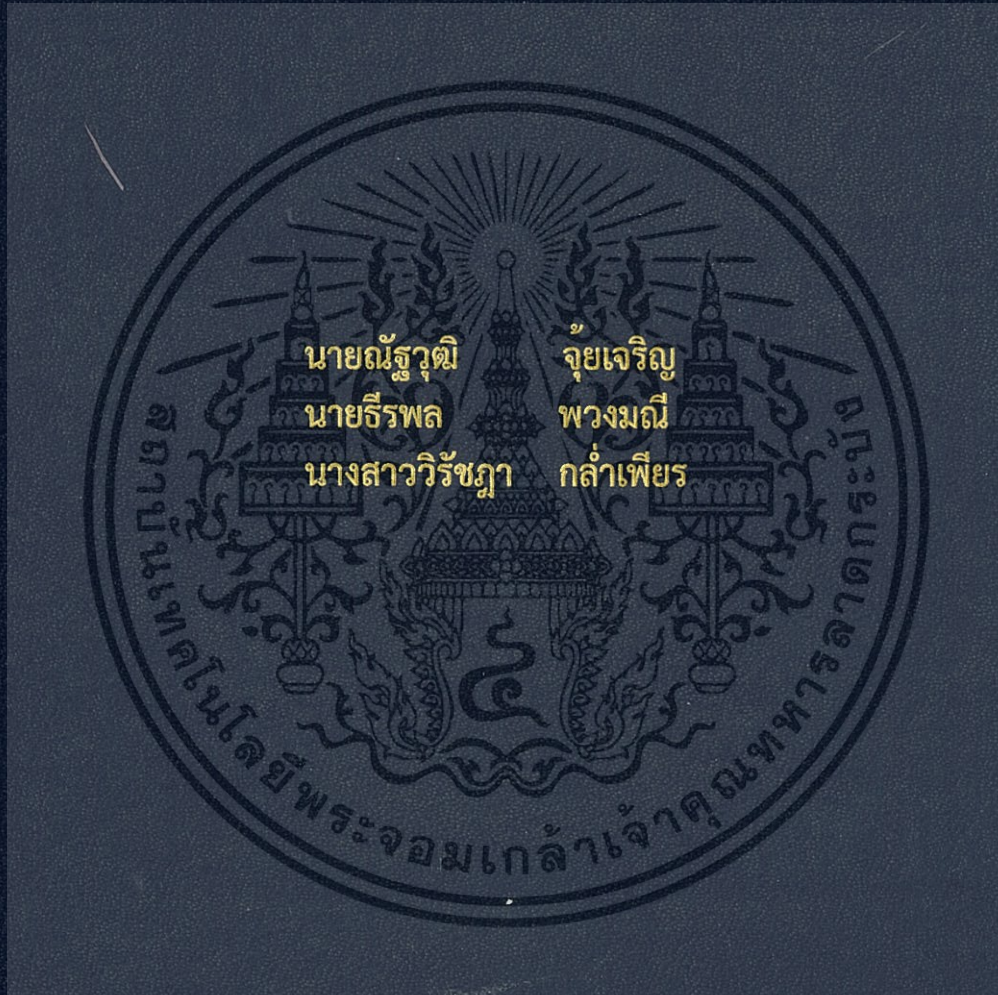


การดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์
บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การดูฉบับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์
บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต



T149445



นายณัฐวุฒิ

จ๋วยเจริญ

นายธีรพล

พวงมณี

นางสาววิรัชญา

กล้าเพียร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

149445

8 ส.ค. 2561

b. 12886488
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN SYNTHETIC
WASTEWATER BY COPPER-CHITOSAN MODIFIED WITH
TRIPOLYPHOSPHATE



MR. NUTTAWUT

JUIJAROEN

MR. TEERAPON

PHUANGMANEE

MISS. WIRADCHADA

KLAMPIEN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต
 ADSORPTION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN SYNTHETIC WASTEWATER BY COPPER-CHITOSAN MODIFIED WITH TRIPOLYPHOSPHATE

ชื่อนักศึกษา นายณัฐวุฒิ จ้อยเจริญ 55050654
 นายธีรพล พวงมณี 55050689
 นางสาววิรัชญา กล้าเพียร 55050805

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ	
ดร. การุณย์ สาดอ่อน กรรมการ	
ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวุฒิ	จ้วยเจริญ	รหัสนักศึกษา 55050654
	นายธีรพล	พวงมณี	รหัสนักศึกษา 55050689
	นางสาววิรัชญา	กล้าเพียร	รหัสนักศึกษา 55050805
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตเป็นตัวดูดซับ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ความเข้มข้นของไตรโพลีฟอสเฟต ความเข้มข้นของคอปเปอร์(II) ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เวลาในการดูดซับ และไอโซเทอมของการดูดซับ จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของไตรโพลีฟอสเฟตที่ 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI) ได้สูงสุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 98.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคอปเปอร์(II) จาก 100 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 240 นาที และการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

คำสำคัญ: การดูดซับ, โครเมียม, โคโตซาน, ไตรโพลีฟอสเฟต, คอปเปอร์

Title	ADSORPTION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN SYNTHETIC WASTEWATER BY COPPER-CHITOSAN MODIFIED WITH TRIPOLYPHOSPHATE		
Student	Mr. Nuttawut Juijaroen	Student ID	55050654
	Mr. Teerapon Phuangmanee	Student ID	55050689
	Miss. Wiradchada Klampien	Student ID	55050805
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Dr. Amnat Permsubscul		

ABSTRACT

The efficiency of chromium(VI) adsorption in synthetic wastewater by using copper on chitosan modified with tripolyphosphate was investigated in this research. The variables were studied such as the concentration of tripolyphosphate, the concentration of copper(II), the initial concentration of chromium(VI), adsorption time and adsorption isotherm. It was found that the maximum efficiency of chromium(VI) removal (98.97%) was obtained by using the concentration of tripolyphosphate 7.5 % w/v. With copper, higher concentration from 100 to 500 mg/L to obtain the same degree of chromium(VI) removal. The optimum adsorption time was observed at 240 minutes. Moreover, the Freundlich adsorption isotherm was found to show the best fit for experimental data.

Keywords: Adsorption, Chromium, Chitosan, Tripolyphosphate, Copper

กิตติกรรมประกาศ

รายงานเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาโครงการพิเศษ ในหัวข้อเรื่องการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้ทองแดงบนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต โครงการพิเศษนี้ไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีหากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากบุคคลดังต่อไปนี้

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลอง ตอบข้อซักถาม และปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในการทำการทดลองจนกระทั่งโครงการพิเศษนี้ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ และดร.การุณย์ สาดอ่อน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทดลองและข้อเสนอแนะ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเบิกเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเคมีต่างๆ

ขอขอบคุณแม่บ้าน และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเรื่องการเปิดและปิดห้องปฏิบัติการในวันที่มีการทำการทดลอง

ขอขอบใจเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และช่วยคิดแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง ทำให้การทำโครงการพิเศษนี้เป็นไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดามารดาของผู้จัดทำที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนกำลังใจในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความสนใจในงานที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ หรือผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐวุฒิ จุ้ยเจริญ

