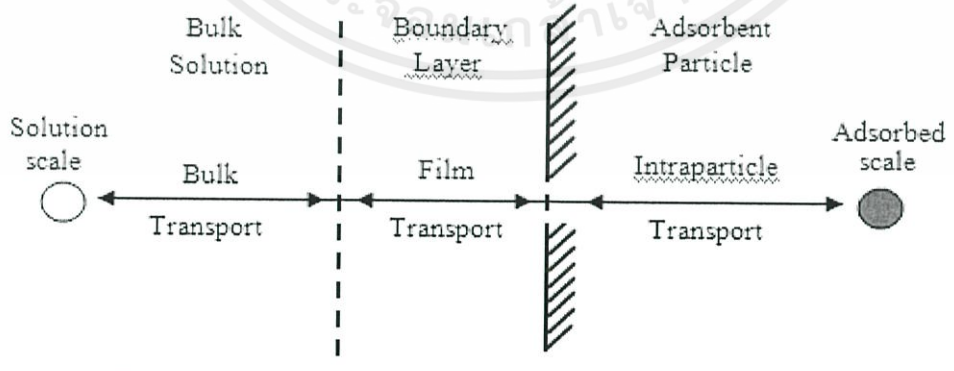
2) อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้นอัตราการดูดซับจะถูกควบคุม โดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนในการดูดซับของสารละลายมี 3 ขั้นตอน คือ

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดโมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ

2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางแทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดติดผิวขั้นตอนหนึ่ง

3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่กำจัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.5



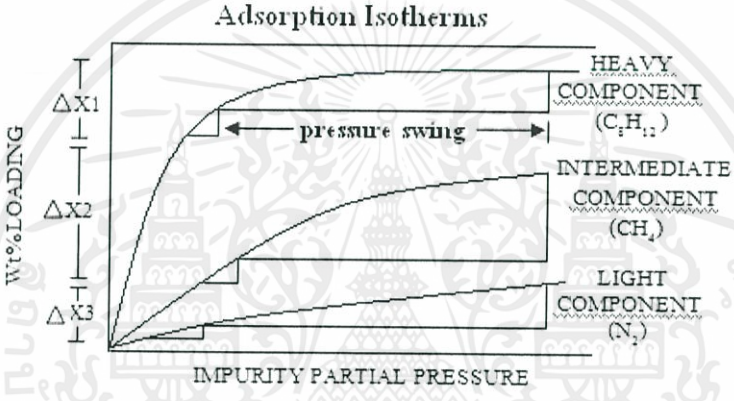

**รูปที่ 2.8** ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามมิให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

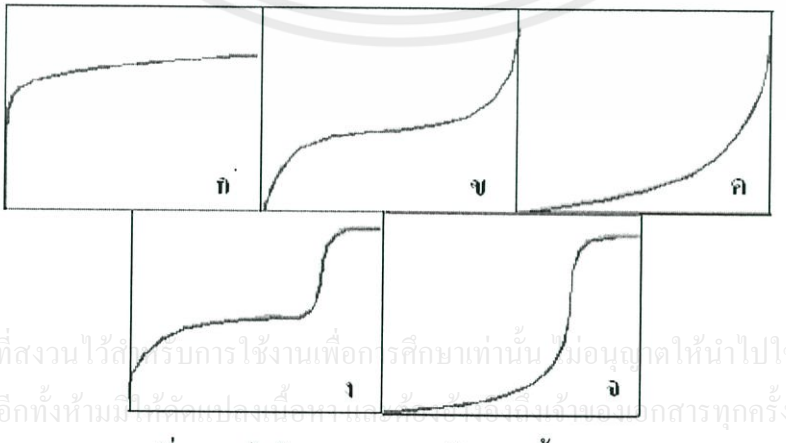
### 2.5.3 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

ความสามารถในการดูดซับนอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวดูดซับเอง เช่น จำนวนช่องว่างหรือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันของตัวดูดซับโดยสภาวะการดูดซับนี้มีผลต่อสภาพสมดุลของการดูดซับซึ่งเป็นสภาวะการดูดซับที่จุดอิ่มตัว สภาพสมดุลของการดูดซับหาได้จากการทดลองโดยนิยมจะนำข้อมูลมาแสดงในลักษณะของไอโซเทอม (Isotherm) โดยเป็นเส้นแสดงปริมาณการดูดซับตามการเปลี่ยนแปลงของความดัน ณ อุณหภูมิคงที่ ดังรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าการดูดซับจะมากขึ้นเมื่อความดันสูง และจะลดลงเมื่อความดันต่ำลง




**รูปที่ 2.9** แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งไอโซเทอมรูป (ก) เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 2.10** ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

**2.5.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน**

1) ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) มีสมมติฐานพื้นฐานที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model ดังนี้

1. เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น
2. โมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวของตัวดูดซับได้
3. เอนทาลปีของการดูดซับมีค่าเดียวสำหรับทุกๆโมเลกุล
4. พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2.1)

$$q = \frac{q_e b C_e}{1+bC_e} \qquad (2.1)$$

เมื่อ q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

$q_e$ = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์

$C_e$ = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุลหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ (2.1) สามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังสมการ (2.2) หรือ (2.3)

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{bq_e} + \frac{C_e}{q_e} \qquad (2.2)$$

หรือ

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_e} + \frac{1}{bq_eC_e} \qquad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง 1/q กับ $1/C_e$ ข้อมูลสมดุลการดูดซับแสดงดังรูปที่ 2.11 (ก) และสามารถหาค่าคงที่ b และ $q_e$ ได้จากความชันและจุดตัดกราฟ

2) สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในกรณีอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว ดังสมการ

$$q_e = KC_e^{1/n} \qquad (2.4)$$

เมื่อ $q_e$ = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์

$C_e$ = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุลหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

K ,1/n = ค่าคงที่ของระบบ

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงได้ดังสมการ (2.5)

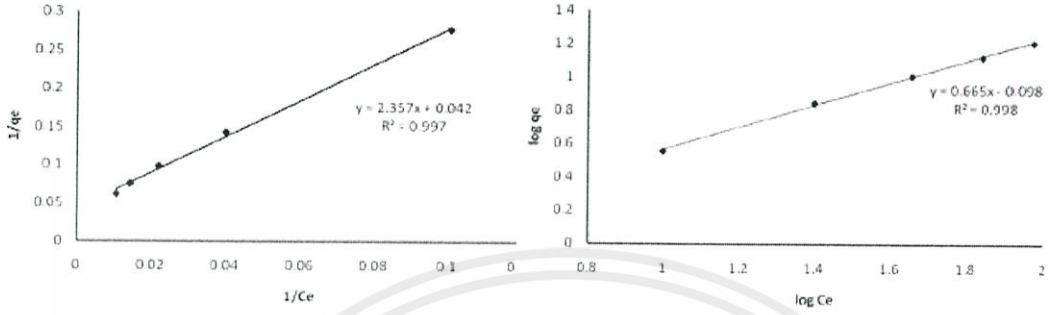
$$\log q_e = \log K + (1/n)\log C_e \qquad (2.5)$$

พลอตกราฟระหว่าง log $q_e$ กับ log $C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ 1/n และมีจุดตัดแกนเท่ากับ log K ดังรูปที่ 2.11 (ข) ค่า 1/n ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า 1/n ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

สมการ Freundlich มีประโยชน์มากที่สุดสำหรับการละลายที่เจือจาง ปกติจะใช้กับการดูดซับสิ่งเจือปนในสารละลายบนถ่านกัมมันต์




(ก) (ข)

**รูปที่ 2.11** กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในไอโซเทอมแบบต่างๆ

**2.5.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ**

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface area)

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

2) ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Adsorbate characteristics)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3) อัตราเร่งของการปั่นกวน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์มและการแพร่เข้าสู่โพรง ซึ่งขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นกวนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นกวนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรง จะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4) เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

5) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน สามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการดูดซับ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**W.S.Wan Ngah และคณะ** [9] ในปี ค.ศ. 2008 ศึกษาการดูดซับกรดฮิวมิกจากสารละลายด้วยเม็ดไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน (ECH) และศึกษาผลทางจลนศาสตร์และไอโซเทอมการดูดซับจากผลการทดลองที่ได้พบว่า มีการดูดซับกรดฮิวมิกที่ดีที่สุดในเม็ดไคโตซาน-ECH เกิดขึ้นที่ pH 6.0 และอัตราการกวนของการดูดซับสมดุลที่ 300 รอบต่อนาที (rpm) โดยใช้การวิเคราะห์การดูดซับจากโมเดลของ Langmuir และ Freundlich พบว่า รูปแบบของ Freundlich เหมาะสมที่สุดในการทดลองโดยเทียบกับแบบค่า Langmuir ที่ได้ 44.84 mg/g การดูดซับกรดฮิวมิกบนเม็ดไคโตซาน-ECH ได้รับการอธิบายที่ดีที่สุดกับ pseudo-first order kinetic model

**X.Zhang และ R.Bai** [10] ในปี ค.ศ. 2003 ได้ศึกษาการนำไคโตซานมาเคลือบบนเม็ด Polyethylene terephthalateหรือ PET แล้วนำมากำจัดกรดฮิวมิกด้วยกระบวนการดูดซับแบบแบตท์ (batch adsorption) จากผลการทดลองพบว่าการดูดซับกรดฮิวมิกบนไคโตซานที่เคลือบบน PET ขึ้นกับ pH ของสารละลาย โดยกรดฮิวมิกถูกดูดซับได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและเบส แต่ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่ม pHของสารละลาย จากข้อมูลการดูดซับกรดฮิวมิกที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ที่อุณหภูมิและ pH คงที่ พบว่าสอดคล้องกับ model การดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich สำหรับกลไกการดูดซับคาดว่าหมู่อะมิโนของชั้นไคโตซานจะถูกโปรโตเนต (protonate) ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่อะมิโนที่ถูกโปรโตเนตและกรดฮิวมิกขึ้น

**นภสร เศียรอินทร์ และคณะ** [11] ในปี ค.ศ. 2010 ศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรนที่ได้ ได้แก่ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิคลอโรไฮดริน แผ่นเมมเบรนที่ได้จะนำไปวัดค่าความแข็งแรงดึง การบวมตัว การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมี และการตรวจสอบลักษณะพื้นผิว จากนั้นแผ่นเมมเบรนที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดจะนำไปทำการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์เพื่อทำการหา pH และเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า แผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและอีพิคลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 1:1:1 จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ไม่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สำหรับแผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีพิคลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 2:1:3 จะมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 การเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิคลอโรไฮดรินในไคโตซานมีผลทำให้ค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนลดลง เมื่อนำแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงอีพิคลอโรไฮดรินไปดูดซับฟีนอล พบว่าฟีนอลถูกดูดซับได้มากที่สุดที่ pH 4 และเวลาในการดูดซับ 150 นาที

**R.Laus และคณะ** [12] ในปี ค.ศ. 2010 ศึกษาการดูดซับ Cu (II), Cd (II) และ Pb (II) ด้วยไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดรินและไตรฟอสเฟต (CTS-ECH-TPP) จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ Cu (II), Cd (II) และ Pb (II) คือ pH 6.0, 7.0 และ 5.0 ตามลำดับ การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับพบว่ากระบวนการดูดซับที่ศึกษานี้สอดคล้องกับ pseudo-second order model และการดูดซับสอดคล้องกับ Langmuir isotherm โดยปริมาณการดูดซับสูงสุดสำหรับ Cu (II), Cd (II) และ Pb (II) คือ 130.72, 83.75 และ 166.94 mg/g ตามลำดับ

**เกวลี ขันธ์ชัยภูมิ และคณะ** [13] ในปี ค.ศ. 2008 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์เป็นตัวดูดซับ โดยพบว่าที่ pH 6 ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์ สามารถบำบัดโครเมียมได้สูงสุดที่ร้อยละ 88 และ 58 ตามลำดับการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้สามารถบำบัดโครเมียมได้สูงขึ้นจนถึง 4 ชั่วโมง โดยบำบัดได้ร้อยละ 78 และ 48 สำหรับไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพเริ่มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การดำเนินงานวิจัย

## 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50, 100, 150, 500 และ 1000 มิลลิลิตร

2. บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร

3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

4. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

5. ปิเปต ขนาด 1, 5, 10 และ 25 มิลลิลิตร

6. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

7. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal Indicator)

8. หลอดหยด

9. ครกบดสาร

10. เครื่องเขย่า (Shaker)

11. เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 และ 4 ตำแหน่ง

12. กระจกนาฬิกา

13. ตู้อบสาร

14. กระดาษกรอง

15. ชุดกรองแบบลดความดัน

16. เครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น LEO 1450 VP ยี่ห้อ LEO

17. เครื่อง Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) GX รุ่น 60237 ยี่ห้อ Perkin Elmer

18. เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Siements

19. เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) รุ่น Pyric 1 ยี่ห้อ Perkin Elmer

20. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway

21. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAS-200 บริษัท Perkin Elmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 สารเคมี

1. ไคโตซาน (Chitosan) เกรดการค้าบริษัท เอ็นเอ็นซี โปรดักส์ จำกัด
2. แลนทานัมแอซิเตด (Lathanum (III) Acetate, $La(CH_3CO_2)_3 \cdot xH_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Etalmar
3. เหล็กคลอไรด์ (Iron (III) Chloride, $FeCl_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CabroErba
4. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol ,$(CH_2CH(OH)_x)$ บริษัท Etalmar
5. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์บริษัท Fluka
6. กรดแอซิติก (Acetic acid, $CH_3COOH$) เกรดวิเคราะห์บริษัท Lab System
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์บริษัท Carlo Erba
8. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เกรดวิเคราะห์บริษัท Lab Scan
9. อะซีโตน (Acetone, $CH_3COCH_3$) เกรดวิเคราะห์บริษัท SR. LAB
10. ไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ (Diphenylcabarzide) เกรดวิเคราะห์บริษัท Fluka
11. โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์บริษัท Lab System
12. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodiumcarbornate, $Na_2CO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
13. ไอโอดีน (Iodine, $I_2$) เกรดวิเคราะห์บริษัท CabroErba
14. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide, KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SR.LAB
15. โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium Iodate, $KIO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka
16. คอปเปอร์คลอไรด์ (Copper Chloride, $CuCl_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Etalmar
17. แป้งมัน (starch) เกรดการค้า (II)
18. น้ำกลั่น (Distilled water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การทดลอง

### 3.3.1 การเตรียมตัวดูดซับ

1) การเตรียมสารละลายแลนทานัม

1.1 ชั่งแลนทานัมแอซิเตด (Lanthanum (III) Acetate) จำนวน 45.5 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายสต๊อก แลนทานัมความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.2 ปิเปตสารละลายสต๊อกแลนทานัมมา 12.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.3 ปิเปตสารละลายแลนทานัมมา 25.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) การเตรียมสารละลายเหล็ก

2.1 ชั่งเหล็กคลอไรด์ (Iron (III) Chloride) จำนวน 96.43 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายสต๊อกเหล็ก ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.2 ปิเปตสารละลายสต๊อกเหล็กมา 12.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.3 ปิเปตสารละลายสต๊อกเหล็กมา 25.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3) การเตรียมตัวดูดซับแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (La/Chi/PVA)

3.1 ละลายไคโตซาน 5 กรัม ในสารละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาปั่นกวนและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารละลายไคโตซาน

3.2 นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่า ด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้สารละลายพอลิไวนิล แอลกอฮอล์

3.3 นำสารละลายไคโตซานที่ได้มาผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.4 นำสารละลายผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หยดลงในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร อย่างต่อเนื่อง (เพื่อกำจัดกรดแอซิติกที่มากเกินไป) และตั้ง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเกิดตะกอนของเม็ดไคโตซาน (Chitosan Beads)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 นำเม็ดไคโตซานมากรองโดยใช้ตะแกรง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 3-4 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3.6 นำเม็ดไคโตซานเติมลงในสารละลายแลนทานัมที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักจากนั้นเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.7 เมื่อครบเวลาแล้ว ทำการกรองแยกตัวดูดซับแลนทานัมบนไคโตซานด้วยเครื่องกรองแบบ ลดความดัน และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4) การเตรียมตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Fe/Chi/PVA)

4.1 ละลายไคโตซาน 5 กรัม ในสารละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้มาปั่นกวนและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารละลายไคโตซาน

4.2 นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่า ด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะได้สารละลายพอลิไวนิล แอลกอฮอล์