ธีรพล พวงมณี

วิรัชฎา กล้าเพียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ไคตินและไคโตซาน.....	5
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	5
2.1.2 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตไคติน.....	6
2.1.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตซาน.....	6
2.1.4 สายโซ่ไคตินและไคโตซาน.....	7
2.1.5 โครงสร้างที่แข็งแรงของไคตินและไคโตซาน.....	7
2.1.6 สมบัติทางกายภาพ.....	9
2.1.6.1 การละลาย.....	9
2.1.6.2 สมบัติทางความร้อน.....	9
2.1.7 สมบัติทางเคมี.....	10
2.1.8 มาตรฐานของไคตินและไคโตซาน.....	10
2.1.9 การทดสอบไคตินและไคโตซานในอุตสาหกรรม.....	11
2.1.10 การกำหนดสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพและเคมีสำหรับประเทศไทย.....	12
2.1.11 สมบัติที่สำคัญของสารไคตินและไคโตซาน.....	12
2.1.12 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซาน.....	14
2.1.12.1 ด้านการเกษตร.....	14
2.1.12.2 ด้านเครื่องสำอาง.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(ต่อ)	
2.1.12.3 ด้านอาหาร.....	14
2.1.12.4 ด้านการแพทย์และเภสัช.....	14
2.1.12.5 การบำบัดกากของเสียและน้ำ.....	15
2.2 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP).....	15
2.2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	15
2.2.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.....	15
2.2.3 ความปลอดภัย.....	16
2.3 คอปเปอร์(II)ซัลเฟต (Copper (II) Sulfate).....	16
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	16
2.3.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้คอปเปอร์(II)ซัลเฟต.....	16
2.3.3 ความปลอดภัย.....	17
2.4 กระบวนการดูดซับ (Adsorption).....	17
2.4.1 ลักษณะการดูดซับ.....	17
2.4.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล.....	18
2.4.3 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium).....	19
2.4.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน.....	20
2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	25
3.2 สารเคมี.....	26
3.3 การทดลอง.....	27
3.3.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับสังเคราะห์ตัวดูดซับและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ...	27
3.3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ.....	28
3.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับ.....	31
คอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
3.3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม(VI).....	31
3.3.3.2 การศึกษาผลของสภาวะในการเตรียมตัวดูดซับ.....	31
3.3.3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI).....	32
ที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI)	
และเวลาที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียม(VI)	
3.3.4 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโครเมียม(VI).....	33
3.3.5 การทดสอบสมบัติทางเคมีและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับ.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	35
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของคอปเปอร์บนโคโตซาน.....	35
ที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	35
4.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโตซาน.....	39
ที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
4.1.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโตซาน.....	41
ที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการวัดค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometry)	
4.1.4 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุง.....	42
ด้วยไตรโพลีฟอสเฟต โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence)	
4.1.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์.....	43
บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)	
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์.....	45
บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
4.2.1 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI)..	46
4.2.2.ผลของปริมาณคอปเปอร์(II) ในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	48
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI)	
4.2.3 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อประสิทธิภาพ.....	51
ในการดูดซับโครเมียม(VI)	
4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู.....	6
2.2 ตัวอย่างรายการแสดงมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ไคติน.....	10
2.3 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตุดิบไคตินและไคโตซาน.....	11
2.4 วิธีการตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของไคตินและไคโตซาน.....	12
3.1 ชื่อตัวดูดซับและสภาวะที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับ.....	28
3.2 สภาวะที่ใช้ศึกษาผลของสภาวะในการเตรียมตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI).....	32
3.3 สภาวะที่ใช้ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) และเวลาในการดูดซับ.....	33
ที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียม(VI)	
3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ.....	34
4.1 ปริมาณต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุง.....	42
ด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
4.2 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	46
และคอปเปอร์ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยความเข้มข้นเริ่มต้น	
โครเมียม(VI) 100 mg/L	
4.3 ผลของปริมาณคอปเปอร์ในไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตที่มีต่อเปอร์เซ็นต์.....	49
การดูดซับโครเมียม(VI) โดยความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น 100 mg/L	
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R^2) ของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และ ฟรุนดิช.....	57
ของการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ	
4.5 ค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนดิช สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ...	57
ก-1 แสดง %T ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	62
ข-1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ที่เหมาะสม.....	63
โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น 100 mg/L	
ข-2 แสดงผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) และเวลา.....	65
โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ	
ค-1 แสดงค่าปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) ที่หาได้จาก.....	68
ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกันซึ่งพลอตกราฟตามความสัมพันธ์ของ Langmuir	
ค-2 แสดงว่าค่า $\log C_e$ และ $\log q_e$	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของโคตินและโคโตซาน.....	5
2.2 แสดงลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน.....	7
2.3 โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบแอลฟา เบตา และแกมมา.....	8
2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของโคตินด้วยเทคนิค X-ray Diffraction.....	8
2.5 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.....	15
2.6 โครงสร้างทางเคมีของคอปเปอร์(II) ซัลเฟต.....	16
2.7 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	19
2.8 แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm).....	20
2.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน.....	20
2.10 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในไอโซเทอมแบบต่างๆ.....	22
3.1 แผนผังการเตรียมตัวดูดซับโลหะทรานซิชัน(คอปเปอร์) บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วย.....	30
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตซาน.....	36
4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต.....	36
4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์.....	37
4.4 โครงสร้างของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	37
4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	38
4.6 โครงสร้างของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	39
4.7 ลักษณะพื้นผิวของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วย.....	40
ไตรโพลีฟอสเฟตที่สภาวะต่างๆ	
4.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต.....	41
4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุง.....	41
ด้วยไตรโพลีฟอสเฟต	
4.10 (ก) รังสีเอกซ์พลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกไปจากวงโคจร.....	42
(ข) อิเล็กตรอนในชั้น M ที่มีพลังงานสูงกว่าลงมาแทนที่ โดยคายรังสีเอกซ์ที่มีพลังงาน	
จำเพาะออกมา	
4.11 เทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(CT5).....	43
4.12 เทอร์โมแกรมของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(CT5(300))..	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กลไกการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วย..... ไตรโพลีฟอสเฟต	45
4.14 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI)..... ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(100)	47
4.15 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI)..... ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(300)	47
4.16 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI)..... ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(500)	48
4.17 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น..... 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT5	49
4.18 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น..... 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT7	50
4.19 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น..... 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT10	50
4.20 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์..... การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT5(300)	51
4.21 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์..... การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT7(100)	52
4.22 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์..... การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT10(500)	52
4.23 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) ระหว่างตัวดูดซับ..... CT7 และ CT7(300)	53
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์..... สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT5(300)	54
4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช..... สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT5(300)	54
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์..... สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT7(100)	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช.....	55
สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT7(100)	
4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....	56
สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT10(500)	
4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช.....	56
สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT10(500)	
ก-1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม.....	62
ค-1 พล็อตของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ของตัวดูดซับ CT5(300).....	69
ค-2 พล็อตของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich ของตัวดูดซับ CT5(300).....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากไม่น้อยที่มีการผสมโครเมียมลงในผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเหล็กกล้า ไรซินิมใช้เป็นส่วนผสมกับเหล็ก นิกเกิล และโลหะอื่นๆ เพื่อผลิตเหล็กอัลลอยด์ที่แข็งแรงทนต่อการกัดกร่อนและความร้อนได้สูงใช้เป็นสารชุบโลหะ เคลือบโลหะ รวมถึงพลาสติกเพื่อให้เกิดความมันเงา ป้องกันการกัดกร่อน เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ใช้เป็น ส่วนประกอบในการผลิตสีย้อมหรือเม็ดสีเช่น Chrome oxide green (Cr_2O_3), Chrome yellow (PbCrO_4), Chrome orange ($\text{PbCrO}_4\cdot\text{PbO}$) เป็นสารช่วยย้อมติดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอและย้อมผ้า ใช้ในอุตสาหกรรมพอกหนังในรูปสารประกอบของ $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ ใช้เป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อราและน้ำยาบำรุงรักษาเนื้อไม้ ใช้ผลิตตัวถังถังฝุ่นและป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องยนต์ดีเซลใช้เป็นสารยับยั้งการเกิดสนิม ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วสี ใช้ในกระบวนการผลิตอิฐทนความร้อน เป็นต้น

การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและความเป็นพิษ เช่น มลพิษทางน้ำ โครเมียมที่พบในน้ำทิ้ง และถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง ส่วนมากจะอยู่ในรูป Cr^{+6} ทั้งในรูปโครเมียมอิสระ และเกลือของโครเมียม สำหรับเกลือของ Cr^{+6} เช่น โครเมียมไตรออกไซด์ (Chromiumtrioxide, CrO_3) และโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) จะไม่ตกตะกอนหรือรวมตัวกับดิน จึงสามารถเคลื่อนย้ายไปตามแหล่งน้ำไหลและน้ำใต้ผิวดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำดิบที่นำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ได้ง่าย ส่วน Cr^{+3} ในธรรมชาติโอกาสที่มนุษย์จะสัมผัสหรือรับเข้าร่างกายจะพบได้น้อยกว่า Cr^{+6} โดยจะพบ Cr^{+3} ได้ที่พีเอชต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น ซึ่งจะไม่ก่อความเป็นพิษและอันตรายต่อมนุษย์ แต่หากได้รับในปริมาณมากเกินความต้องการของร่างกายก็มักจะมีผลต่อระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำตาลมาใช้ผลิตปกติได้ส่วนโครเมียมที่แพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศส่วนมากมาจากแหล่งอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรมพ่นสี เป็นต้น ซึ่งมักจะแพร่กระจายในรูปของฝุ่น และละอองสารที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมผสมอยู่ การแพร่กระจายในรูปแบบนี้มักพบคนงานหรือคนในชุมชนใกล้เคียงมีโอกาสได้รับสารโครเมียมเข้าสู่ร่างกายมากที่สุดและเมื่อฝุ่นหรือละอองสารตกตะกอนจะแพร่กระจายเข้าสู่แม่น้ำลำคลองโดยการชะของฝนต่อไป

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 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และโซดาไฟ (NaOH)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบในผู้ป่วยที่ได้รับ Cr^{+6} เช่น กรดโครมิก และโพแทสเซียมไดโครเมต โดยพบอาการเฉียบพลันหลังได้รับสารโครเมียมเข้าร่างกาย คือ มีอาการอาเจียน ปวดท้องรุนแรง อาการท้องเสีย มีเลือดออกในกระเพาะอาหาร หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการช็อค และเสียชีวิตได้ ขนาดที่ทำให้เสียชีวิตได้ คือ บริโภค 1–3 กรัม พิษเรื้อรังเป็นลักษณะของพิษโครเมียมที่เกิดจากการที่ร่างกายได้รับในปริมาณน้อยถึงปานกลาง และมีการสะสมเป็นเวลานาน อาการของพิษจะค่อยๆ เริ่มปรากฏกับอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น การระคายเคืองบริเวณผิวหนัง การเกิดแผลเรื้อรัง แผลหายช้า ภาวะถุงพรุณ และผนังก้นจมูกทะลุ รวมถึงการเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ Cr^{+6} ถูกจัดให้เป็นสารที่มีอันตรายมาก มีความเป็นพิษรุนแรงกว่า Cr^{+3} มากกว่า 100 เท่า หากได้รับเข้าร่างกายเพียงเล็กน้อยจะมีการสะสมทำให้เกิดพิษเรื้อรัง และเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ ตามมา หากได้รับ Cr^{+6} ในปริมาณความเข้มข้นมาก จะเกิดการกัดกร่อนผิวหนัง อวัยวะระบบทางเดินหายใจเสียหายอย่างฉับพลัน Cr^{+3} เป็นธาตุโลหะหนึ่ง ที่พบในร่างกายมนุษย์ หากร่างกายขาดโครเมียมชนิดนี้จะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับน้ำตาล เช่น โรคกลูโคสซูเรีย (Glycosuria) ทำให้มีการเพิ่มปริมาณของอินซูลิน (Serum insulin) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ในร่างกาย รวมไปถึงยับยั้งการเจริญเติบโต การทำงานของเส้นโลหิต และแก้วตาอักเสบ

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

ไคโตซาน (Chitosan, Poly β -(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นอนุพันธ์ของไคติน เกิดจากปฏิกิริยา deacetylation ของไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น ทำให้หมู่อะซิตาไมโด (-NHCOCH₃) ของไคตินที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองถูกแทนที่ด้วยหมู่อะมิโน (-NH₂) ไคโตซานมีสมบัติเด่นๆ หลายด้าน ได้แก่ รวมตัวกับสิ่งมีชีวิตได้ดี (Biocompatibility) สลายตัวได้โดยจุลินทรีย์ (Biodegradability) และเป็นสารที่ไม่มีพิษ โดยธรรมชาติแล้วมีความแข็งแรงเชิงกลต่ำอาจเกิดการแตกเสียหายเมื่อถูกปั่นกววนในระบบบำบัดโลหะแบบแบดซ์ นอกจากนี้ไคโตซานมักจะรวมกลุ่มกันเป็นก้อนในสารละลายซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะที่บริเวณตำแหน่งว่องไว ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตซานจึงมีการปรับปรุงโครงสร้างของไคโตซานให้มีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้สารต่างๆ ช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างไคโตซาน เช่น Glutaraldehyde (GLA), Epichlorohydrin (ECH), Ethylene glycol diglycidyl ether (EGDE) และ Polyvinyl alcohol (PVA) เป็นต้น [2]

ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงสนใจศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยกระบวนการดูดซับด้วยไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) โดยมีการเติมคอปเปอร์ไอออน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (VI) รวมทั้งศึกษาสภาวะที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (VI) ได้แก่ ปริมาณของไตรโพลีฟอสเฟต ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) และ เวลาในการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ของโคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออน
- 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ เช่น ปริมาณของไตรโพลีฟอสเฟตและคอปเปอร์ไอออนของตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เวลาในการดูดซับรวมทั้งศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับด้วย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ตัวดูดซับที่ใช้ในการศึกษา คือ โคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออน
- 2) การสังเคราะห์ตัวดูดซับคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) จะแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) เป็น 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และค่าความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์เป็น 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมีของตัวดูดซับโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(X-ray Diffraction, XRD) เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลซิส(Thermogravimetric analysis, TGA) และ เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์(X-Ray Fluorescence Spectrometry, XRF)
- 4) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออน ได้แก่
 - 4.1 ความเข้มข้นของสารละลายไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) แปรค่าที่ 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
 - 4.2 ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ แปรค่าที่ 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (VI) แปรค่าที่ 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.4 เวลาในการดูดซับ แปรค่าที่ 30, 60, 120, 180 และ 240 นาที
- 5) ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโครเมียมด้วยโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออน ว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์หรือไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงขั้นตอนการเตรียมและประสิทธิภาพของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออนเพื่อเป็นตัวดูดซับในการบำบัดโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ทราบถึงผลของตัวแปรและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(TPP) ร่วมกับคอปเปอร์ไอออนเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม(VI) ในโรงงานอุตสาหกรรม

3) เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเสียเหลือทิ้ง เช่น เปลือกกุ้ง โดยนำมาผลิตเป็นโคโตซานซึ่งมีมูลค่ามากขึ้นและมีประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

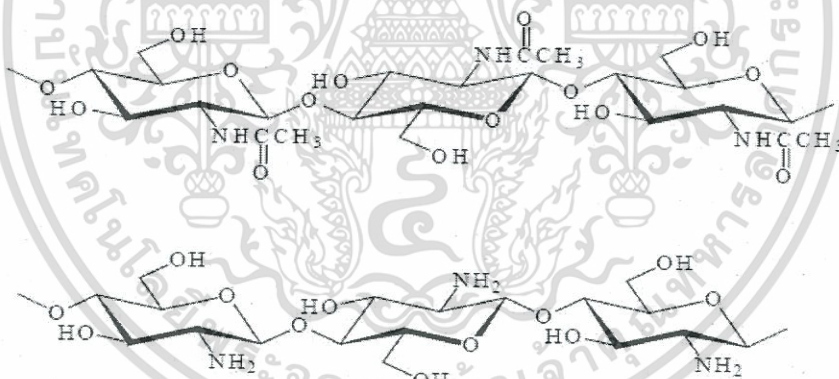
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไคตินและไคโตซาน

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน[3]