4.3 นำสารละลายไคโตซานที่ได้มาผสมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากนั้นทำการ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.4 นำสารละลายผสมระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์หยดลงในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร อย่างต่อเนื่อง (เพื่อกำจัดกรดแอซิติกที่มากเกินไป) และตั้ง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.5 นำมากรองโดยใช้ตะแกรง และนำเม็ดไคโตซานที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4.6 นำเม็ดไคโตซานเติมลงในสารละลายเหล็กที่ความเข้มข้น 5 ,10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.7 เมื่อครบเวลาแล้ว ทำการกรองแยกตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานด้วยเครื่องกรองแบบลด ความดัน และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

5) การเตรียมสารละลายโครเมียม (VI)

5.1 ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมตจำนวน 2.83 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.2 ปิเปตสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) มา 50 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

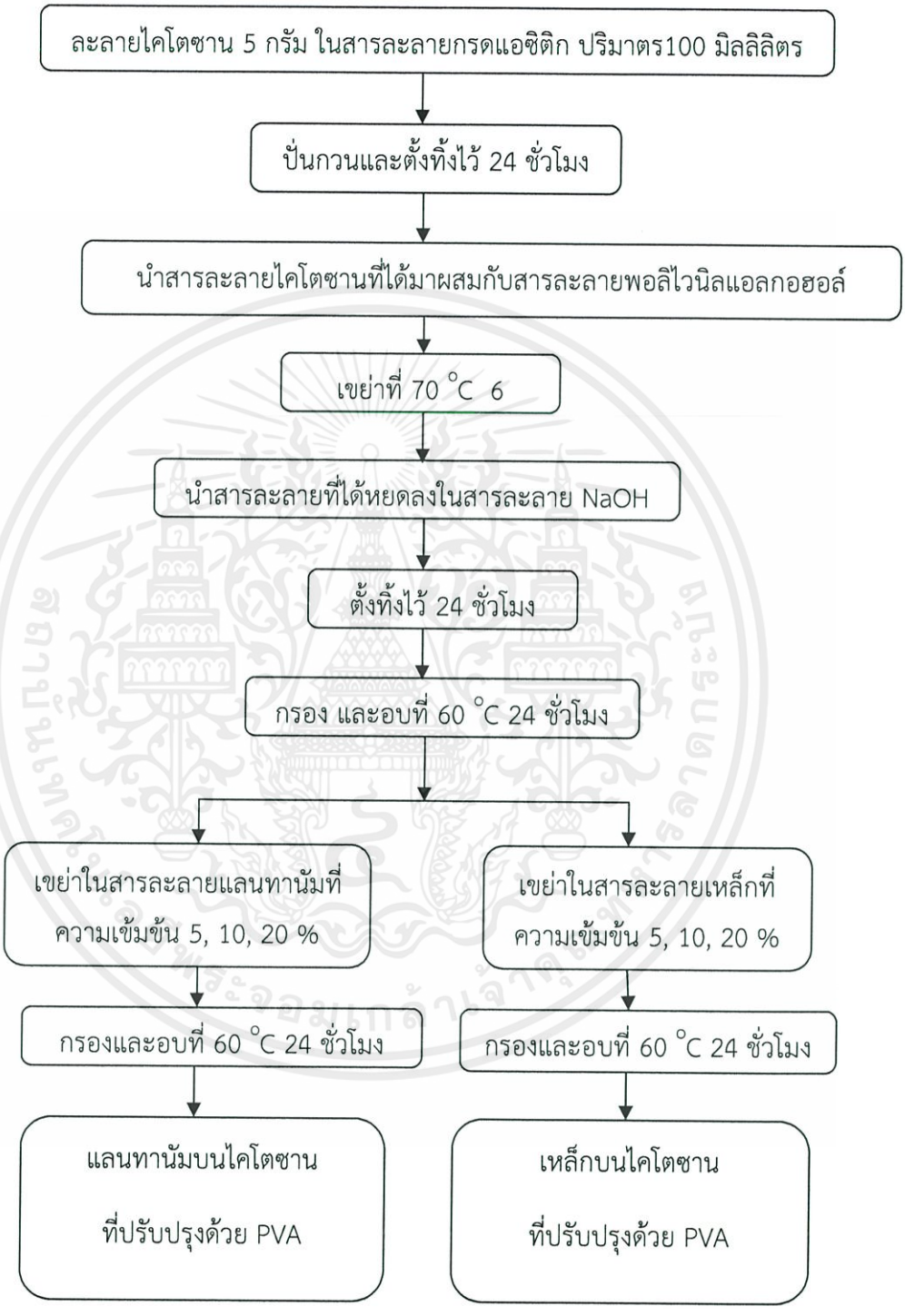
5.3 ปิเปตสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) มา 10.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

5.4 ปิเปตสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) มา 20.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 200 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

5.5 ปิเปตสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) มา 30.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้ความเข้มข้น 300 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการทดลองในการเตรียมตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** แผนผังการเตรียมตัวดูดซับโลหะทรานซิชัน (แลนทานัมและเหล็ก) บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ**

**3.3.2.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (VI)**

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียม (VI) ให้มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม (VI) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรมา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 8 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

2) เทสารละลายมาตรฐานโครเมียม (VI) แต่ละความเข้มข้นในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และปรับ pH ของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ให้มี pH 3 เนื่องจากที่ pH 3 จะเกิดการดูดซับได้ดีที่สุด [13] โดยอาศัยกระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal Indicator) ในการวัด pH

3) เติมสารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาสร้างสีเกิดโดยสมบูรณ์จากนั้นนำไปวัด %Transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลงค์

4) ทำการพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม (VI) และ %T โดยใช้กราฟ Semi-log

**3.3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ของตัวดูดซับ**

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ของตัวดูดซับแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายเหล็กและแลนทานัมที่ใช้เตรียมตัวดูดซับเป็น 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบกับไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ขั้นตอนการทดลอง เป็นดังนี้

1) เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเจือจางจากสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ pH ของสารละลายเป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2) นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มา 50 มิลลิลิตร เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และกำหนดชุดการทดลอง 7 ขวด (ขวดที่ 1-3 เป็น Fe/Chi/PVA ที่เตรียมจากความเข้มข้นของเหล็ก 5, 10, 20% ขวดที่ 4-6 เป็น La/Chi/PVA ที่เตรียมจากความเข้มข้นของแลนทานัม 5, 10, 20% และขวดที่ 7 เป็น Chi/PVA) เติมตัวดูดซับ 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำไปตั้งในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3) เมื่อครบเวลานำของผสมไปทำการกรองแบบลดความดัน นำสารละลายโครเมียม (VI) ที่ กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (VI) ด้วยวิธีสร้างสีกับไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ โดยปิเปตสารละลายโครเมียม (VI) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เติมสารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 2 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการสร้างสีอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัด %transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 7 ตัวอย่าง จากนั้นทำการเลือก La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA ที่เตรียมจากความเข้มข้นแลนทานัมและเหล็กที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด มาทำการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) และเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ

**3.3.2.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) และเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ**

1) เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครเมียม (VI) เท่ากับ 50, 100, 200, และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตรโดยเตรียมจากสารละลายโครเมียม (VI) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ปรับ pH ของน้ำทิ้งสังเคราะห์ให้ได้เป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

3) เติมตัวอย่างน้ำทิ้งสังเคราะห์จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมตัวดูดซับที่ทำการคัดเลือกจากการทดลองใน 3.3.2.2 ปริมาณ 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำไปเขย่าในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องทำการจับเวลาเพื่อสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยทำในนาทีที่ 10, 30, 60, 90, 120, 180 และ 240

4) สุ่มตัวอย่างตามเวลาดังข้อ 3 โดยสุ่มตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร ทำการกรองสารละลายแล้วนำสารละลายที่กรองได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (VI) ที่เหลืออยู่โดยการสร้างสีกับไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ จากนั้นนำไปวัด %transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับและพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุลกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ที่สมดุลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับและนำข้อมูลไปหา ไอโซเทอมการดูดซับต่อไป

**3.3.2.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับ**

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ของตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายเหล็กที่ใช้เป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขั้นตอนการทดลอง เป็นดังนี้

1) เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) 100 มิลลิกรัม ต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเจือจางจากสารละลายสต๊อกโครเมียม (VI) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรปรับ pH ของสารละลายเป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2) นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มา 50 มิลลิลิตร เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และกำหนดชุดการทดลอง 2 ขวด เติมตัวดูดซับ 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำไปตั้งในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อครบเวลานำของผสมไปทำการกรองแบบลดความดัน นำสารละลายโครเมียม (VI) ที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (VI) ด้วยวิธีสร้างสีกับไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ โดยปิเปตสารละลายโครเมียม (VI) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เติมสารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 2 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการสร้างสีอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัด %transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับ

5) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับระหว่างที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

**3.3.2.5 การศึกษาผลของไอออนร่วมที่มีผลต่อการดูดซับ**

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของไอออนร่วมที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ของตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิแอลกอฮอล์ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายเหล็กที่ใช้เป็น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้คอปเปอร์เป็นไอออนร่วม ขั้นตอนการทดลองเป็น ดังนี้

1) เตรียมสารละลายคอปเปอร์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ 0.017กรัม ละลายในน้ำกลั่นจากนั้นเทใส่ขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2) นำน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (VI) 200 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 50 มิลลิลิตรและสารละลายคอปเปอร์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ในสารละลายผสมจะมีความเข้มข้นของโครเมียม (VI) และคอปเปอร์อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปรับ pH ของสารละลายเป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

3) เติมตัวดูดซับ (10% Fe/Chi/PVA) 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำไปตั้งในเครื่องเขย่าด้วย อัตราเร็ว 100 รอบนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

4) เมื่อครบเวลานำของผสมไปทำการกรองแบบลดความดัน นำสารละลายโครเมียม (VI) ที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (VI) ด้วยวิธีสร้างสีกับไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ โดยปิเปตสารละลายโครเมียม (VI) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เติมสารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 2 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการสร้างสีอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัด %transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

5) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับ

6) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับระหว่างการดูดซับที่มีเฉพาะไอออนของโครเมียม (VI) และการดูดซับที่มีคอปเปอร์เป็นไอออนร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโครเมียม (VI)

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2.3 มาทำการวิเคราะห์ไอโซเทอมของการดูดซับว่าเป็นแบบแลงเมียร์หรือแบบฟรุนดิช เพื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวดูดซับแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิแอลกอฮอล์และตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

### 3.3.4 การทดสอบสมบัติทางเคมีและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** การทดสอบสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา

| สมบัติที่ทดสอบ | ผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ | เครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ |
|---|---|---|
| 1. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน | ตัวดูดซับ | Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) |
| 2. ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับก่อนและหลังทำปฏิกิริยา | ตัวดูดซับ | Scanning Electron Microscope (SEM) |
| 3. วิเคราะห์โครงสร้างผลึก | ตัวดูดซับ | X-ray Diffractrometer (XRD) |
| 4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก | ตัวดูดซับ | Thermogravimetric Analysis (TGA) |
| 5. เลขไอโอดีน | ตัวดูดซับ | การดูดซับไอโอดีน |

#### 3.3.4.1 การวิเคราะห์เลขไอโอดีน (Iodine Number)

1) อบสารที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับให้แห้ง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (desiccator) หลังจากนั้นชั่งตัวดูดซับมาปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร

2) เติมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีตัวดูดซับบรรจุอยู่

3) ปิเปตสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปเขย่าเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นทำการกรองเพื่อแยกตัวดูดซับออก เก็บเฉพาะสารละลายที่กรองได้

4) ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตต่อกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนกระทั่งไม่มีสี

5) นำปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปคำนวณหาเลขไอโอดีนในหน่วยมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักเป็นกรัมของตัวดูดซับ (mg/g) จากสมการ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขไอโอดีน = $\frac{X}{M} = \frac{[A-(DF)(B)(S)]}{M}$ (3.1)

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไป (มิลลิลิตร)

M = ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)

A = [ความเข้มข้นของไอโอดีน (นอร์มัล)] x 12693.0

B = [ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)] x 126.93

DF = dilution factor = $\frac{(100+H)}{F}$

H = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% (มิลลิลิตร)

F = ปริมาตรสารละลายที่กรองได้ (มิลลิลิตร)

X/M = ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยการดูดซับด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตอนที่ 2 ศึกษาการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณโลหะทรานซิชันบนตัวดูดซับ ชนิดของตัวดูดซับ เวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) อุณหภูมิ และไอออนร่วมที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียม (VI)

## 4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

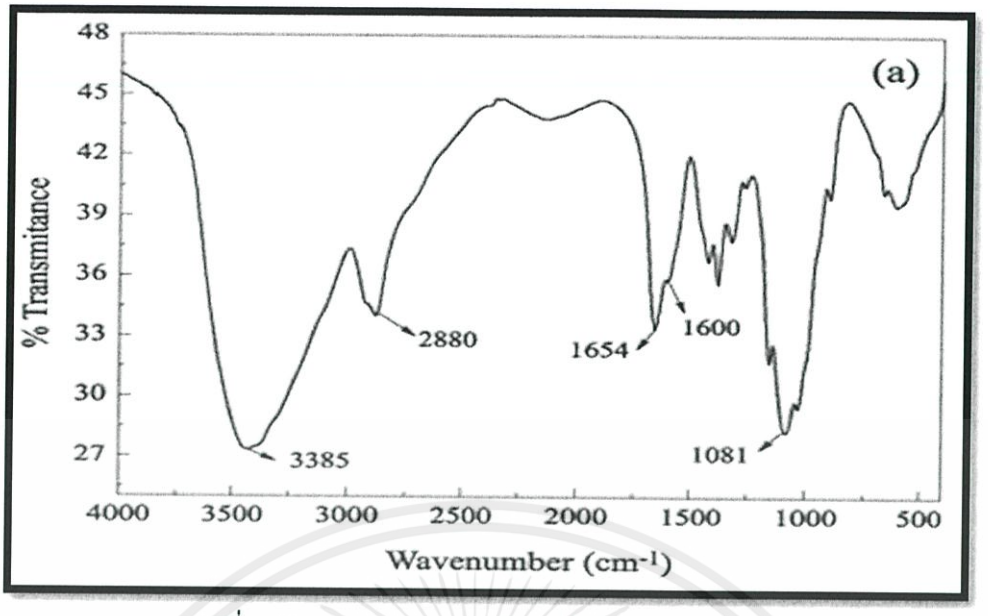
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลต่อสมบัติของเม็ดไคโตซาน ได้ทำการเตรียมเม็ดไคโตซานที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแลนทานัมและเหล็กเป็น 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดไคโตซานที่เตรียมได้

### 4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

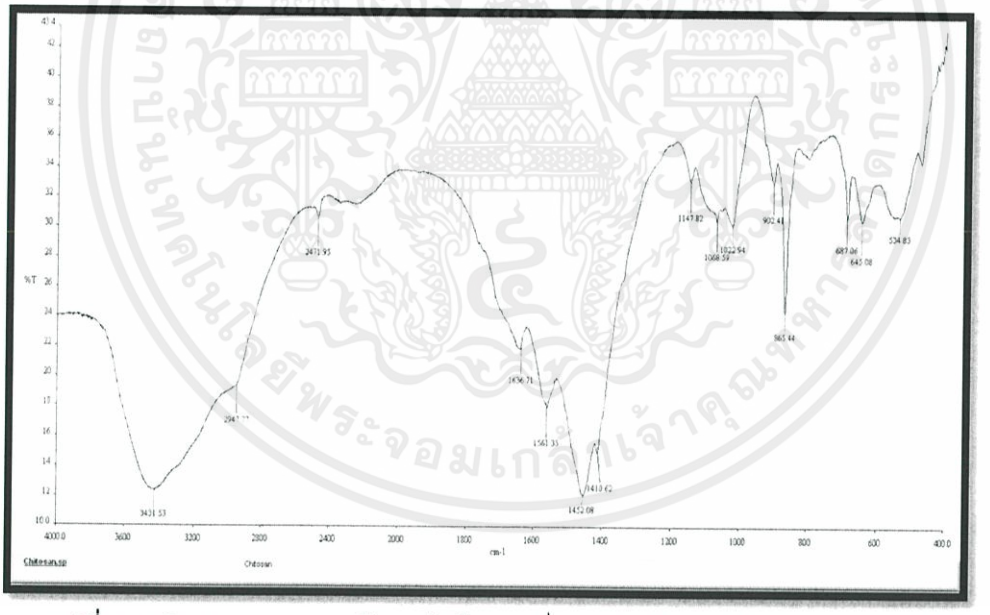
จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน โดยจะพบชนิดของการสั่นที่เลขคลื่นต่างๆ ดังนี้ ที่เลขคลื่นประมาณ 3385 $cm^{-1}$ เป็นพีคของ O-H stretching และ N-H stretching ของ primary amine, เลขคลื่น 2880-2900 $cm^{-1}$ เป็นพีคของ C-H stretching, เลขคลื่น 1654 และ 1600 $cm^{-1}$ เป็นพีคของ N-H bending ของ primary amine, ที่เลขคลื่น 1081 $cm^{-1}$ เป็นพีคของ C-O-C stretching ซึ่งพีคดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างของไคโตซานซึ่งเป็นเซลลูโลสต่อกับหมู่อะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.1** อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซาน [14]