ไคติน (Chitin) เป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ประกอบด้วยโครงสร้างทางเคมี คือ Poly(β -(1-4)-2-acetamido-D-glucose) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนไคโตซาน (Chitosan) เป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยาดิอะซิไทลชัน (Deacetylation) ของไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น 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-glucosamine และ 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 การเตรียมไคโตซานจากไคตินจะทำได้โดยการทำปฏิกิริยาดิอะซิไทลชัน ซึ่งเปลี่ยนหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนสจากหมู่อะเซตาไมด์เป็นหมู่อะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะโครงสร้างที่เป็นโคพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน จึงทำให้มีการกำหนดค่าดัชนีที่จะใช้บอกระดับของการเกิดดิวาซิไทเลชัน โดยเรียกว่าค่าดัชนีนี้ว่า ค่าระดับของการเกิดดิวาซิไทเลชัน (Degree of deacetylation) ซึ่งค่านี้จะบอกถึงสัดส่วนของจำนวน D-glucosamine ที่มีอยู่ในสายพอลิเมอร์ของไคตินและไคโตซาน

2.1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคติน[3]

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

วัตถุดิบที่เป็นแหล่งสำคัญที่ใช้ในการผลิตไคติน ได้แก่ เปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง

2.1.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไคตินและไคโตซาน[3]

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

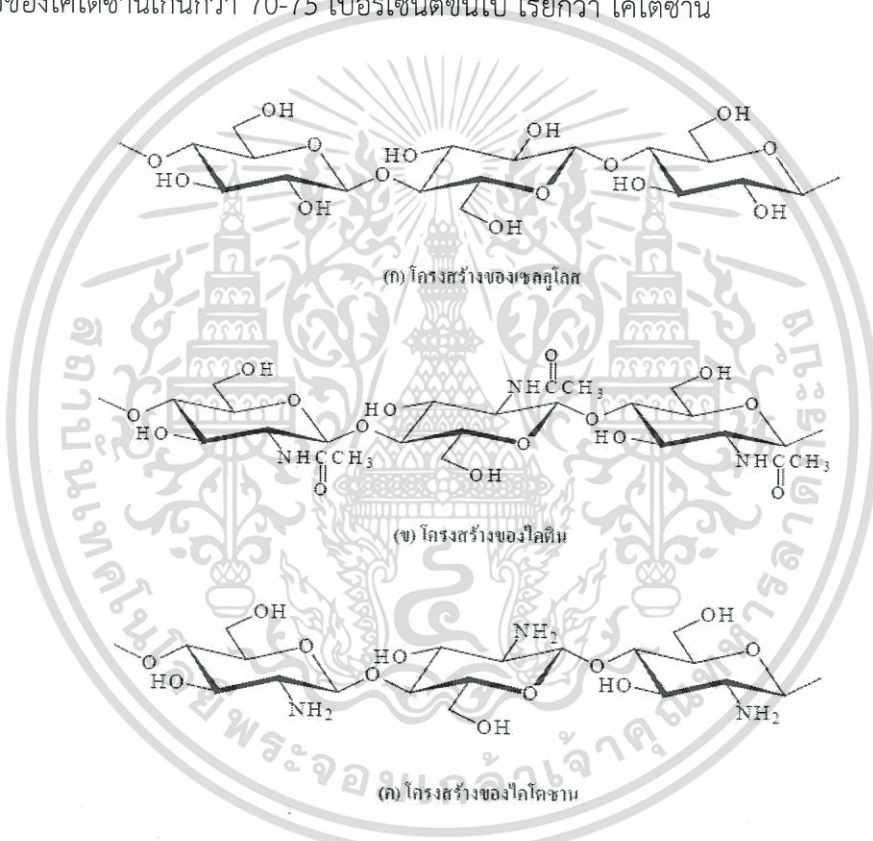
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเปลือกกุ้งและปู (แสดงเป็นน้ำหนักเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากกรอบแห้ง)

สิ่งมีชีวิต	ปริมาณองค์ประกอบ(เปอร์เซ็นต์)				
	ไคติน	โปรตีน	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ฟอสฟอรัส
ปูชน	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	-

ดังนั้นจึงพบว่าเปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคติน โปรตีนเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู จะเป็นไคตินที่มีหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตนอกเหนือจากโปรตีน

2.1.4 สายโซ่ไคตินและไคโตซาน[3]

โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซานมีความคล้ายคลึงกันกับเซลลูโลส คือเป็นสายโซ่ของแซคคาไรด์ แต่มีอะตอมของไนโตรเจนเข้าไปเพิ่ม เมื่อหน่วยแซคคาไรด์นั้น มีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของอะเซตาไมด์เราจะเรียกว่าไคติน ในขณะที่หากหน่วยนั้นๆ มีอะตอมของไนโตรเจนอยู่ในรูปของหมู่เอมีโน เราจะเรียกว่าไคโตซาน (รูปที่ 2.2) เป็นที่น่าสังเกตว่าสายโซ่ที่มีหน่วยของไคตินและไคโตซานจะอยู่ในรูปที่ผสมกันอยู่สลับหน่วยปะปนกันไปเป็นโคพอลิเมอร์ ดังนั้นสารไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู แม้ว่าจะมีหน่วยไคตินเป็นหลักอยู่สายโซ่ก็ตาม ก็จะมีหน่วยของไคโตซานปะปนอยู่จำนวนหนึ่ง (ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์) หรือแม้ว่าจะนำไคตินมาผ่านกระบวนการการปรับโครงสร้างทางเคมีด้วยการเปลี่ยนหมู่อะเซตาไมด์เป็นเอมีโน ไม่สามารถได้สายโซ่ในรูปของไคโตซาน 100 เปอร์เซ็นต์ เกณฑ์ที่เป็นที่เข้าใจในกลุ่มวิจัยคือในกรณีที่สายโซ่ของไคโตซานเกินกว่า 70-75 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เรียกว่า ไคโตซาน



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

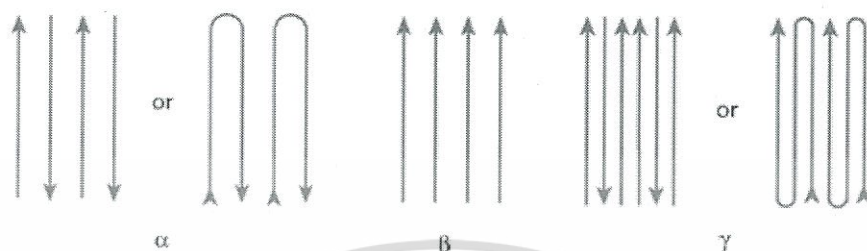
2.1.5 โครงสร้างที่แข็งแรงของไคตินและไคโตซาน[3]

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์มีหมู่เอมีโน(-NH₂)และหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างภายในสายโซ่ที่เรียกว่า Intramolecular hydrogen bonding และระหว่างสายโซ่ที่เรียกว่า Intermolecular hydrogen bonding ซึ่งพันธะไฮโดรเจนทำให้การเรียงตัวของสายโซ่แต่ละสายเป็นไปอย่างจำกัดทิศทางของสายโซ่ที่เรียงตัวกันนี้จำแนกได้ 3 ประเภท (รูปที่ 2.3) คือการเรียงตัวของสายโซ่เป็นการเรียงแบบทิศทางเดียวกัน หรือเบตา-ไคติน (β -chitin), แบบทิศทางเดียวกันและทิศทางสลับกันไป หรือแอลฟา-ไคติน (α -chitin) และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวนทิศทางตลอดสายโซ่ หรือแกมมา-ไคติน (γ -chitin) โครงสร้างแอลฟาเป็นโครงสร้างที่มีความสมบูรณ์ในด้านพันธะไฮโดรเจน คือมีทั้งแบบภายในและระหว่างสายโซ่อย่างเป็นระเบียบ

ไคตินและไคโตซานที่มีโครงสร้างประเภทนี้จะมีความเสถียรสูงได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปู และเชื้อราบางชนิด สำหรับเบตาและแกมมา จะพบในแกนปลาหมึก และแมลง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่แบบแอลฟา เบตา และแกมมา