เมื่อนำไคโตซานไปปรับปรุงด้วยการเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แล้วนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน จะได้อินฟราเรดสเปกตรัม แสดงดังรูปที่ 4.2

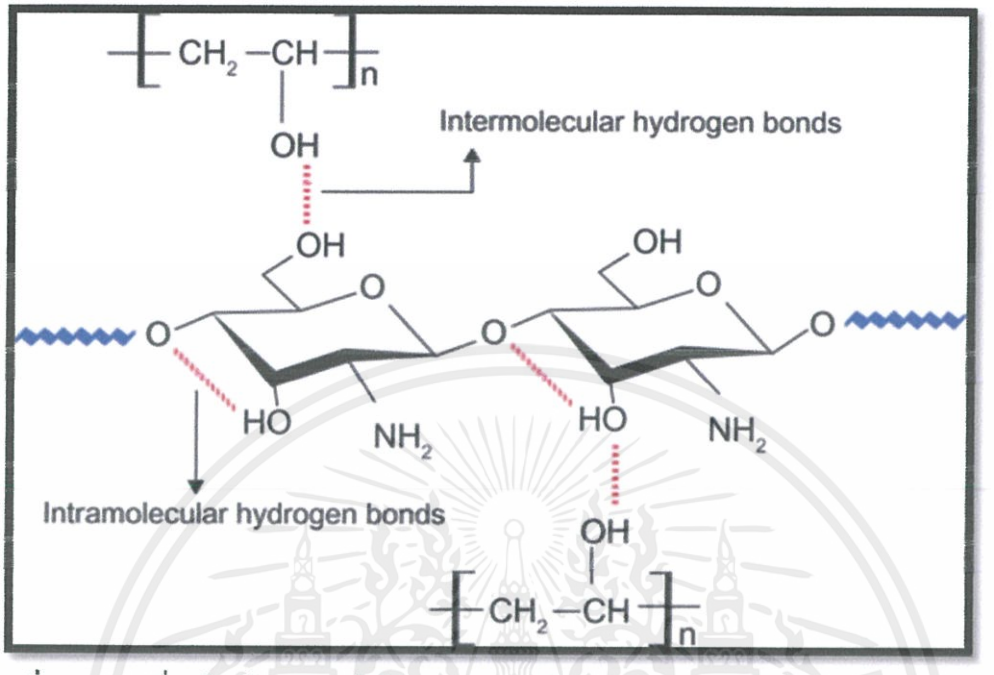



**รูปที่ 4.2** อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าพีคสำคัญๆ ที่แสดงเอกลักษณ์ของไคโตซานยังปรากฏอยู่ครบถ้วน เช่น O-H stretching และ N-H stretching ที่ 3431 $cm^{-1}$, C-H stretching ที่ 2947 $cm^{-1}$, N-H bending ที่ 1561 และ 1631 $cm^{-1}$ และ C-O-C stretching ที่ 1068 $cm^{-1}$ แต่จะพบพีคของ C-C stretching ที่เลขคลื่น 865 $cm^{-1}$ เพิ่มขึ้นมา ซึ่งพีคที่ปรากฏขึ้นใหม่นี้เป็นพีคเอกลักษณ์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพบอีกว่าที่เลขคลื่น 3431 $cm^{-1}$ พีคของ O-H stretching จะมีความกว้าง (broad) มากขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงดึงดูดขึ้นบริเวณหมู่ O-H ของไคโตซานและ

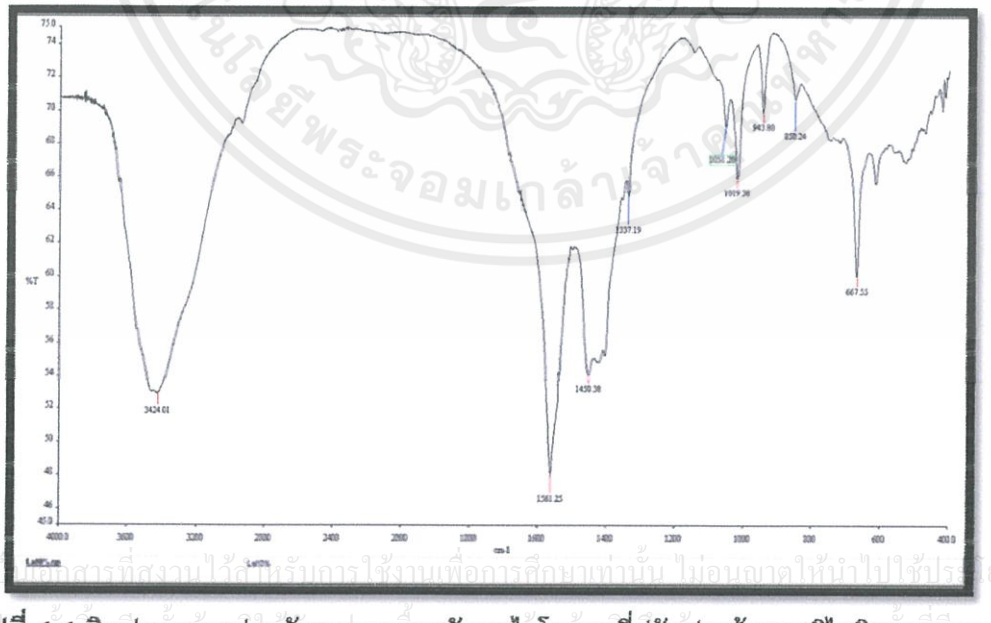
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นั่นคือพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นโครงสร้างของไคโตซานที่เกิดพันธะไฮโดรเจนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.3




**รูปที่ 4.3** การเชื่อมโยงด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [14]

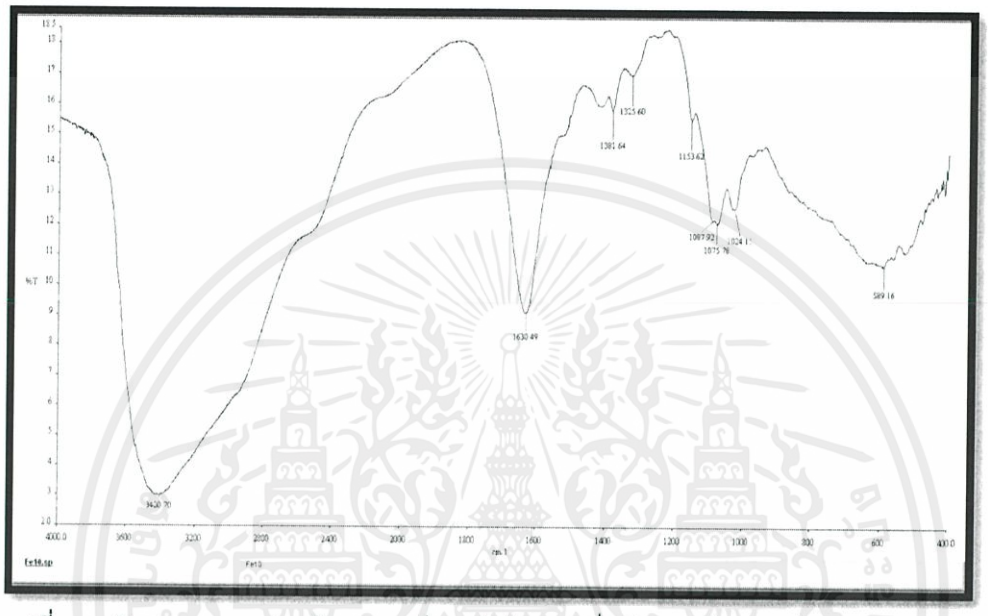
สำหรับตัวดูดซับแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน อินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ




**รูปที่ 4.4** อินฟราเรดสเปกตรัมของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (รูปที่ 4.4) พบว่า มีความคล้ายคลึงกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (รูปที่ 4.2) ยกเว้นที่บริเวณเลขคลื่น 1631 $cm^{-1}$ จะไม่ปรากฏพีคของ N-H bending ของ primary amine ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากไอออนของแลนทานัม ($La^{3+}$) เกิดพันธะกับหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไคโตซาน ซึ่งหมู่ $-NH_2$ นี้มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว จึงสามารถเป็นลิแกนด์ในการให้อิเล็กตรอนกับ $La^{3+}$ และเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ได้ [15]

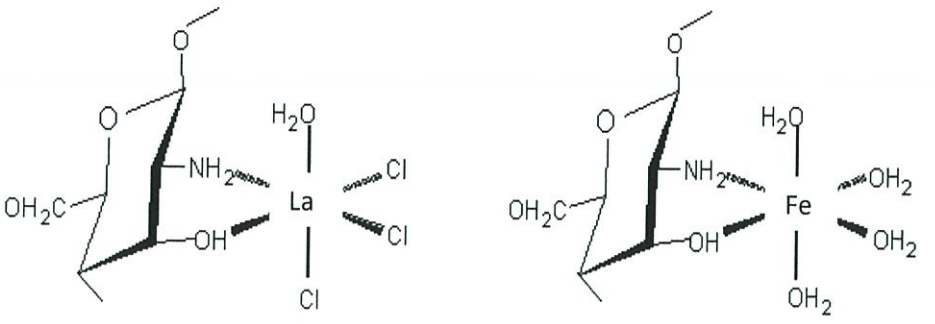



**รูปที่ 4.5** อินฟราเรดสเปกตรัมของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (รูปที่ 4.5) พบว่า พีคมีลักษณะคล้ายคลึงกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เช่นกัน ยกเว้นที่บริเวณเลขคลื่น 1561 $cm^{-1}$ จะไม่ปรากฏพีคของ N-H bending ของ primary amine ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง $Fe^{3+}$ และ $-NH_2$ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นลิแกนด์ [16]

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าทั้ง $La^{3+}$ และ $Fe^{3+}$ เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไคโตซาน โดยมีลิแกนด์คือ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ไม่ได้เชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่ง $Fe^{3+}$ และ $La^{3+}$ มีเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 6 จึงสามารถสร้างพันธะกับลิแกนด์ได้ถึง 6 พันธะ แสดงดังรูปที่ 4.6 [17, 18]

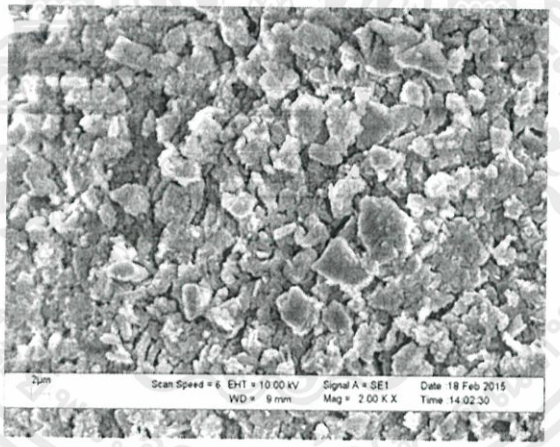
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.6** (ก) โครงสร้างของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์
(ข) โครงสร้างของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

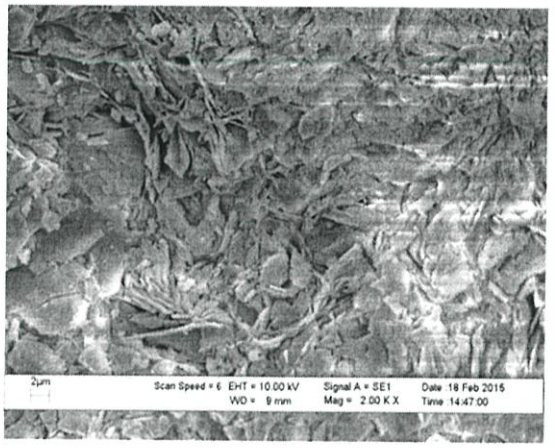
### 4.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นของแลนทานัมและเหล็กเป็น 5%, 10% และ 20% ก่อนการดูดซับ และ 5% หลังการดูดซับ จะถูกนำไปศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 2000 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.7

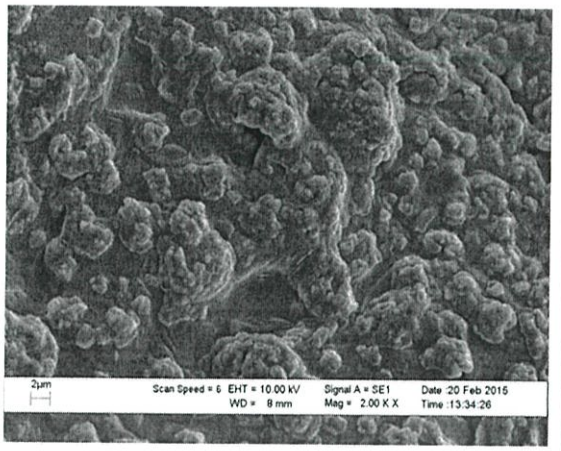



(ก) Chi/PVA ก่อนดูดซับ

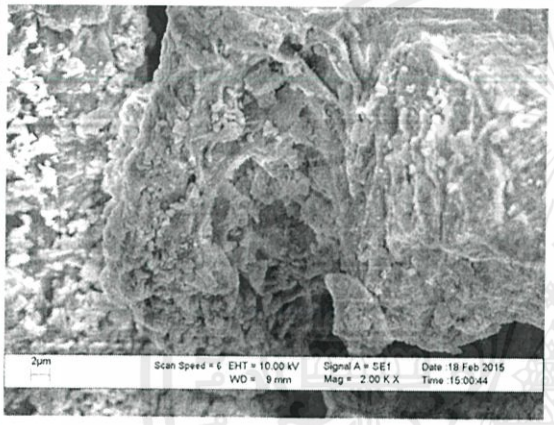
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