โครงสร้างทางกายภาพของผลึกนี้ สามารถศึกษาได้ด้วยการตกผลึกของไคโตซาน และวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผลึกเดี่ยว แต่เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงจึงไม่สามารถที่จะเตรียมผลึกเดี่ยวได้ วิธีการหนึ่งที่ใช้คือ การศึกษาด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบ (X-ray diffraction) กล่าวคือ เมื่อให้แสง X-ray ไปตกกระทบที่ตัวอย่างแล้ว รูปแบบของการเบี่ยงเบนของแสงที่เกิดขึ้นหลังจากตกกระทบบนตัวอย่าง จะเป็นนัยบ่งถึงโครงสร้างผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์นั่นเอง



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 โครงสร้างไคตินจะมีความเป็นผลึกและมีหน้าที่ย่างกันในช่วงประมาณ 19.63 และ 8.87 อังสตรอม วิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ แต่เนื่องจากมีความง่ายต่อการเตรียมสาร และตรวจวิเคราะห์ได้รวดเร็ว จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบทางกายภาพในการจำแนกไคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 สมบัติทางกายภาพ[3]

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 ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ไม่สามารถที่จะทำให้ไคตินละลายได้ แต่ในขณะเดียวกันกรดเข้มข้นจำพวกไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และกรดฟอร์มิก จะให้เกิดการละลายได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากกรดเข้มข้นดังกล่าวมีปริมาณโปรตอนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดไอออนบวกที่ตำแหน่ง อะเซตาไมด์ และทำให้ตำแหน่ง C-2 ของไคตินกลายเป็นไอออนบวก พันธะไฮโดรเจนจึงสลายลงในขณะที่พันธะไอออนิกถูกสร้างขึ้นระหว่างไอออนของกรดประเภทนั้นๆ ทำให้การละลายเกิดขึ้น

ตัวทำละลายอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับไคติน คือ ประเภทเกลือในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น สารละลายลิเทียมคลอไรด์อิมิตัวใน N,N-dimethylformamide หรือสารละลายแคลเซียมคลอไรด์อิมิตัวในเมทานอล 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 สมบัติทางเคมี[3]

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

2.1.8 มาตรฐานของไคตินและไคโตซาน[3]

การพัฒนาไคตินและไคโตซานเพื่อให้สินค้ามีมูลค่าเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงสารไคตินและไคโตซานตั้งต้น เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารประสม (Composite material) กับสารอนินทรีย์ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่ดีจำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพและมีการรายงานได้ด้วยว่าคุณภาพของสารไคโตซานที่สกัดได้นั้นอยู่ในระดับไหน ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้สารไคตินและไคโตซานเลือกใช้สารได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์และกระบวนการผลิตที่เกี่ยวกับการปรับแต่งโครงสร้างของไคตินและไคโตซานได้ พร้อมระบบควบคุมคุณภาพ

วิธีการประเมินหรือการตรวจสอบคุณภาพสารไคตินและไคโตซานทั้งในระดับพื้นฐาน เช่น การดูสี ตมกลิ่น การละลายเพื่อตรวจสอบความขุ่นใส การวัดความหนืด จนถึงระดับที่ต้องการอุปกรณ์พิเศษ เช่น การตรวจดูปริมาณ ความชื้นที่มีอยู่ การดูระดับเถ้าหรือสารอนินทรีย์เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถศึกษาหรืออ้างอิงได้จากกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพที่ดำเนินอยู่ในประเทศอื่นโดยเฉพาะญี่ปุ่นดังแสดงในตารางที่ 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 เซ็นติพอยส์
สารละลายกรดอะซิติก	เกือบใส	ขุ่นเล็กน้อย
น้ำหนักที่สูญเสียหลังจากอบแห้งที่ 105 ^o C	0.6 เปอร์เซ็นต์	<10 เปอร์เซ็นต์
Degree of Deacetylation	85.9 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์	75.0-90.0 โมล/โมลเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงสมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบไคตินและไคโตซาน

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

(a) R.A.A.Muzzarelli, in G.O. Aspinall, ed., The Polysaccharides, Vol.3, Academic Press, New York, 1985.

(b) ไคตินจากรธรรมชาติ (Native chitin)

(c) ไคโตซานทางการค้า (Commercial products)

2.1.9 การทดสอบไคตินและไคโตซานในอุตสาหกรรม[3]

วิธีการทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานในระดับอุตสาหกรรมนั้น มีความแตกต่างจากระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้การทดสอบจะต้องง่ายและให้ผลการทดสอบที่มีนัยสำคัญ แม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยการกำหนดมาตรฐาน และวิธีการของไคตินและไคโตซานยังไม่ได้ดำเนินการแต่ผู้ประกอบการอาจคำนึงถึงบางรายการที่สามารถดำเนินการได้เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นถึงคุณภาพของวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่ผลิตได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

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
ความสามารถในการละลายในสารละลายต่าง	หาน้ำหนักที่หายไปหลังแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5เปอร์เซ็นต์ที่ 95 ± 2 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงแล้ว อบที่ 105 ± 2 °C เป็นเวลา 3 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 -วัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ที่ 20 องศาเซลเซียส

2.1.10 การกำหนดสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพและเคมีสำหรับประเทศไทย[3]

เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตวัตถุดิบไคตินและไคโตซานที่สูงที่สุดในโลกแห่งหนึ่ง ดังนั้นการส่งเสริมการประยุกต์ใช้การสนับสนุนด้านการศึกษาและวิจัย ตลอดจนการวางแนวทางการให้ข้อมูลที่ถูกต้องสำหรับผู้บริโภคต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญในการที่จะให้ไคตินและไคโตซานเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีมูลค่าเพิ่มในทิศทางที่ถูกต้อง

ดังนั้นขั้นพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ที่เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงหรือตรวจสอบได้ เพื่อให้ผู้ประกอบการ นักวิจัย และผู้บริโภคได้สามารถเลือกใช้ไคโตซานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ

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

2.1.11 สมบัติที่สำคัญของสารไคตินและไคโตซาน[3]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่สารไคตินและไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายยาว ฉะนั้นขนาดของโมเลกุลจึงมีส่วนในการแสดงสมบัติต่างๆ ที่ปรากฏออกมาและสามารถปรับเปลี่ยนในการนำไปประยุกต์ใช้ได้ เช่นพวกที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ยาว ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้วเมื่อนำมาละลายแล้วจะมีประจุบวกสูงสามารถใช้ในการตกตะกอนด่างเอาสารอื่นลงมารวมเป็น กลุ่มตะกอนได้ดี ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศที่มีกฎเกณฑ์เข้มงวดด้านสิ่งแวดล้อม ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้ไคตินและไคโตซานในการตกตะกอนและรวมตะกอนที่ได้แยกออกมาแล้วนำกลับไปสู่สิ่งแวดล้อมใหม่ โดยเกิดการหมุนเวียนเข้าสู่ระบบนิเวศได้ พวกไคตินและไคโตซานที่มีขนาดโมเลกุลที่สั้นและน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เรียกว่าพวกโอลิโกเมอร์ มีความสำคัญและมีประสิทธิภาพมากในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยมีผลงานวิจัยในหลายประเทศพบว่า พวกโอลิโกเมอร์ที่กล่าวนี้มีสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของยีนส์ในพืชสามารถช่วยให้พืชเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนที่เสริมสร้างภูมิคุ้มกันตนเองได้ซึ่งถือว่าเป็นพวก Elicitor นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นและเกี่ยวกับการแสดงออกของยีนในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อีกมากมาย นอกจากนี้หน่วยย่อยที่เป็นองค์ประกอบของสารไคตินและไคโตซานหรือโมโนเมอร์ ยังพบว่ามีมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตโดยเป็นองค์ประกอบในอวัยวะบางอย่าง เช่น กระดูกอ่อน ฉะนั้นจึงมีผลการวิจัยสนับสนุน การนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในการเสริมสร้างและรักษาโรคเกี่ยวกับไขข้อและกระดูกเสื่อม ปัจจุบันได้มีผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ออกสู่ตลาดมากมาย

จากผลการศึกษาวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่าตัวสารไคตินและไคโตซานมีประสิทธิภาพในตัวมันเองอยู่แล้ว หากมีความรู้เพียงพอที่จะนำมาปรับปรุงการใช้ให้เหมาะสมก็จะสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ฉะนั้นผลการวิจัยทดลองเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะเลือกเทคโนโลยีในการผลิตให้เหมาะสมกับการใช้งานจึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง

การนำไคตินและไคโตซานไปปรับปรุงประยุกต์ใช้นั้นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเป็นสำคัญ ประสิทธิภาพที่เกิดจากการใช้ต้องมีคำอธิบายและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มาสนับสนุน จึงจะก่อให้เกิดความถูกต้องและความมั่นใจต่อการใช้สมบัติเด่นประการหนึ่งของไคตินและไคโตซาน คือ การต่อต้านจุลินทรีย์โดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง พบว่าปัจจุบันมีความต้องการสารต่อต้านด้านจุลินทรีย์ที่มาจากธรรมชาติเพิ่มขึ้น จึงมีการศึกษาด้านประสิทธิภาพของสารไคตินไคโตซานและอนุพันธ์ต่างๆ เพื่อการนำมาใช้ในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีกลไกที่นักวิทยาศาสตร์อธิบายไว้ดังนี้

1) โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตซานกับประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้เกิดการแตกและการร่วออกมาของสารโปรตีนและสารอื่นๆ 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 ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5)เมื่อมีการซึมเข้าไปของพวกโคโตซานโมเลกุลเล็กเข้าสู่ในนิวเคลียสของเซลล์จุลินทรีย์และเราบางชนิดพบว่า มีการจับตัวกันของโคโตซานกับ DNA ทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์ Mrna ซึ่งขัดขวางการสังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ของจุลินทรีย์นั่นเอง

2.1.12 การใช้ประโยชน์จากโคตินและโคโตซาน[4]

โคตินสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมเกษตร และการแพทย์ ได้ดังนี้

2.1.12.1 ด้านการเกษตร

- ใช้เป็นปุ๋ย
- เป็นผสมในอาหารสัตว์
- เป็นส่วนผสมในอาหารเม็ดสำหรับเลี้ยงปลาและกุ้ง
- ปรับปรุงคุณภาพดินและผสมในดินเพื่อปรับสภาพของดินเหนียว
- ใช้ในด้านการเก็บรักษาพันธุ์พืชใช้เป็นยาฆ่าหนอนตัวกลม
- เป็นพาหะของจุลินทรีย์ในดินเพื่อป้องกันการเกิดโรคในพืช

2.1.12.2 ด้านเครื่องสำอาง

- โคตินโคโตซานและอนุพันธ์มีศักยภาพในการเป็นเครื่องสำอางใช้ดูแลรักษาผิวบนอัมผิว และรักษากลิ่นปาก

2.1.12.3 ด้านอาหาร

- ใช้ในรูปของวัตถุเจือปน เพื่อช่วยจับไขมันและคลอเลสเตอรอลให้ร่างกายรับไขมันน้อยลง
- ช่วยควบคุมความชื้นเหน็ด ทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่ต้องการ
- ใช้ผลิตสารให้ความหวาน
- การผลิตโปรตีนเซลล์เดียว
- การผลิตเครื่องดื่มโดยใช้โคโตซาน ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โคโตซาน จะซึมซับโลหะ ยาฆ่าแมลง และมลสารอื่นๆ ที่ปะปนมากับน้ำและสามารถลดความขมและทำเป็นน้ำผลไม้ได้อีกด้วย

2.1.12.4 ด้านการแพทย์และเภสัช

- ใช้ในการตกแต่งบาดแผล เส้นไหมโคตินสามารถนำมาถักทอเป็นแผ่นเพื่อนำมาใช้ตกแต่งบาดแผลทำหน้าที่เร่งการสมานแผลและลดความเจ็บปวด แผ่นโคโตซานนี้ไม่ละลายโดยง่ายจากของเหลวจากร่างกายซึ่งต่างจากผิวหนังเทียม แผ่นโคตินสามารถนำมาใช้ในการตกแต่งบาดแผลที่เกิดขึ้นที่ใบหน้าและตำแหน่งที่มีการปลุกถ่ายอวัยวะ

- ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรักษาแผล
- เป็นสารห้ามเลือด
- ใช้ในการรักษาทางทันตกรรม
- เป็นสารจับกับไขมันและสารต้านการสร้างคอเลสเตอรอล
- ใช้ในการปลูกถ่ายเซลล์
- ใช้เป็นสารต้านมะเร็ง
- ช่วยในการทำงานของระบบย่อยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.12.5 การบำบัดกากของเสียและน้ำ

- การบำบัดน้ำดื่ม การนำโคโตซาน (รวมทั้งอนุพันธ์) ร่วมกับถ่านกัมมันต์ สามารถทำให้น้ำดื่มบริสุทธิ์ได้ โคโตซานมีหน้าที่ 2 ประการ คือ กำจัดสารประกอบอินทรีย์ และสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว พรอท แคดเมียม และสังกะสีได้

- การบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำและบ่อแร่ โคโตซานและอนุพันธ์ สามารถตกตะกอนได้ เช่น น้ำมัน สบู่ สิ่งสกปรก ฟุนที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำในสระว่ายน้ำ บ่อน้ำแร่ บ่อน้ำร้อน น้ำพุ ทะเลสาบ และแหล่งน้ำใต้อื่น

- การกำจัดกากของเสียประเภทอาหาร โคโตซานจะจับกับอนุภาคที่เป็นคอลลอยด์ซึ่งแพร่ กระจายอยู่ในน้ำทั้งโดยจะดึงโปรตีนกลับมาเพื่อใช้ผลิตอาหารสัตว์ กระบวนการดึงเอาโปรตีนคืนมาจะใช้วิธีการเติมสารละลายโคโตซาน 0.25-1.0 เปอร์เซ็นต์ลงในน้ำทิ้ง จะได้ตะกอนโปรตีนซึ่งประกอบด้วยโคโตซาน 0.5-8.0 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน 30-70 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง)

2.2 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP)[5]

เอกลักษณ์

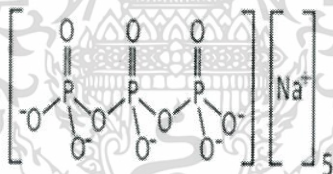
สูตรเคมี: $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$

น้ำหนักโมเลกุล: 367.86g/mol

จุดหลอมเหลว: 622 °C

ความหนาแน่น: 2.52 g/cm³

โครงสร้างทางเคมี:



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

ชื่อเรียกอื่นๆ: sodium tripolyphosphate, polygon, STPP

ชื่อทางการค้า: sodium tripolyphosphate

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

เป็นผงหรือเม็ดสีขาว ละลายน้ำได้

2.2.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

ใช้ในการผลิตผงซักฟอก, ในอุตสาหกรรมอาหารจะช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์และอาหารทะเล, ป้องกันโปรตีนเสื่อมคุณภาพ, รักษาสีสรรของผลิตภัณฑ์, ลดการเกิดเจลในน้ำผลไม้ และเนื้อแฮมกระป๋อง และทำให้ถั่วประป้อมมีความอ่อนนุ่ม, ลดการเหี่ยวยุบในอาหารจำพวกไส้กรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ความปลอดภัย

ทำให้เกิดการระคายเคืองเมื่อมีการสัมผัส

2.3 คอปเปอร์(II)ซัลเฟต (Copper (II) Sulfate)[6]

เอกลักษณ์

สูตรเคมี: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

น้ำหนักโมเลกุล : 249.6850 g/mol

จุดหลอมเหลว : 110 °C (-4H₂O)

150 °C (423 K) (-5H₂O)

< 650 °C *decomp.*

ความหนาแน่น : 3.603 g/cm³ (anhydrous)

2.284 g/cm³ (pentahydrate)

โครงสร้างทางเคมี :