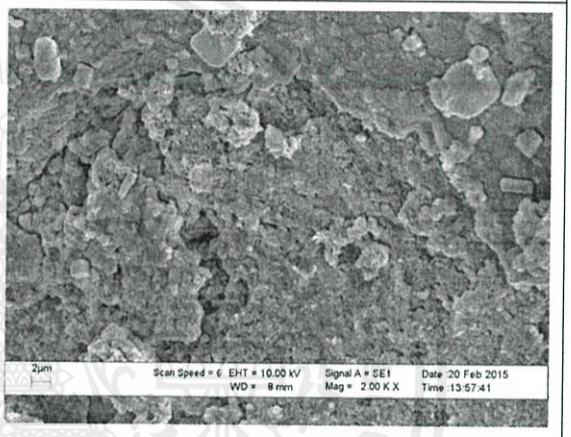

(ข) 5% La/Chi/PVA ก่อนดูดซับ



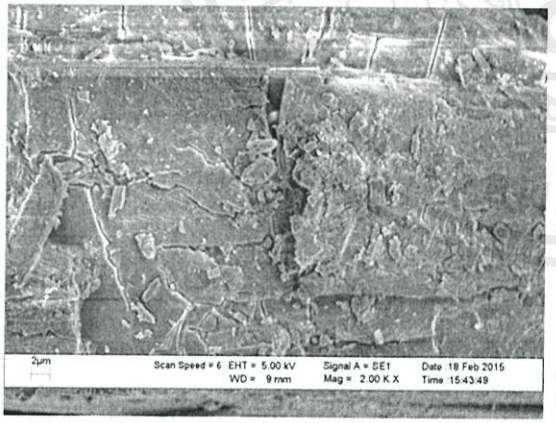

(ค) 5% Fe/Chi/PVA ก่อนดูดซับ



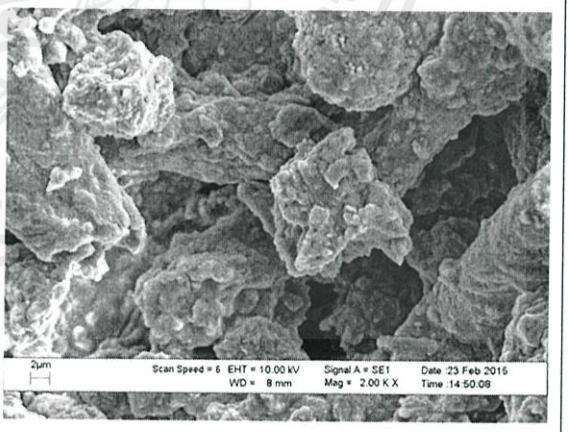

(ง) 10% La/Chi/PVA ก่อนดูดซับ




(จ) 10% Fe/Chi/PVA ก่อนดูดซับ

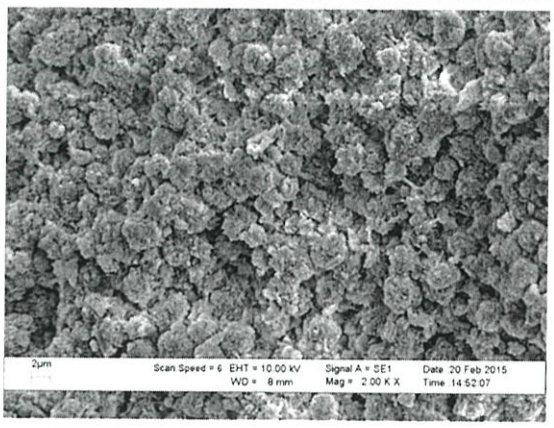



(ฉ) 20% La/Chi/PVA ก่อนดูด

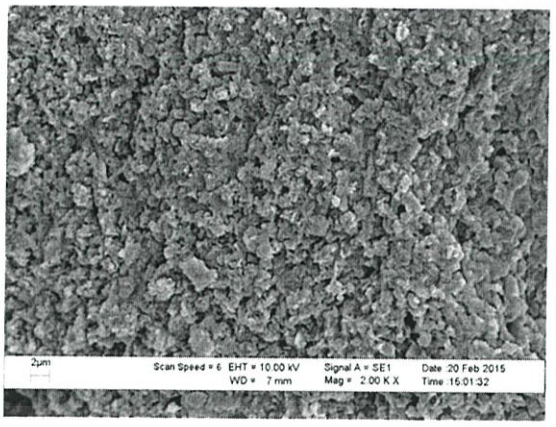



(ช) 20% La/Chi/PVA หลังดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(ซ) 5% La/Chi/PVA หลังดูดซับ




(ฌ) 10% Fe/Chi/PVA หลังดูดซับ

**รูปที่ 4.7** ลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วย PVA, La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA ที่สภาวะต่างๆ

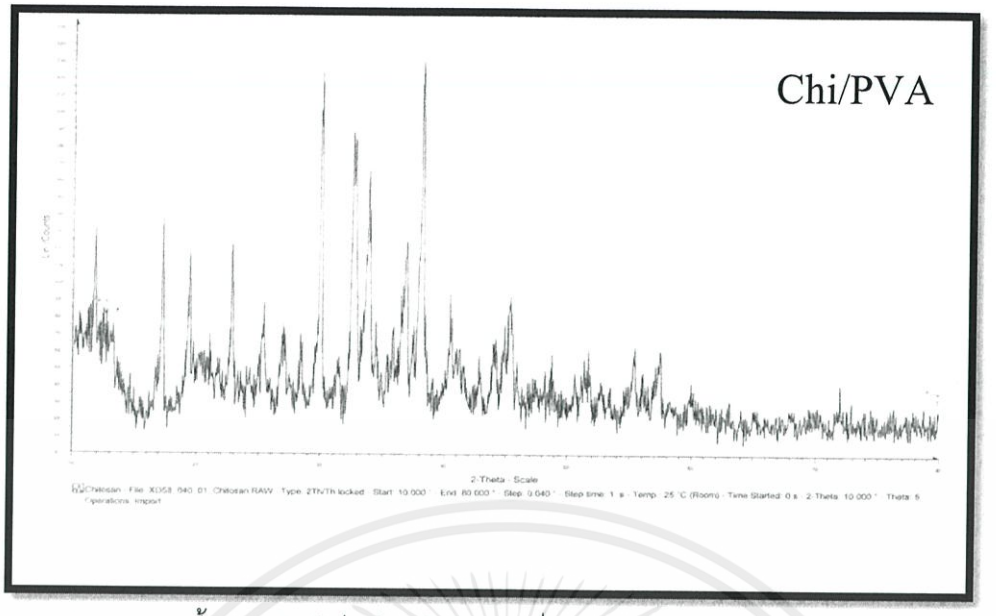
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อนำไปปรับปรุงโครงสร้างด้วยเหล็กและแลนทานัม พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการเกาะตัวของแลนทานัมอะซิเตต และเหล็กคลอไรด์บนพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยเมื่อปริมาณของแลนทานัมและเหล็กเพิ่มขึ้น พื้นผิวมีแนวโน้มที่จะเรียบขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) – 4.7 (ข)

เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของ 5% La/Chi/PVA ก่อนและหลังการดูดซับ (รูปที่ 4.7 (ข) และ 4.7 (ซ)) จะเห็นได้ว่าก่อนการดูดซับพื้นผิวของ 5% La/Chi/PVA มีลักษณะเรียบกว่าหลังการดูดซับ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีแลนทานัมบางส่วนที่เกาะบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หลุดออกไปในขณะทำการดูดซับ ซึ่งลักษณะพื้นผิวของ 5% Fe/Chi/PVA ก่อนและหลังการดูดซับ (รูปที่ 4.7 (ค) และ 4.7 (ฌ)) ก็เป็นในลักษณะทำนองเดียวกัน

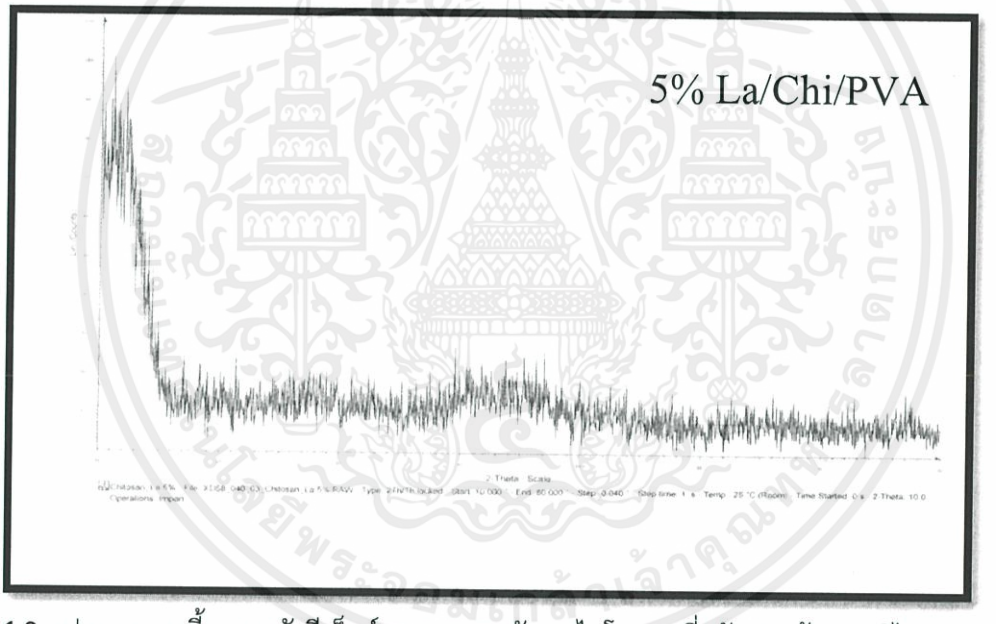
### 4.1.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยเทคนิคการวัดค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometry)

ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากไคโตซานทั้ง 3 ชนิด จะถูกนำไปศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โครงสร้างผลึกของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.8 - 4.10 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

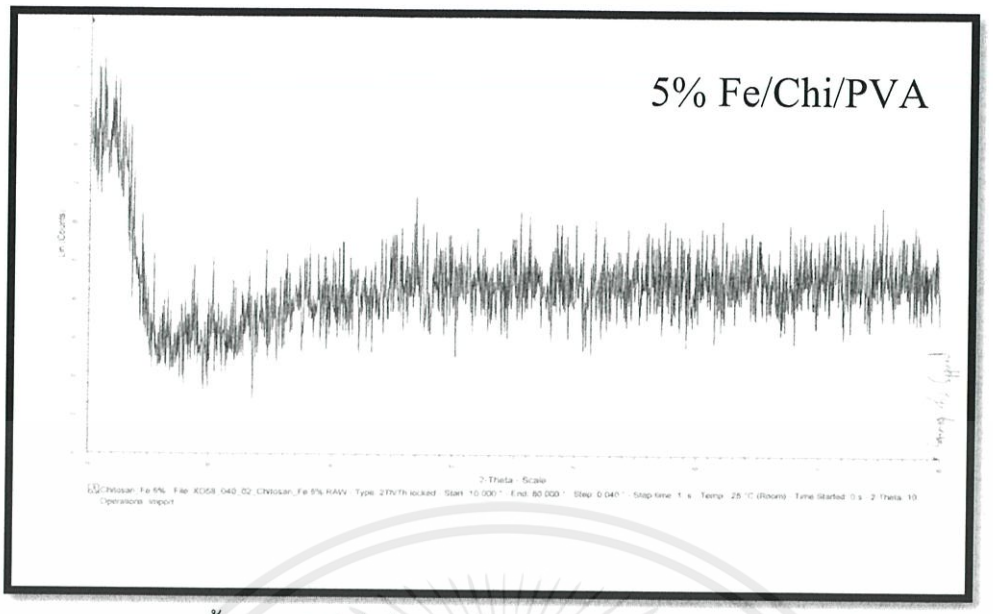



**รูปที่** 4.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์




**รูปที่** 4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



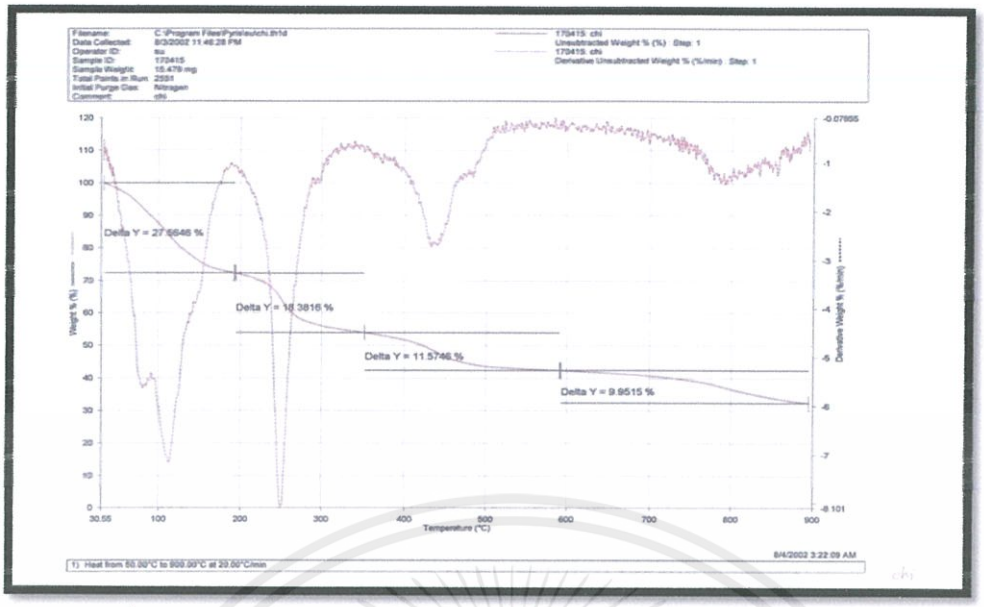

**รูปที่ 4.10** รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

จากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.8-4.10 จะสังเกตได้ว่าไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีโครงสร้างเป็นแบบผลึก และเมื่อมีการเติมแลนทานัมและเหล็กลงไปสังเกตได้ว่า La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA จะมีโครงสร้างที่เป็นแบบอสัณฐาน

**4.1.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)**

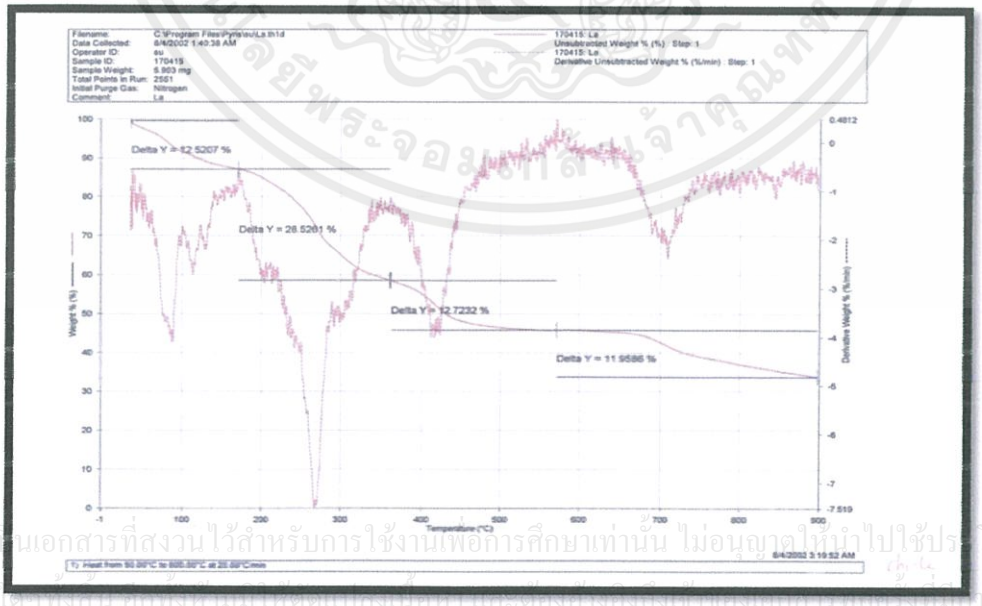
ไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์การสลายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่าง เทอร์โมแกรมของตัวอย่างทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.11-4.13 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



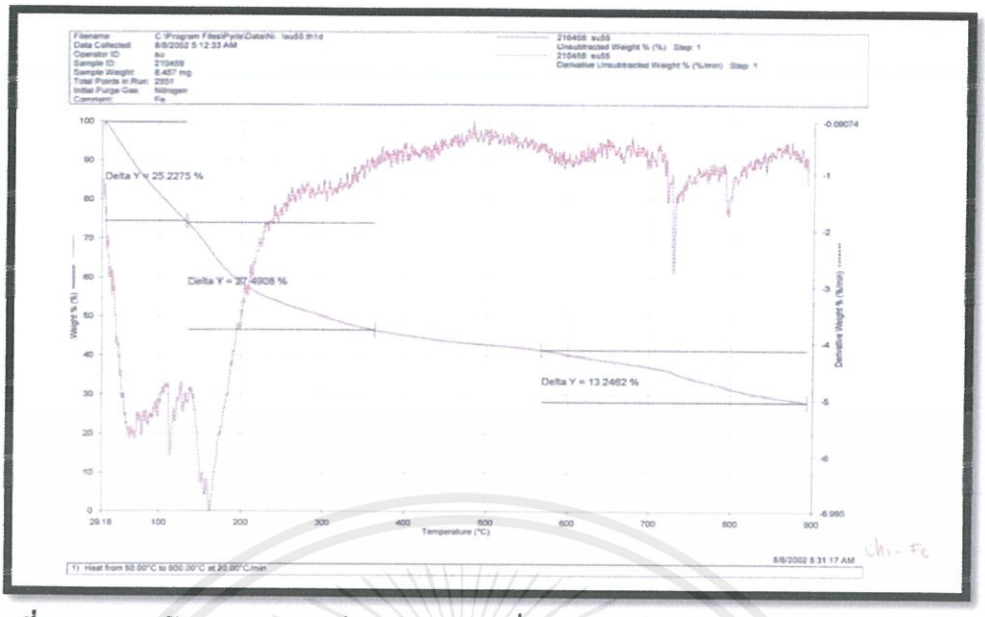

**รูปที่ 4.11** เทอร์โมแกรมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

รูปที่ 4.11 แสดงเทอร์โมแกรมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Chi/PVA) โดยจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนการสลายตัว 4 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีการลดลงของน้ำหนักสารอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องสูงถึง 27.6 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ และสารที่ระเหยได้ เช่น $H_2O$ ขั้นที่สองที่อุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่มีการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ขั้นที่สามที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เกิดการขาดจากกันของ ether linkage ในสายโซ่ของไคโตซาน และขั้นสุดท้ายที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสขึ้นไปเป็นการสลายตัวด้วยความร้อนของ glucosamines ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ของไคโตซาน [20]