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของคอปเปอร์(II)ซัลเฟต

ชื่อเรียกอื่นๆ : Cupric sulfate, Blue vitriol, Bluestone, Chalcantite

ชื่อทางการค้า : Copper (II) Sulfate

2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

เป็นผลึกของแข็งสีฟ้า/เป็นผงสีขาว

2.3.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้คอปเปอร์(II)ซัลเฟต

ใช้ CuSO_4 ในการทดลองเรื่องการตกผลึก และการชุบทองแดงด้วยไฟฟ้า และใช้สาธิตปฏิกิริยาคายความร้อนโดยใช้แผ่นแมกนีเซียม (Magnesium ribbon) จุ่มลงในสารละลายของ CuSO_4 นอกจากนั้นยังใช้ทดลองการเติมน้ำเข้าไปในโครงสร้างผลึก (hydration) โดยสังเกตได้จากสีของ CuSO_4 ที่เปลี่ยนไปซึ่งเมื่อให้ความร้อนกับ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (สีน้ำเงิน) โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากโครงสร้างได้ CuSO_4 (สีขาวเทา) ในทำนองเดียวกันเมื่อน้ำเข้าไปอยู่ในโมเลกุลของ CuSO_4 ก็จะกลับไปเป็น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีจากสีขาวเทาเป็นสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ความปลอดภัย

เกิดการระคายเคืองต่อระบบการมองเห็น ทางเดินหายใจและผิวหนังสามารถดูดความชื้นโดยดูดซับจากอากาศได้

2.4 กระบวนการดูดซับ (Adsorption)[7]

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพชีวภาพและเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำทิ้ง การดูดซับเป็นความสามารถของสารใส่การดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในก๊าซหรือของเหลวให้มาเกาะจับและติดบนผิว ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายจากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของของแข็งที่เป็นส่วนสำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Absorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Absorbent) คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่นๆ ของตัวดูดซับ เช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการดูดซับการเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม ทำให้สามารถแยกโมเลกุลที่เราต้องการออกมา โดยให้ถูกดูดซับบนตัวดูดซับนั้นเมื่อดูดซับจนอิ่มตัวแล้วสามารถนำมาไล่เอาโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ ออก โดยการเปลี่ยนสภาพสมดุล เช่น การเปลี่ยนอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนความดัน ทำให้ตัวดูดซับกลับสู่สภาพเดิม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

การดูดซับมีความสามารถในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำทิ้งที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยอาศัยกลไกทางกายภาพเคมี สารที่สามารถใช้กระบวนการดูดซับในการกำจัดได้มีหลายชนิด เช่น สี กลิ่น บีโอดี ซีโอดี ยาฆ่าแมลง เป็นต้น การดูดซับเป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการควบคุมมีประสิทธิภาพดีและระบบมีความทนทานต่อสารพิษ ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบชีวภาพคือ ต้องการพื้นที่น้อย

2.4.1 ลักษณะการดูดซับ

การดูดซับแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption)
- 2) การดูดซับทางเคมี (Chemisorption)

การดูดซับทั้ง 2 แบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้และยึดติดกับผิวของของแข็งซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของของแข็งสามารถเอาชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวได้

การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากปฏิกิริยาของแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's force) ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London Dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่บนชั้นโมเลกุล ก่อนหน้านั้นโดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายซึ่งจำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพทั่วไปจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าแรงนี้มีค่าน้อยการหลุดออกของสารที่ถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมีนั้น จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับกลายเป็นสารประกอบเคมีใหม่ขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดแล้วจะคงอยู่ในรูปนั้นจะแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้มีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียว (Monolayer) และไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับเองได้ (Irreversible) แต่การดูดซับทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้ (Reversible) เนื่องจากการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของแรงดึงดูดสามารถวัดได้จากผลต่างของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะให้พลังงานต่ำโดยทั่วไปประมาณ 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล ส่วนการดูดซับทางเคมีจะให้พลังงานสูงโดยจะให้พลังงานประมาณ 15-50 กิโลแคลอรีต่อโมล

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

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

2) ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม

3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อจำกัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.4.2 กลไกการดูดซับและอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล(Rate of Molecular Transfer)

1) กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1.การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าถึงตัวดูดซับซึ่งพื้นผิวของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้มโดยโมเลกุลแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

2.การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกตัวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

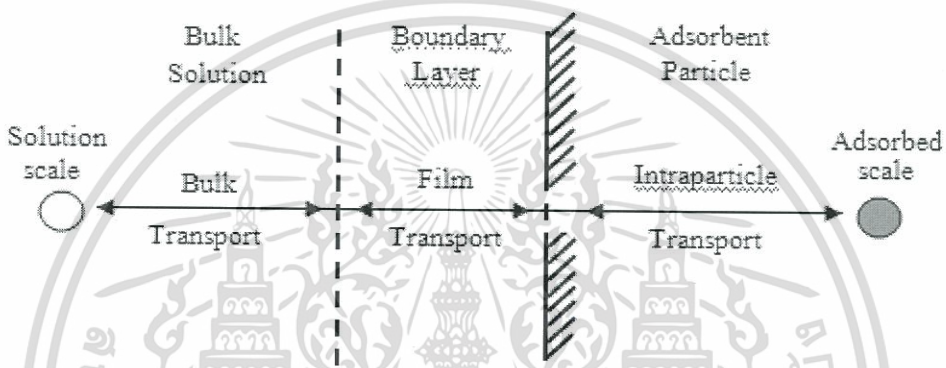
3.ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายดูดซับที่ผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่ ดังนั้นแรงต้านทานจากปฏิกิริยาพื้นผิวจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง

2) อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecule Transfer)

อัตราการดูดซับมีความสำคัญมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุม โดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุลซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนในการดูดซับของสารละลายมี 3 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การขนส่งอนุภาค (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดโมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
2. การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางแทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง
3. การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายใน ขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน ขั้นตอนที่การเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับ แสดงดังรูปที่ 2.7



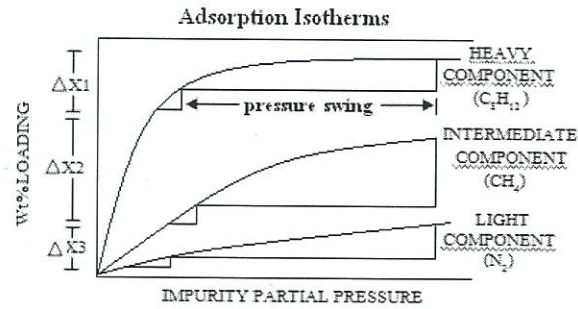
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารดูดซับมายังสารดูดซับด้วยผ่านกัมมันต์

ภายใต้สภาวะการทำงานหนึ่งๆ การขนส่งฟิล์มจัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ แต่ถ้าภายในระบบมีสภาพความปั่นป่วนเพียงพอ ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาคจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการดูดซับ

2.4.3 สมดุลการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

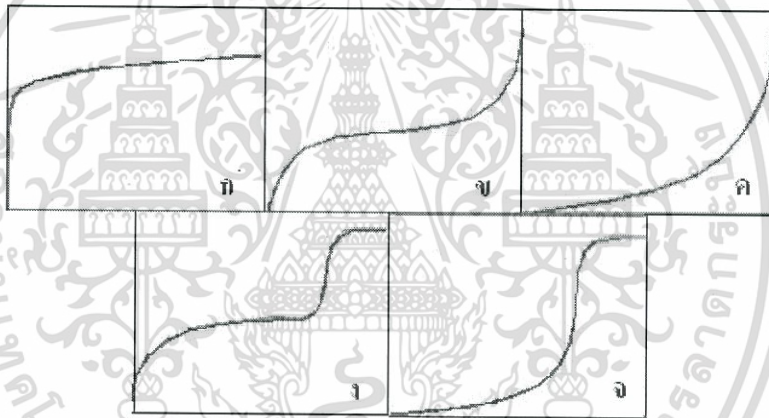
ความสามารถในการดูดซับนอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวดูดซับเอง เช่น จำนวนช่องว่างหรือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันของตัวดูดซับโดยสภาวะการดูดซับนี้มีผลต่อสภาพสมดุลของการดูดซับซึ่งเป็นสภาวะการดูดซับที่จุดอิ่มตัว สภาพสมดุลของการดูดซับหาได้จากการทดลองโดยนิยมนำข้อมูลมาแสดงในลักษณะของไอโซเทอม (Isotherm) โดยเป็นเส้นแสดงปริมาณการดูดซับตามการเปลี่ยนแปลงของความดัน ณ อุณหภูมิคงที่ ดังรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าการดูดซับจะมากขึ้นเมื่อความดันสูง และจะลดลงเมื่อความดันต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟไอโซเทอม (Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการดูดซับและปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมการดูดซับมี 5 แบบ ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งไอโซเทอมรูป (ก) เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนรูป (ข) ถึง (จ) เป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น