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.12** เทอร์โมแกรมของแลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์




**รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมของเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์**

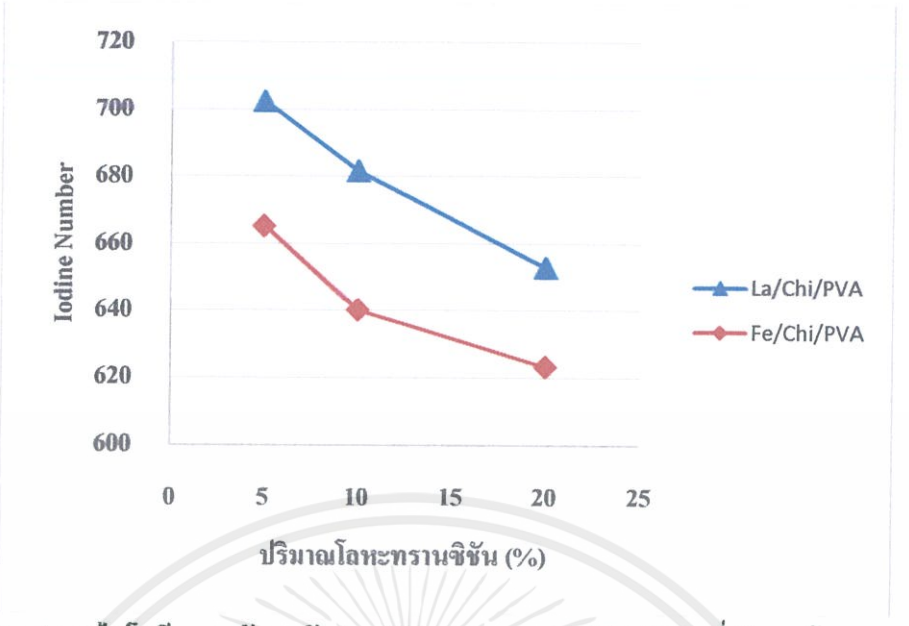
รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงเทอร์โมแกรมของ La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA ตามลำดับ สำหรับเทอร์โมแกรมของ La/Chi/PVA มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Chi/PVA นั่นคือมีการสลายตัวเป็น 4 ขั้นตอน แต่อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวในแต่ละขั้นตอนของ La/Chi/PVA จะต่ำกว่าของ Chi/PVA ตัวอย่างเช่น ในขั้นที่สอง ซึ่งเป็นการสลายตัวของ PVA สำหรับ Chi/PVA จะเริ่มสลายตัวที่ 200 องศาเซลเซียส แต่ La/Chi/PVA อุณหภูมิเริ่มสลายตัวจะต่ำกว่าคือประมาณ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งการเติมแลนทานัมเข้าไปใน Chi/PVA จะทำให้โครงสร้างของตัวดูดซับมีความเป็นอสัณฐานมากขึ้น อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวจึงต่ำกว่าโครงสร้างที่เป็นผลึก

สำหรับเทอร์โมแกรม Fe/Chi/PVA มีการสลายตัวเป็น 3 ขั้นตอน ช่วงแรกเป็นการสลายตัวของน้ำและสารอินทรีย์ ที่ช่วงอุณหภูมิ 30-140 องศาเซลเซียส ช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ช่วงอุณหภูมิ 140-360 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวในขั้นนี้ต่ำกว่าของ Chi/PVA ขั้นที่สามเป็นการขาดของ ether linkage ในสายโซ่ไคโตซานพร้อมกับการสลายตัวด้วยความร้อนของ glucosamines

### 4.1.5 การหาเลขไอโอดีน (Iodine Number)

เลขไอโอดีน เป็นค่าที่ใช้บอกความพรุนของอนุภาคของตัวดูดซับ หรือพื้นที่ผิวรวม (Total Surface Area, TSA) โดยมีหลักการคือหาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเลขไอโอดีนจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวรวมของตัวดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.14** เลขไอโอดีนของตัวดูดซับ La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA ที่ปริมาณโลหะ-ทรานซิชันต่างๆ

จากรูปที่ 4.14 เมื่อนำตัวดูดซับ La/Chi/PVA และ Fe/Chi/PVA มาวิเคราะห์หาเลขไอโอดีน พบว่า เมื่อปริมาณโลหะทรานซิชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเลขไอโอดีนมีแนวโน้มลดลง โดยตัวดูดซับ La/Chi/PVA จะมีค่าเลขไอโอดีนมากกว่าตัวดูดซับ Fe/Chi/PVA ดังนั้นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ La/Chi/PVA จึงมากกว่าของ Fe/Chi/PVA โดย 5% La/Chi/PVA มีพื้นที่ผิวสูงสุด

## 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี มีพื้นที่ผิวสูง แต่มีข้อเสียคือมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ มักจะเปื่อยยุ่ยได้ง่ายเมื่ออยู่ในสารละลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไคโตซานให้ดีขึ้นโดยการเชื่อมโยงกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นยังได้ปรับปรุงคุณสมบัติในการดูดซับให้ดีขึ้น โดยการนำแลนทานัมไอออน ($La^{3+}$) และเหล็กไอออน ($Fe^{3+}$) เข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาผลของชนิดของตัวดูดซับ ผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซาน ผลของเวลาในการดูดซับ ผลของอุณหภูมิ ผลของไอออนร่วม และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโครเมียม (VI)

### 4.2.1 ผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

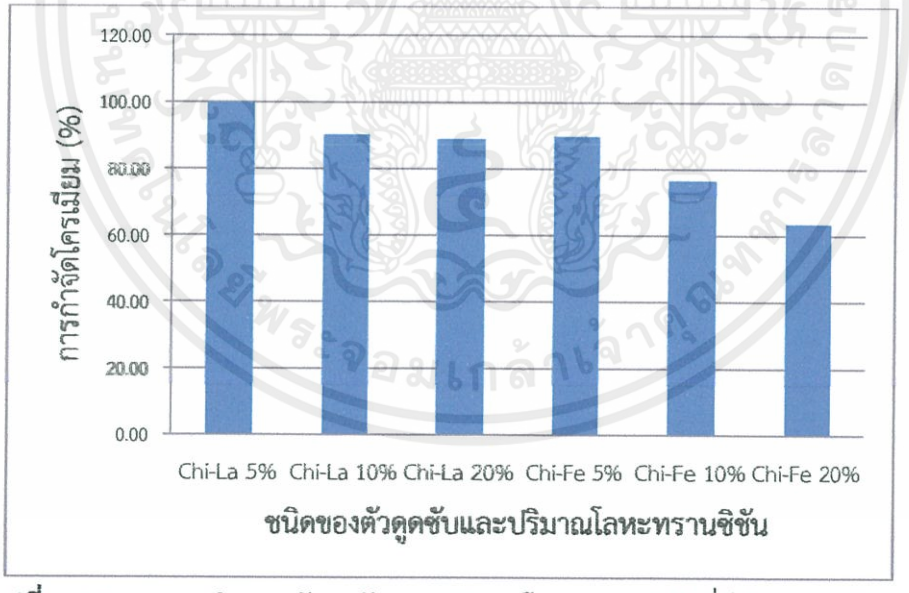
ในการศึกษาผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียม (VI) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม โดยตัวดูดซับที่ทำการศึกษาคือ La/Chi/PVA และ

Fe/Chi/PVA ที่มีปริมาณ La และ Fe 5%, 10% และ 20% ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นคงเหลือของโครเมียม (VI) และเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม (VI) แสดงดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** ผลของปริมาณแลนทานัมและเหล็กในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ความเข้มข้นโครเมียม (VI) เริ่มต้น 50 mg/L

| ชนิดของตัวดูดซับ | ปริมาณโลหะทรานซิชัน (%) | ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L) | การดูดซับโครเมียม(%) |
|---|---|---|---|
| La/Chi/PVA | 5 | 0.0522 | 99.90 |
| | 10 | 4.860 | 90.28 |
| | 20 | 5.515 | 88.97 |
| Fe/Chi/PVA | 5 | 5.056 | 89.89 |
| | 10 | 11.70 | 76.60 |
| | 20 | 18.23 | 63.55 |

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) กับปริมาณโลหะทรานซิชัน (La หรือ Fe) ในตัวดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.15




**รูปที่ 4.15** ผลของชนิดของตัวดูดซับและปริมาณโลหะทรานซิชันที่มีต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L

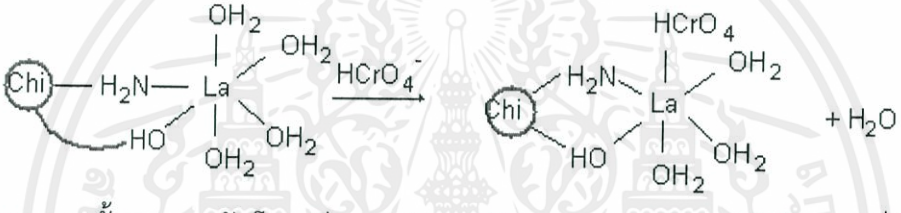
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ La/Chi/PVA ที่ปริมาณ La 5% ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) สูงกว่าที่ปริมาณ La 10% และ 20% โดย 5% La/Chi/PVA สามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้ถึง 99.90% เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เป็น 50 mg/L สำหรับ

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่าวัตถุประสงค์... ใช้

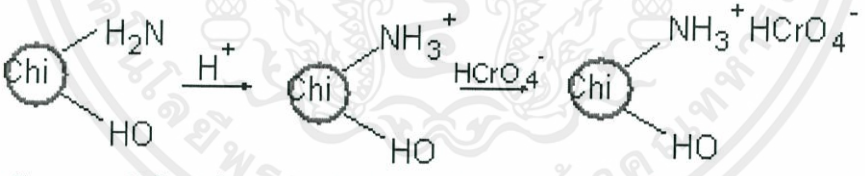
ตัวดูดซับ Fe/Chi/PVA ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ La/Chi/PVA นั่นคือที่ปริมาณ Fe 5% สามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้สูงกว่าที่ปริมาณ Fe 10% และ 20% โดยกำจัดได้ถึง 89.89%

การที่ La/Chi/PVA ซึ่งมีปริมาณ La 5% ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) สูงสุด อาจเป็นเพราะ 5% La/Chi/PVA มีพื้นที่ผิวมากกว่า 10% La/Chi/PVA และ 20% La/Chi/PVA ซึ่งจะเห็นได้จากภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 4.7 ยิ่งเพิ่มปริมาณแลนทานัมมากขึ้น พื้นผิวของ Chi/PVA ก็จะหนาตัวขึ้น อาจทำให้พื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ลดลง สำหรับการดูดซับ 5% Fe/Chi/PVA ก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

ลักษณะกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น คาดว่าน่าจะเป็นการแทนที่ลิแกนด์ สำหรับตัวดูดซับ La/Chi/PVA นั้น $La^{3+}$ จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ $-NH_2$ และ $-OH$ ของไคโตซาน นอกจากนั้นก็จะมีโมเลกุลของน้ำ ($H_2O$) ซึ่งจัดว่าเป็นลิแกนด์ชนิดเข้ามาสร้างพันธะกับ $La^{3+}$ ด้วย (รูปที่ 4.6 (ข)) ในสภาวะของการดูดซับที่ pH 3 โครเมียม (VI) จะอยู่ในรูปของ $HCrO_4^-$ [19] ซึ่งสามารถเข้าแทนที่ $H_2O$ และเกิดแรงดึงดูดระหว่าง $La^{3+}$ กับ $HCrO_4^-$ ได้ ดังกลไกการดูดซับข้างล่างนี้




นอกจากนั้นการดูดซับโครเมียม (VI) อาจเกิดจากหมู่อะมิโนของไคโตซานที่ไม่ได้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ $La^{3+}$ จะถูกโปรโตเนต (protonated) ในสภาวะกรดกลายเป็น $NH_3^+$ ซึ่งสามารถดูดซับกับ $HCrO_4^-$ ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า ดังกลไกการดูดซับข้างล่างนี้




สำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยตัวดูดซับ Fe/Chi/PVA ก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

การที่ La/Chi/PVA สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้มากกว่า Fe/Chi/PVA อาจเนื่องมาจาก $La^{3+}$ เป็นไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่า $Fe^{3+}$ เมื่อ $La^{3+}$ เกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับลิแกนด์แล้วพันธะที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยเสถียร ดังนั้น $HCrO_4^-$ จึงเข้าแทนที่ลิแกนด์เดิมที่ล้อมรอบ $La^{3+}$ ได้ง่าย ขณะที่ $Fe^{3+}$ มีขนาดไอออนที่เล็กกว่า จึงเกิดพันธะกับลิแกนด์ที่แข็งแรง $HCrO_4^-$ จึงเข้าแทนที่ได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.2 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI)**

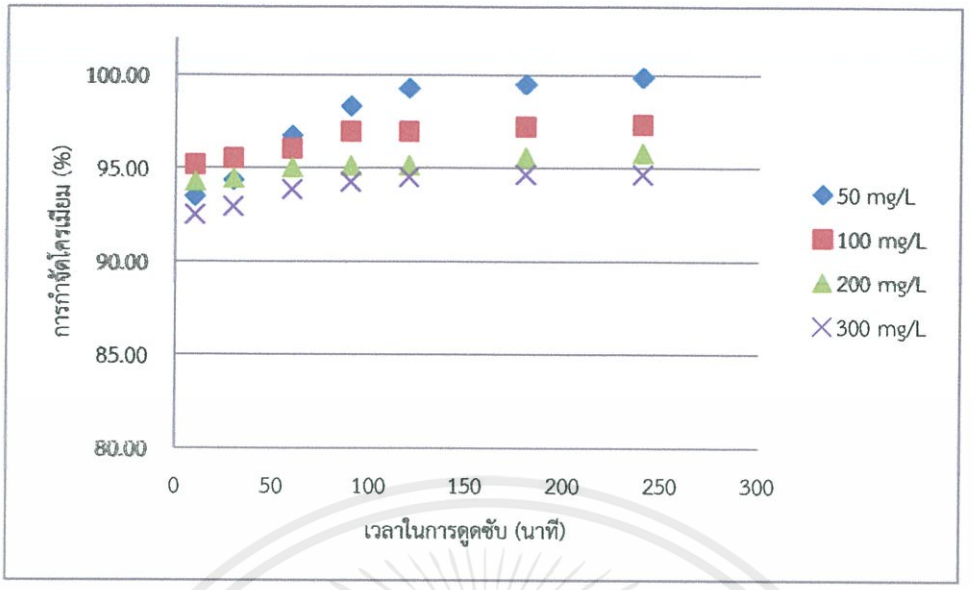
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ในการดูดซับ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียม (VI) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50, 100, 200 และ 300 mg/L ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม โดยใช้ตัวดูดซับที่ให้เปอร์เซ็นการกำจัดโครเมียม (VI) สูงสุด จากตัวอย่าง 4.2.1 นั่นคือ 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA ทำการดูดซับด้วยที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 10 ถึง 240 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** ผลของเวลาและความเข้มข้นในการดูดซับโครเมียมด้วย 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA

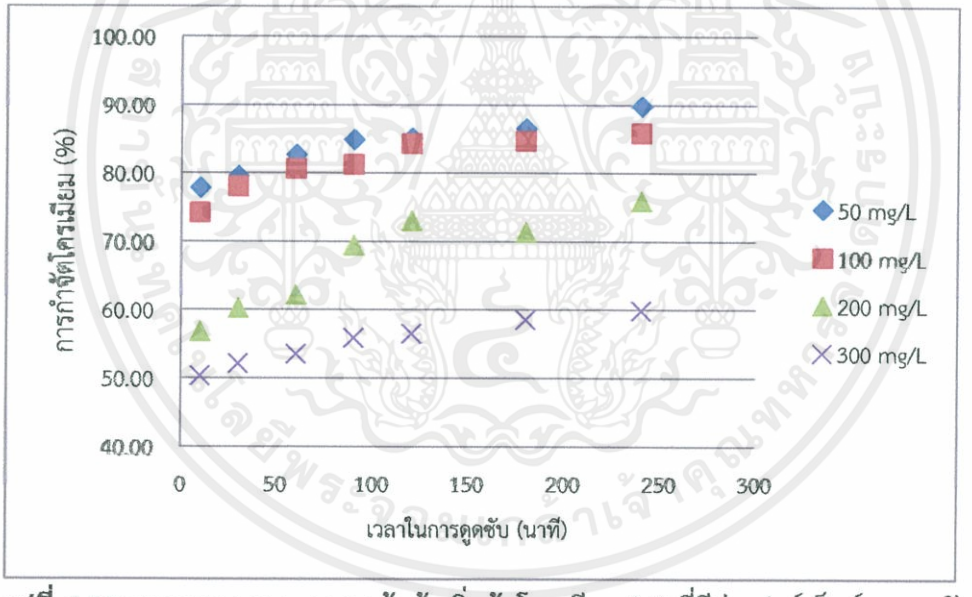
| ชนิดของตัวดูดซับ | เวลา (นาที) | ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L) | | | | การดูดซับโครเมียม(%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 50 | 100 | 200 | 300 | 50 | 100 | 200 | 300 |
| 5% La/Chi/PVA | 10 | 3.254 | 7.458 | 9.682 | 17.09 | 93.49 | 92.54 | 95.16 | 94.30 |
| | 30 | 2.813 | 7.051 | 8.978 | 16.60 | 94.37 | 92.95 | 95.51 | 94.47 |
| | 60 | 1.631 | 6.111 | 7.937 | 14.87 | 96.74 | 93.89 | 96.03 | 95.04 |
| | 90 | 0.8360 | 5.713 | 6.111 | 14.56 | 98.33 | 94.29 | 96.94 | 95.15 |
| | 120 | 0.3520 | 5.449 | 6.111 | 14.49 | 99.30 | 94.55 | 96.94 | 95.17 |
| | 180 | 0.2320 | 5.318 | 5.581 | 13.19 | 99.54 | 94.68 | 97.21 | 95.60 |
| | 240 | 0.0522 | 5.318 | 5.383 | 12.52 | 99.90 | 94.68 | 97.31 | 95.83 |
| 5% Fe/Chi/PVA | 10 | 11.05 | 25.78 | 86.13 | 148.7 | 93.49 | 74.22 | 56.94 | 50.44 |
| | 30 | 10.18 | 21.88 | 79.27 | 143.3 | 94.37 | 78.12 | 60.36 | 52.23 |
| | 60 | 8.629 | 19.31 | 75.34 | 139.1 | 96.74 | 80.69 | 62.33 | 53.64 |
| | 90 | 7.527 | 18.72 | 60.82 | 132.0 | 98.33 | 81.28 | 69.59 | 55.99 |
| | 120 | 7.390 | 15.65 | 53.67 | 130.257 | 99.30 | 84.35 | 73.17 | 56.58 |
| | 180 | 6.713 | 15.261 | 56.969 | 124.174 | 99.54 | 84.74 | 71.52 | 58.61 |
| | 240 | 5.056 | 14.101 | 47.854 | 120.123 | 99.90 | 85.90 | 76.07 | 59.96 |

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมกับเวลาในการดูดซับที่ความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) 50, 100, 200 และ 300 mg/L ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 สำหรับตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.16** ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA




**รูปที่ 4.17** ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ตัวดูดซับ 5% Fe/Chi/PVA

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 จะเห็นได้ว่าในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการดูดซับ โดยในช่วง 60 นาทีแรก ความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ในสารละลายจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย หลังจากนั้นความเข้มข้นของโครเมียม (VI) ในสารละลายจะลดลงอย่างช้าๆ และเริ่มคงที่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) คงที่ด้วย เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้น 50 mg/L โครเมียม (VI) จะถูกกำจัดได้มากกว่าที่ความเข้มข้นอื่นๆ ที่สูงกว่า (100, 200 และ 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mg/L) เนื่องจากตัวดูดซับที่ใช้ในการกำจัดโครเมียม (VI) มีปริมาณคงที่ 0.5 กรัม จึงทำให้มีพื้นที่ผิวและตำแหน่งที่ว่องไวต่อการดูดซับที่จำกัด เมื่อสารละลายมีโครเมียม (VI) ในปริมาณน้อย จึงสามารถดูดซับกับตัวดูดซับได้เกือบทั้งหมด แต่เมื่อสารละลายมีโครเมียม (VI) ในปริมาณมากขึ้น ตำแหน่งว่องไวในการดูดซับก็จะไม่เพียงพอ ทำให้เหลือความเข้มข้นโครเมียม (VI) ในสารละลายมากขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับจึงลดลง โดยจากรูปที่ 4.16 และ 4.17 ทั้งตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA สามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้มากที่สุดที่ความเข้มข้นโครเมียม (VI) เริ่มต้น 50 mg/L ซึ่งจากข้อมูลระหว่างความเข้มข้นโครเมียม (VI) ที่เหลืออยู่กับเวลาในการดูดซับจะนำไปศึกษาไอโซเทอมการดูดซับต่อไป

**4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียมด้วย 10% Fe/Chi/PVA**

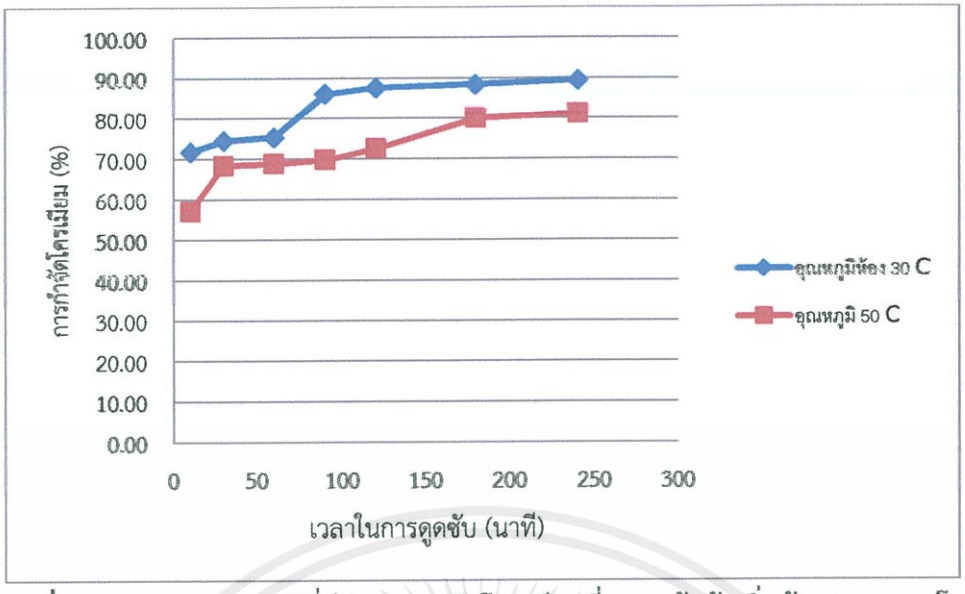
ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L ปริมาตร 50 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ 10%Fe/Chi/PVA 0.5 กรัม โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (30°C) และ 50°C ที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 10 ถึง 240 นาที หาความเข้มข้นโครเมียม (VI) ที่เหลืออยู่ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับและเปอร์เซ็นต์การดูดซับแสดงดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ผลของอุณหภูมิในการดูดซับโครเมียมด้วย 10% Fe/Chi/PVA ที่ความเข้มข้นโครเมียม (VI) เริ่มต้น 50 mg/L

| ชนิดของตัวดูดซับ | เวลา (นาที) | ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L) | | การดูดซับโครเมียม (%) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | อุณหภูมิห้อง (30°C) | 50°C | อุณหภูมิห้อง (30°C) | 50°C |
| 10% Fe /Chi/ PVA | 10 | 14.10 | 21.44 | 71.80 | 57.11 |
| | 30 | 12.74 | 15.81 | 74.52 | 68.38 |
| | 60 | 12.29 | 15.57 | 75.42 | 68.85 |
| | 90 | 6.916 | 15.10 | 86.17 | 69.79 |
| | 120 | 6.178 | 13.72 | 87.64 | 72.56 |
| | 180 | 5.779 | 9.966 | 88.44 | 80.07 |
| | 240 | 5.252 | 9.399 | 89.50 | 81.20 |

นำผลการทดลองในตาราง 4.3 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม (VI) กับเวลาในการดูดซับ โดยเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 50°C แสดงดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.18** ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L โดย 10% Fe/Chi/PVA

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 10% Fe/Chi/PVA ที่อุณหภูมิห้องสามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้มากกว่า 10% Fe/Chi/PVA ที่อุณหภูมิ 50°C โดยการที่อุณหภูมิห้องสามารถกำจัดโครเมียม (VI) ได้สูงสุด 89.50 % ส่วนที่อุณหภูมิ 50°C กำจัดโครเมียม (VI) ได้ 81.20 % เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของโครเมียมไอออน ($HCrO_4^-$) ก็จะมีพลังงานจลน์สูงขึ้น ซึ่งอาจจะเข้าไปแทนที่ลิแกนด์ที่สร้างพันธะ $Fe^{3+}$ ได้ยากขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงจึงเป็นสภาวะที่กำจัดโครเมียม (VI) ได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

### 4.2.4 ผลของไอออนรบกวนที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 10% Fe/Chi/PVA

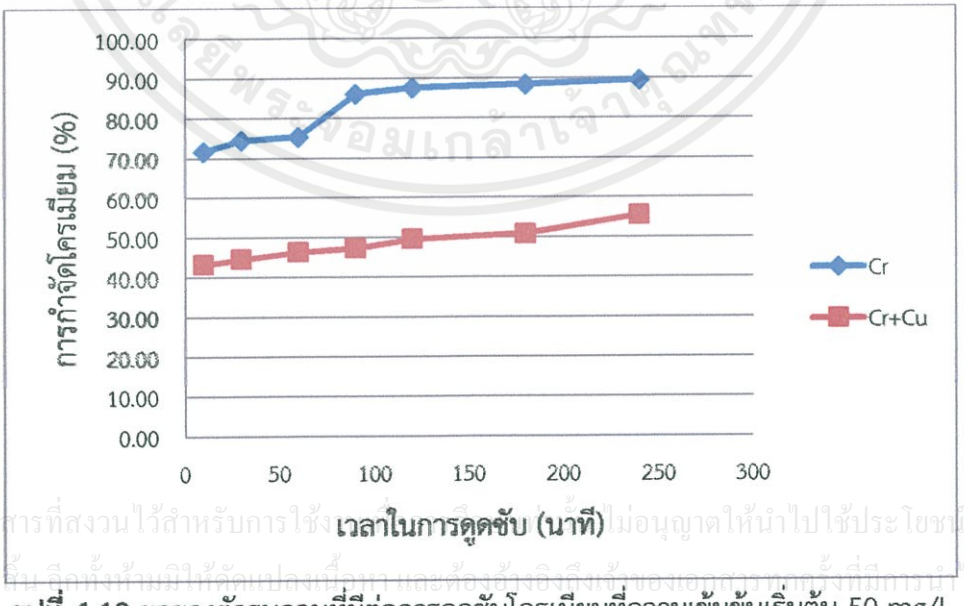
ในการศึกษาผลของไอออนรบกวนในการดูดซับ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียม (VI) ที่มีความเข้มข้มเริ่มต้น 50 mg/L ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายคอปเปอร์ที่มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากัน ค่า pH เท่ากับ 3 ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 10% Fe/Chi/PVA 0.5 กรัม โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 10 ถึง 240 นาที ปริมาณโครเมียม (VI) ที่เหลืออยู่และเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ผลของไอออนรบกวน ($Cu^{2+}$) ในการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 10% Fe/Chi/PVA ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม (VI) เท่ากับ 50 mg/L

| ชนิดของตัวดูดซับ | เวลา (นาที) | ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L) | | การดูดซับโครเมียม (%) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ไม่มีไอออนรบกวน | มีไอออนรบกวน ($Cu^{2+}$) | ไม่มีไอออนรบกวน | มีไอออนรบกวน ($Cu^{2+}$) |
| 10% Chi/Fe/PVA | 10 | 14.10 | 28.37 | 71.80 | 43.25 |
| | 30 | 12.74 | 27.69 | 74.52 | 44.62 |
| | 60 | 12.29 | 26.82 | 75.42 | 46.35 |
| | 90 | 6.916 | 26.35 | 86.17 | 47.31 |
| | 120 | 6.178 | 25.22 | 87.64 | 49.56 |
| | 180 | 5.779 | 24.57 | 88.44 | 50.85 |
| | 240 | 5.252 | 22.23 | 89.50 | 55.54 |

นำผลการทดลองในตาราง 4.4 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดโครเมียม (VI) กับเวลาในการดูดซับโครเมียมด้วย 10% Fe/Chi/PVA ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L โดยเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโครเมียม (VI) อย่างเดียว (ไม่มีไอออนรบกวน) และสารละลายโครเมียม (VI) ผสมคอปเปอร์ ($Cu^{2+}$) มีไอออนรบกวน แสดงดังรูป 4.19



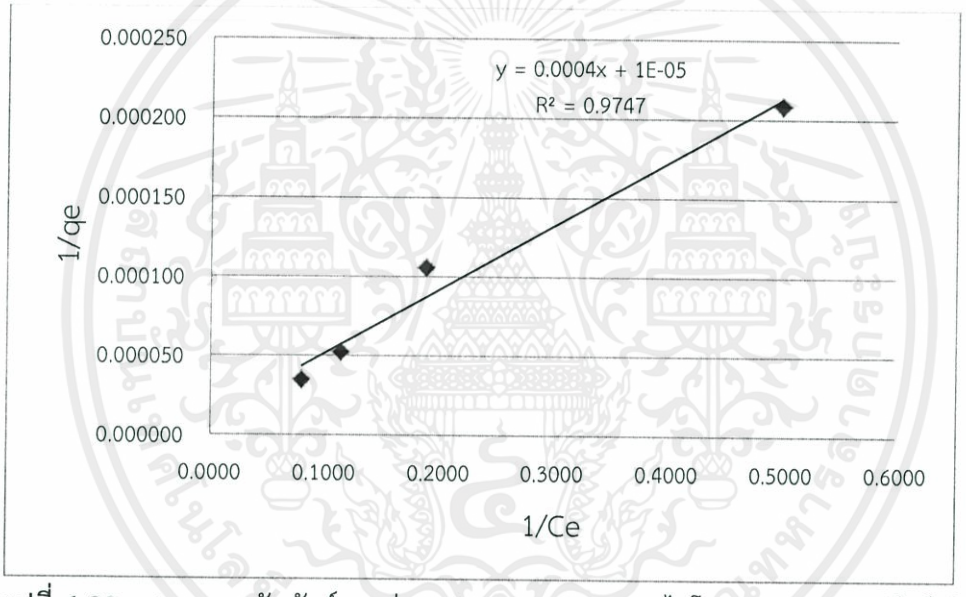

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.19** ผลของตัวรบกวนที่มีต่อการดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 mg/L โดย 10% Fe/Chi/PVA

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีไอออนของคอปเปอร์ ผสมอยู่ในสารละลายโครเมียม (VI) จะทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) ลดลงจาก 89.90 % เป็น 55.54 % ที่เวลา 240 นาที เนื่องจากที่ pH 3 โครเมียมในสารละลายจะอยู่ในรูป $HCrO_4^-$ ซึ่งมีประจุลบขณะที่ในสารละลายมี $Cu^{2+}$ ร่วมอยู่ด้วย ดังนั้น $Cu^{2+}$ อาจขัดขวางการเคลื่อนที่ของ $HCrO_4^-$ ไปยังตำแหน่งว่องไวต่อการดูดซับ โดยอาจเกิดแรงดึงดูดทางประจุไฟฟ้าระหว่าง $Cu^{2+}$ และ $HCrO_4^-$ ขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม (VI) ลดลง

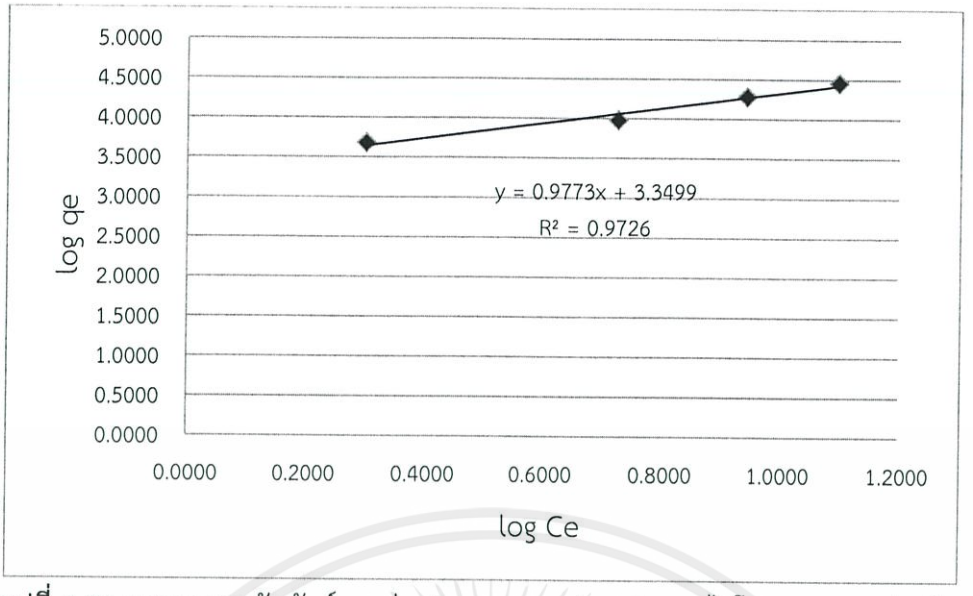
## 4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ

ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ ทำได้โดยใช้ตัวดูดซับที่มีความเข้มข้น 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดมาทำการดูดซับโครเมียม (VI) ที่มีความเข้มข้นและเวลาต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่สภาวะสมดุลมาหาไอโซเทอมการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์หรือแบบฟรุนดิช ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.20 – 4.23



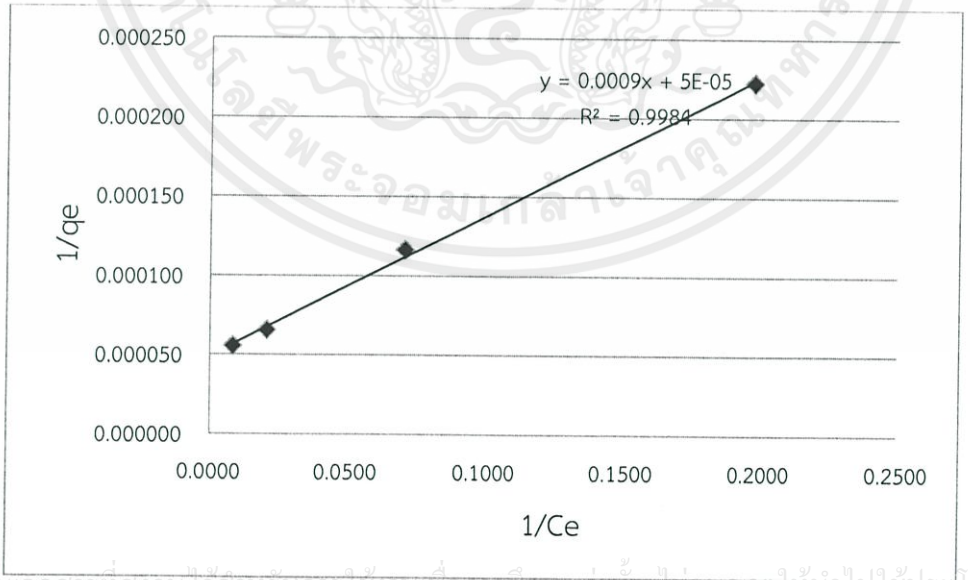

**รูปที่ 4.20** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 5% La/Chi/PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



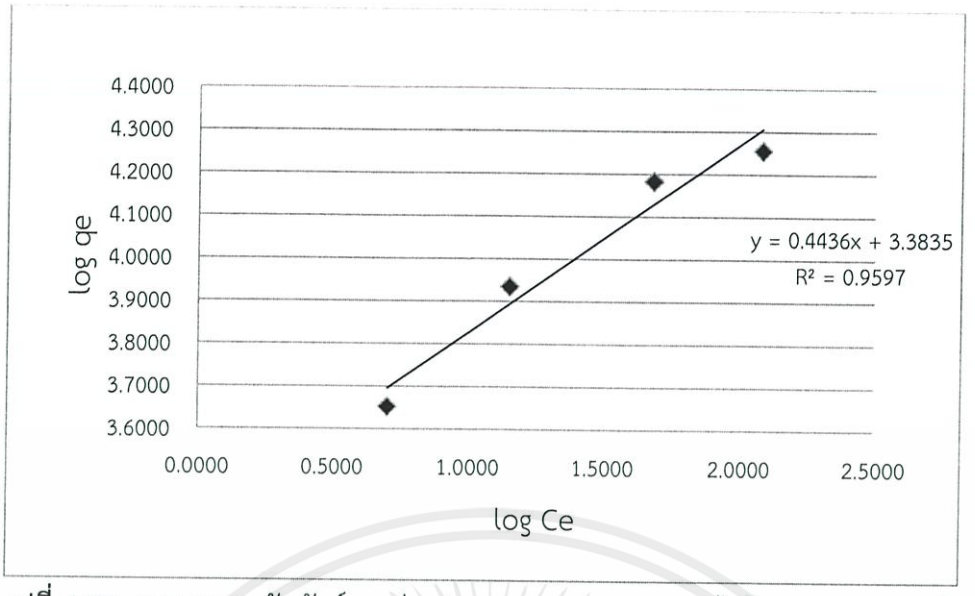

**รูปที่ 4.21** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log $q_e$ และ log $C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช สำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 5% La/Chi/PVA

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ตัวดูดซับเข้มข้น 5% La/Chi/PVA ซึ่งความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์จะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, $R^2$) เท่ากับ 0.9747 สำหรับความสัมพันธ์แบบฟรุนดิชจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9726 ซึ่งพบว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า ไอโซเทอมแบบฟรุนดิช ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับโครเมียม (VI) 5% La/Chi/PVA มีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช




**รูปที่ 4.22** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 5% Fe/Chi/PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.23** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log $q_e$ และ log $C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช สำหรับการดูดซับโครเมียม (VI) ด้วย 5% Fe /Chi/PVA

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของการดูดซับโครเมียม (VI) โดยใช้ตัวดูดซับเข้มข้น 5% Fe/Chi/PVA ซึ่งความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์จะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, $R^2$) เท่ากับ 0.9984 สำหรับความสัมพันธ์แบบฟรุนดิชจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9597 ซึ่งพบว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับโครเมียม (VI) 5% Fe/Chi/PVA มีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช
250 มิลลิกรัม ในอะซีโตน 50 มิลลิกรัม เก็บในขวดสีชาควรทิ้งเมื่อสารละลายเปลี่ยนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ รวมถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (VI) สามารถสรุปได้ดังนี้

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาปริมาณของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ที่ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าปริมาณของ แลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 5% มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) สูงสุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเท่ากับ 99.90 สำหรับ ตัวดูดซับเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณเหล็ก 5% มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) สูงสุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด เท่ากับ 89.89 ซึ่งจะเห็นได้ว่า แลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) ดีกว่าเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2) จากการศึกษาปริมาณและเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโครเมียม (VI) พบว่าที่ปริมาณ 5% ของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถดูดซับโครเมียม (VI) ได้สูงสุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที

3) จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิห้องมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) สูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4) จากการศึกษาผลของไอออนร่วม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) จะลดลงเมื่อมีไอออนอื่นร่วมด้วย

5) การดูดซับโครเมียม (VI) ด้วยตัวดูดซับแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สอดคล้องกับไอโซเทอมของแลงเมียร์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น เช่น ตะกั่ว แคดเมียม

2) ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับ เช่น ความเร็วรอบในการเขย่า ปริมาณตัวดูดซับ และไอออนร่วมชนิดอื่นๆ

3) ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับของแลนทานัมและเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการกำจัดโครเมียม (VI) ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


[1] **Advantage of Chromium**, [online]. Available: http://www.siamchemi.com

[2] **ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์**, [online]. Available: http://msds.pcd.go.th/

[3] รัตนา รุจิรวนิช. 2001. **การผลิตไคตินและไคโตซาน**. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[4] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. **การผลิตไคตินและไคโตซาน.** [online]. Available:https://www.mtec.or.th/th/image/pdf/chitin-chitosan/chapter3.pdf.[5]**Lanthanum(III)acetate**. [online]. Available: https://www.wikipedia.co.th

[6] **Iron (III) chloride**. [online]. Available: https://www.wikipedia.co.th

[7] **Polyvinyl alcohol**. [online]. Available: https://www.wikipedia.co.th

[8] Robert. **The Sorbents: Chitin, Chitosan and derivatives**. [online]. Available: https://www.tdx.cesca.es/tesisupc/available/tdx-0619102-193943/05capitol3.pdf.

[9] W.S. Wan Ngah, M.A.K.M. Hanafiah, S.S. Yong. **"Adsorption of humic acid from aqueous Solutions on crosslinked chitosan-epichlorohydrin beads."** *Kinetics and isotherm studies, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2008(65) : 18-24.

[10] X.Zhang, R. Bai. 2003. **"Mechanisms and kinetics of humic acid adsorption ontochitosan-coated granules."** *J. Colloid Interface Sci.* (264) : 30-38

[11] นภสร เศียรอินทร์, ผุสดี ร้อยแก้ว และวรัญญา โคพระ. 2553. **"การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้อีพิคลอโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง."**วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[12] R.Laus, Thiago G, Bruno Szpoganicz, Valfredo T. Favere. 2010. **"Adsorption and desorption of Cu(II), Cd(II), Pb(II) ions using chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate as the adsorbent."** *Journal of Hazardous Materials*, (183) : 233-241

[13] เกวลิน ขันธ์ชัยภูมิม จุฑารัตน์ ขนไทย และจุฑารัตน์ เลิศคุณาสวรรค์. 2551. **"การศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียม(II)โดยใช้ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์."** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] E.A. El-Hefian ,M.M.Nasef and A.H.Yahaya. 2010. **"The Preparation and Characterization of Chitosan/Poly(Vinyl Alcohol) Blended Films."** *E-Journal of Chemistry* 2010. 7(4) : 1212-1219

[15] S.Jagtap, M.K. Yenkie, S.Das and S.Rayalu. 2011. **"Synthesis and Characterization of Lanthanum Impregnated Chitosan Flakes for Fluoride Removal in Water."** Desalination. (273) : 267-275

[16] C.Shen, H.Chen, S.Wu , Y.Wen , L.Li , Z.Jiang, M.Li and W.Liu. 2013. **"Highly Efficient Detoxification of Cr(VI) by Chitosan-Fe(III)Complex : Process and Mechanism Studies."** *J.ofHazardous Materials.* : 689-697

[17] R.B.Hernandez, A.P.Franco, O.R. Yola, A.L.Delgado, J.Felcman, M.A.L.Recio and A.L.R.Merce. 2008. **"Coordination Study of Chitosan and $Fe^{3+}$."** *J.of Molecular Structure.* (877) : 89-99

[18] S.P.Kamble, S.Jagtap, N.K.Labhsetwar, D.Thakave, S.Godfrey, S.Devotta and S.R.Rayalu. 2007. **"Defluoridation of Drinking Water Using Chitin, Chitosan andLanthanum-Modified Chitosan."** *Chemical Engineering Journal.* (129) : 173-180

[19] N.K.Hamadi, X.D.Chen, M.M. Farid and M.G.Q.Lu . 2001. **"Adsorption Kinetics for The Removal of Chromium(VI) from Aqueous Solution by Adsorbents Derived from Used Tyres and Sawdust."** *Chemical Engineering Journal.* (84) : 95-105

[20] R.Ramya, P.N.Sudha, Dr.J.Mahalakshmi. 2012. **"Preparation and Characterization of Chitosan Binary Blend."** *International Journal of Scientific and Research Publications.* (2) : 1-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.
## การวิเคราะห์เลขไอโอดีน

### 1. การเตรียมสารละลายเพื่อวัดค่า Iodine number

1) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนัก

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 67.6 มิลลิลิตร ใส่ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

2) เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (0.01 โมลต่อลิตร)

ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$ ) 24.82 กรัม ในน้ำกลั่น จากนั้นเติม 0.1กรัม ของโซเดียมคาร์บอเนต ($Na_2CO_3$) ปรับปริมาตรให้เป็น 1ลิตร

3) เตรียมสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (0.1 โมลต่อลิตร)

ชั่งไอโอดีน($I_2$) 12.7 กรัมและโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ใส่ลงในบีกเกอร์เติมน้ำ 5 มิลลิลิตร แล้วคนจน $I_2$ และ KI เข้ากันดีค่อยๆเติมน้ำทีละ 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขณะที่ยังคนอยู่จนกระทั่งปริมาตรรวมเท่ากับ 60 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนต่อเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้เทลงในขวดวัดปริมาตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (0.1 โมลต่อลิตร)

ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต ($KIO_3$) 3.65 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วปริมาตรในขวดวัด ปริมาตรเป็น 1 ลิตร

5) เตรียมน้ำแป้ง

ชั่งแป้งมัน 1 กรัม ละลายกับน้ำเล็กน้อยจากนั้นเทลงในน้ำกลั่นที่ต้มจนเดือด 100 มิลลิลิตร คนไปด้วยประมาณ 1 นาที ทิ้งให้เย็นแล้วเติม KI 3 กรัม

### 2. การเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

1) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ($KIO_3$) 0.1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2±0.01 g ลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้ละลาย

3) ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% โดยน้ำหนักปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจนเป็นสีเหลืองอ่อน

4) เติมน้ำแป้งลงไป 1 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตต่อจนไม่มีสี

5) ทำอย่างน้อย 3 ซ้ำ แล้วหาปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. การเทียบมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตรความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ไทเทรตกับโซเดียมไทโอซัลเฟตจนสารละลายไอโอดีนเป็นสีเหลือง จากนั้นเติมน้ำแป้ง 1 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตต่อจนไม่มีสี

## 4. ตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์หาค่าเลขไอโอดีน (Iodine Number)

การหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

**ตารางที่ ก-1** แสดงปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ ($cm^3$) ในการไทเทรต

| ครั้งที่ | ปริมาณ $Na_2S_2O_3$ที่ใช้ ($cm^3$) | |
|---|---|---|
| | สารละลายเป็นสีเหลือง | เติมน้ำแป้งแล้วไทเทรตต่อจนไม่มีสี |
| 1 | 25.8 | 26.0 |
| 2 | 26.5 | 26.8 |
| 3 | 27.1 | 27.6 |
| เฉลี่ย | | 26.8 |

$$N_1 = \frac{PR}{S}$$

เมื่อ $N_1$ คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

P คือ ไอโอเดตปริมาณของโพแทสเซียม (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S คือ ปริมาณของโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง :

$$N_1 = \frac{(25)(0.1)}{24.37} = 0.1026$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การหาความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายไอโอดีน**

**ตารางที่ ก-2** แสดงปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ ($cm^3$) ในการไทเทรต

| ครั้งที่ | ปริมาณ $Na_2S_2O_3$ที่ใช้ ($cm^3$) | |
|---|---|---|
| | สารละลายเป็นสีเหลือง | เติมน้ำแป้งแล้วไทเทรตต่อจนไม่มีสี |
| 1 | 31.6 | 32.1 |
| 2 | 31.8 | 32.1 |
| 3 | 31.7 | 32.0 |
| เฉลี่ย | | 32.1 |

$$N = \frac{(SN_1)}{I}$$

เมื่อ $N_2$ คือ ความเข้มข้นของไอโอดีน )นอร์มัล)

P คือ ปริมาณของโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

$N_1$ คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟตม (นอร์มัล)

I คือ ปริมาณของไอโอดีน (มิลลิลิตร)

ตัวอย่าง :

$$N_1 = \frac{(23.8)(0.1)}{25} = 0.0952$$

**การหาเลขไอโอดีน หาได้จากสมการดังต่อไปนี้**

เลขไอโอดีน = $\frac{X}{M} = \frac{[A-(DF)(B)(S)]}{M}$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไป (มิลลิลิตร)

M = ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)

A = [ความเข้มข้นของไอโอดีน(นอร์มัล)] x 12693.0

B = [ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)] x 126.93

DF = dilution factor = $\frac{(100+H)}{F}$

H = ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น5% (มิลลิลิตร)

F = ปริมาตรสารละลายที่กรองได้ (มิลลิลิตร)

X/M = ปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยวิธีการเทียบสี

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์

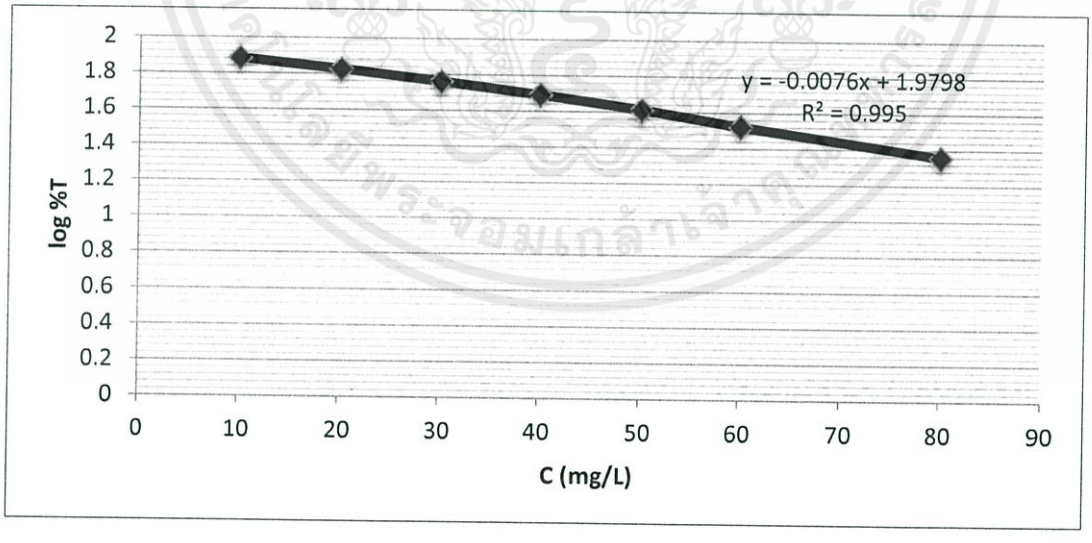
ละลาย 1,5–ไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 250 มิลลิกรัม ในอะซีโตน 50 มิลลิกรัม เก็บสารละลายในขวดสีชาควรทิ้งเมื่อสาระลายเปลี่ยนสี

2. การคำนวณหาความเข้มข้นของโครเมียม

2.1 สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

ตาราง ข 1-แสดง %T ที่ความเข้มข้นต่างๆ

| Concentration (mg/l) | Log %T | %T |
|---|---|---|
| 10 | 1.8854 | 76.81 |
| 20 | 1.827 | 67.14 |
| 30 | 1.7615 | 57.74 |
| 40 | 1.6928 | 49.29 |
| 50 | 1.6123 | 40.95 |
| 60 | 1.523 | 33.34 |
| 80 | 1.3598 | 22.9 |




รูปที่ ข-1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2 การดูดซับของสารละลายโครเมียม**

**ตารางที่ ข-2** แสดงผลทดลองเพื่อหาความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวดูดซับต่างชนิดกัน คือ 5% La/Chi/PVA และ 5% Fe/Chi/PVA

| ชนิดตัวดูดซับ | เวลา | %T | C (mg/L) | % การดูดซับ |
|---|---|---|---|---|
| **ตัวดูดซับ** : 5% La/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม** : 50 mg/L | 10 | 87.3 | 0.0519 | 89.6 |
| | 30 | 88 | 0.0473 | 90.5 |
| | 60 | 88.9 | 0.0415 | 91.7 |
| | 90 | 90.2 | 0.0332 | 93.3 |
| | 120 | 91 | 0.0281 | 94.3 |
| | 180 | 92.2 | 0.0206 | 95.8 |
| | 240 | 92.3 | 0.0200 | 96.0 |
| **ตัวดูดซับ** : 5% Fe/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม** : 50 mg/L | 10 | 78.8 | 11.04 | 77.9 |
| | 30 | 80 | 10.18 | 79.6 |
| | 60 | 82.2 | 8.629 | 82.7 |
| | 90 | 83.8 | 7.527 | 84.9 |
| | 120 | 82.2 | 7.390 | 85.2 |
| | 180 | 84 | 6.713 | 86.5 |
| | 240 | 87.5 | 5.056 | 89.8 |
| **ตัวดูดซับ** : 5% La/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม** : 100 mg/L | 10 | 83.9 | 7.458 | 92.5 |
| | 30 | 84.5 | 7.051 | 92.9 |
| | 60 | 85.9 | 6.111 | 93.8 |
| | 90 | 86.5 | 5.713 | 94.2 |
| | 120 | 86.9 | 5.449 | 94.5 |
| | 180 | 87.1 | 5.318 | 94.6 |
| | 240 | 87.1 | 5.318 | 94.6 |
| **ตัวดูดซับ** : 5% Fe/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม** : 100 mg/L | 10 | 60.9 | 0.2578 | 74.2 |
| | 30 | 65.2 | 0.2188 | 78.1 |
| | 60 | 68.2 | 0.1931 | 80.6 |
| | 90 | 72.7 | 0.1872 | 81.2 |
| | 120 | 73.2 | 0.1565 | 84.3 |
| | 180 | 73.2 | 0.1526 | 84.7 |
| | 240 | 74.7 | 0.1410 | 85.9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ชนิดตัวดูดซับ | เวลา | %T | C (mg/L) | % การดูดซับ |
|---|---|---|---|---|
| ตัวดูดซับ : 5% La/Chi/PVA ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม: 200 mg/L | 10 | 78.7 | 0.1112 | 94.44 |
| | 30 | 79.7 | 0.1040 | 94.80 |
| | 60 | 80.2 | 0.1004 | 94.98 |
| | 90 | 80.9 | 0.0954 | 95.23 |
| | 120 | 80.9 | 0.0954 | 95.23 |
| | 180 | 81.7 | 0.0898 | 95.51 |
| | 240 | 82 | 0.0877 | 95.62 |
| ตัวดูดซับ : 5% Fe/Chi/PVA ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม: 200 mg/L | 10 | 21.2 | 0.8613 | 56.94 |
| | 30 | 23.9 | 0.7927 | 60.36 |
| | 60 | 25.6 | 0.7534 | 62.33 |
| | 90 | 33 | 0.6082 | 69.59 |
| | 120 | 37.4 | 0.5366 | 73.17 |
| | 180 | 35.3 | 0.5697 | 71.52 |
| | 240 | 41.4 | 0.4785 | 76.07 |
| ตัวดูดซับ : 5% La/Chi/PVA ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม: 300 mg/L | 10 | 70.9 | 0.1709 | 94.30 |
| | 30 | 71.5 | 0.1660 | 94.47 |
| | 60 | 73.7 | 0.1487 | 95.04 |
| | 90 | 74.1 | 0.1456 | 95.15 |
| | 120 | 74.2 | 0.1448 | 95.17 |
| | 180 | 75.9 | 0.1319 | 95.60 |
| | 240 | 76.8 | 0.1251 | 95.83 |
| ตัวดูดซับ : 5% Fe/Chi/PVA ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม : 300 mg/L | 10 | 7.1 | 1.487 | 50.44 |
| | 30 | 7.8 | 1.433 | 52.23 |
| | 60 | 8.4 | 1.391 | 53.64 |
| | 90 | 9.5 | 1.320 | 55.99 |
| | 120 | 9.8 | 1.303 | 56.58 |
| | 180 | 10.9 | 1.242 | 58.61 |
| | 240 | 11.7 | 1.201 | 59.96 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-3** แสดงผลทดลองเพื่อเปรียบเทียบ % การดูดซับโครเมียม (VI) ของตัวดูดซับที่สภาวะต่างกันโดยใช้ตัวดูดซับต่างชนิดกันคือ 10% La/Chi/PVA และ 10% Fe/Chi/PVA

| ชนิดตัวดูดซับ | เวลา | %T | C (mg/L) | % การดูดซับ |
|---|---|---|---|---|
| **ตัวดูดซับ** : 10% La/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของ** โครเมียม : 50 mg/L **ที่สภาวะ** : อุณหภูมิห้อง | 10 | 74.7 | 0.1410 | 71.80 |
| | 30 | 76.5 | 0.1274 | 74.52 |
| | 60 | 77.1 | 0.1229 | 75.42 |
| | 90 | 84.7 | 0.0692 | 86.17 |
| | 120 | 85.8 | 0.0618 | 87.64 |
| | 180 | 86.4 | 0.0578 | 88.44 |
| | 240 | 87.2 | 0.0525 | 89.50 |
| **ตัวดูดซับ** : 10% Fe/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของ** โครเมียม : 50 mg/L **ที่สภาวะ** : 50 °C | 10 | 65.7 | 0.2144 | 57.11 |
| | 30 | 72.5 | 0.1581 | 68.38 |
| | 60 | 72.8 | 0.1557 | 68.85 |
| | 90 | 73.4 | 0.1510 | 69.79 |
| | 120 | 75.2 | 0.1372 | 72.56 |
| | 180 | 80.3 | 0.0997 | 80.07 |
| | 240 | 81.1 | 0.0940 | 81.20 |
| **ตัวดูดซับ** : 10% La/Chi/PVA **ความเข้มข้นเริ่มต้นของ** โครเมียม : 50 mg/L **ที่สภาวะ** : มีตัวรบกวน | 10 | 58.2 | 0.2837 | 43.25 |
| | 30 | 58.9 | 0.2769 | 44.62 |
| | 60 | 59.8 | 0.2682 | 46.35 |
| | 90 | 60.3 | 0.2635 | 47.31 |
| | 120 | 61.5 | 0.2522 | 49.56 |
| | 180 | 62.2 | 0.2457 | 50.85 |
| | 240 | 64.8 | 0.2223 | 55.54 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค.
## การคำนวณไอโซเทอม

การคำนวณเพื่อสร้างไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม(VI)ของ Chi/PVA/La และ Chi/PVA/Fe โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ตัวอย่างการคำนวณ คือ ตัวดูดซับ Chi/PVA/La

1. ทำการหาความเข้มข้นที่สมดุลหลังการดูดซับที่เวลา นาที 240($C_e$) ของโครเมียม ในแต่ละความเข้มข้นเริ่มต้น ได้ดังตาราง ค1-

**ตารางที่ ค-1** แสดงค่าปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ($q_e$) ที่หาได้จากความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกันซึ่งพลอตกราฟตามความสัมพันธ์ของ Langmuir

| ความเข้มข้น $Cr^{+6}$ เริ่มต้น ($C_1$) (mg/L) | ความเข้มข้น $Cr^{+6}$ ที่สมดุลหลังการดูดซับ ($C_e$)(mg/L) | ปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (qe)(mg/g) | $1/C_e$ |
|---|---|---|---|
| 50 | 2.001 | 4799.8600 | 0.4997 |
| 100 | 5.317 | 9468.2401 | 0.1881 |
| 200 | 8.768 | 19123.1742 | 0.1140 |
| 300 | 12.51 | 28748.5017 | 0.0799 |

2. การคำนวณหาปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับจากสมการ

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

เมื่อ q = ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_o$ และ $C_e$ = ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นและหลังการดูดซับ ตามลำดับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรของสารละลาย

m = น้ำหนักของตัวดูดซับ

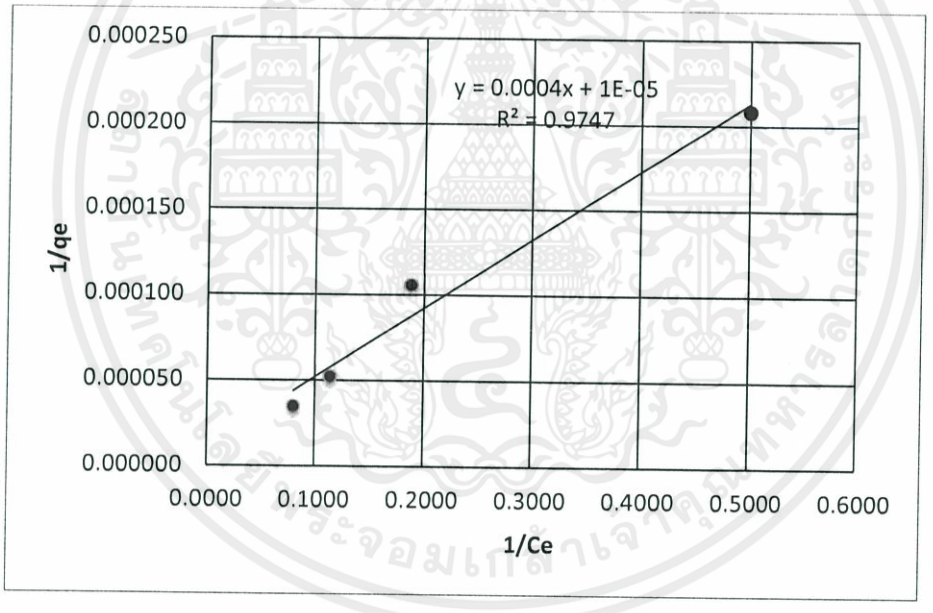
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่า log $C_e$และ log $q_e$ซึ่งพลอตตามความสัมพันธ์ของ Freundlich

**ตารางที่ ค-2** แสดงว่าค่า log $C_e$ และ log $q_e$

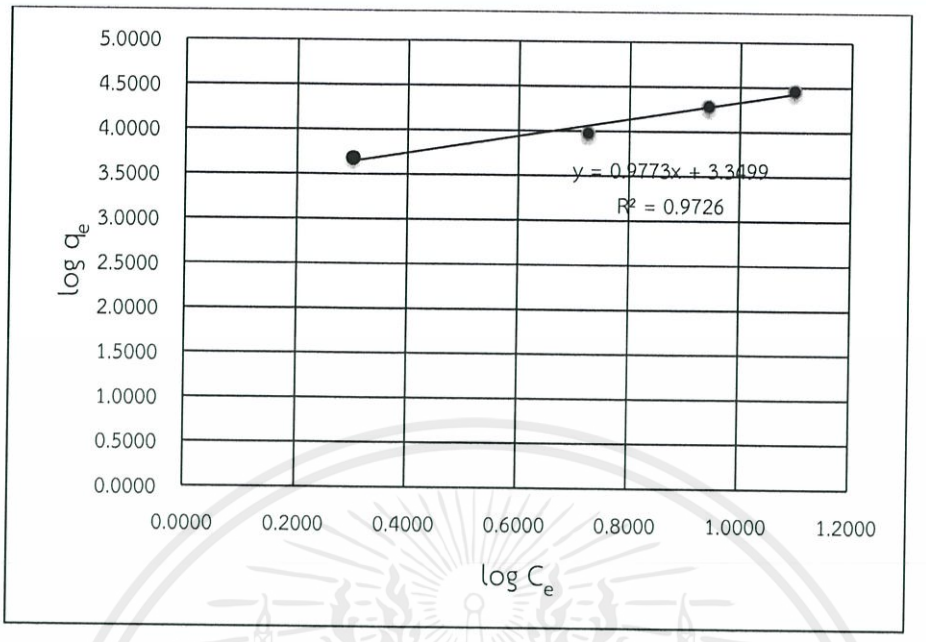
| ความเข้มข้น $Cr^{+6}$เริ่มต้น ($C_1$) (mg/L) | log $C_e$ | log $q_e$ |
|---|---|---|
| 50 | 0.3013 | 3.681 |
| 100 | 0.7257 | 3.976 |
| 200 | 0.9429 | 4.281 |
| 300 | 1.097 | 4.458 |

พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Langmuir และตรวจสอบค่า R-square ($R^2$) ของทั้งสอง Langmuir และ FreundlichIsotherm โดยพิจารณาว่าการดูดซับโครเมียม (VI) สอดคล้องกับ Isotherm ใด จากการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ของทั้งสอง Isotherm




**รูปที่ ค-1** ผลของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ค-2** ผลของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA

จากรูปที่ ค-1 และ ค-2 แสดงการเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich โดยใช้ 5% La/Chi/PVA เป็นตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า ผลของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และแบบ Freundlich มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, $R^2$) เท่ากับ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบ 0.9726 และ 0.9747Langmuir มีค่าเข้าใกล้ มากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบ 1Freundlich ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับโครเมียมมีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir มากกว่า ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich และไอโซเทอมที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวและโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระบนผิวตัวดูดซับ ซึ่งตัวแปรที่ได้จากผลของไอโซเทอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้