รูปที่ 2.9 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

2.4.4 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน

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

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

สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2.1)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ q = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม
 q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบ
 ชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุลหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

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

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

หรือ
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_e} + \frac{1}{bq_e C_e} \quad (2.3)$$

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

2) สมการไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich Adsorption Isotherm) ไอโซเทอม
 การดูดซับแบบ Freundlich ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในกรณีอธิบายการดูดซับในระบบของของเหลว
 ดังสมการ

$$q_e = kC_e^{1/n} \quad (2.4)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับแบบ
 ชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่จุดสมดุลหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

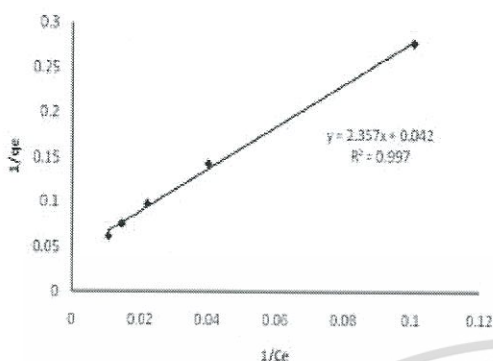
สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงได้ดังสมการ (2.5)

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

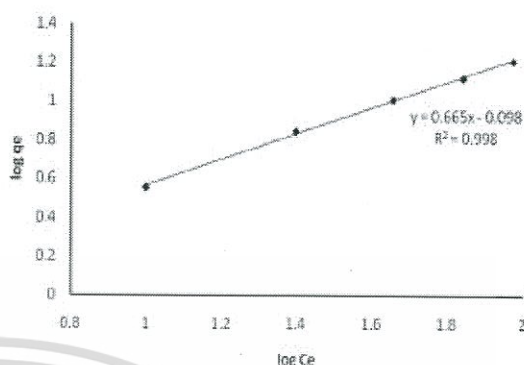
พลอตกราฟระหว่าง $\log q_e$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัด
 แกนเท่ากับ $\log K$ ดังรูปที่ 2.10(ข) ค่า $1/n$ ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วย
 ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า $1/n$ ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของ
 การดูดซับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ Freundlich มีประโยชน์มากที่สุดสำหรับการละลายที่เจือจาง ปกติจะใช้กับการดูดซับสิ่งเจือปนในสารละลายบนถ่านกัมมันต์



(ก) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์



(ข) ไอโซเทอมแบบฟรอนด์ริช

รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการหาค่าคงที่ในไอโซเทอมแบบต่างๆ

2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (Size and Surface area)

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับและพื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวภายในรูพรุนถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ ในทางกลับกันถ้าการเคลื่อนที่ภายในรูพรุนเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับ การดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

2) ลักษณะของสารถูกดูดซับ (Adsorbate characteristics)

สิ่งสำคัญในการดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลายอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลาย การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกการดูดซับ ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

3) อัตราเร็วของการปั่นกวน (Mixing speed)

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์มและการแพร่เข้าสู่โพรง ซึ่งขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนาและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้เชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรง จะเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

4) เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ในการบำบัดน้ำทิ้ง ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้จะต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารดูดซับและสารถูกดูดซับซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

5) ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออน สามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

X.Zhang และR.Bai[8] ในปี ค.ศ. 2003 ได้ศึกษาการนำไคโตซานมาเคลือบบนเม็ด Polyethylene terephthalate หรือ PET แล้วนำมากำจัดกรดฮิวมิกด้วยกระบวนการดูดซับแบบแบตช์ (batch adsorption) จากผลการทดลองพบว่าการดูดซับกรดฮิวมิกบนไคโตซานที่เคลือบบน PET ขึ้นกับ pH ของสารละลาย โดยกรดฮิวมิกถูกดูดซับได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและเบส แต่ปริมาณการดูดซับมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่ม pH ของสารละลาย จากข้อมูลการดูดซับกรดฮิวมิกที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ที่อุณหภูมิและ pH คงที่ พบว่าสอดคล้องกับ model การดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich สำหรับกลไกการดูดซับคาดว่าหมู่อะมิโนของชั้นไคโตซานจะถูกโปรโตเนต (protonate) ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างหมู่อะมิโนที่ถูกโปรโตเนตและกรดฮิวมิกขึ้น

W.S.Wan Ngah และคณะ[9] ในปี ค.ศ. 2008 ศึกษาการดูดซับกรดฮิวมิกจากสารละลายด้วยเม็ดไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิคลอโรไฮดริน(ECH) และศึกษาผลทางจลนศาสตร์และไอโซเทอมการดูดซับจากผลการทดลองที่ได้พบว่า มีการดูดซับกรดฮิวมิกที่ดีที่สุดบนเม็ดไคโตซาน-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

เกวลี ชันธชัยภูมิและคณะ[10] ในปีค.ศ. 2008 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (III) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์เป็นตัวดูดซับ โดยพบว่าที่ pH 6 ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์สามารถบำบัดโครเมียมได้สูงสุดที่ร้อยละ 88 และ 58 ตามลำดับการเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้สามารถบำบัดโครเมียมได้สูงขึ้นจนถึง 4 ชั่วโมง โดยบำบัดได้ร้อยละ 78 และ 48 สำหรับไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์ตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพเริ่มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R.Laus และคณะ[11] ในปี ค.ศ. 2010 ศึกษาการดูดซับ Cu(II), Cd(II) และ Pb(II) ด้วยไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดรินและไตรฟอสเฟต (CTS-ECH-TTP) จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ Cu(II), Cd(II) และ Pb(II) คือ pH 6.0, 7.0 และ 5.0 ตามลำดับ การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับพบว่ากระบวนการดูดซับที่ศึกษานี้สอดคล้องกับ pseudosecond order model และการดูดซับสอดคล้องกับ Langmuir isotherm โดยปริมาณการดูดซับสูงสุดสำหรับ Cu(II), Cd(II) และ Pb(II) คือ 130.72, 83.75 และ 166.94 mg/g ตามลำดับ

นภสร ศิธรินทร์ และคณะ[12] ในปี ค.ศ. 2010 ศึกษาการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงด้วยอีพิกลอโรไฮดริน โดยศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นเมมเบรนที่ได้ ได้แก่ ปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิกลอโรไฮดริน แผ่นเมมเบรนที่ได้จะนำไปวัดค่าความแข็งแรงดึง การบวมตัว การตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเคมี และการตรวจสอบลักษณะพื้นผิว จากนั้นแผ่นเมมเบรนที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดจะนำไปทำการดูดซับฟีนอลในน้ำทิ้งสังเคราะห์เพื่อทำการหา pH และเวลาในการดูดซับที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า แผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 1:1:1 จะมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าแผ่นเมมเบรนไคโตซานที่ไม่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สำหรับแผ่นเมมเบรนที่เตรียมจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมไคโตซานและอีพิกลอโรไฮดรินในอัตราส่วน 2:1:3 จะมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นเมมเบรนที่อัตราส่วน 2:1:2 การเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และอีพิกลอโรไฮดรินในไคโตซานมีผลทำให้ค่าการบวมตัวของแผ่นเมมเบรนลดลง เมื่อนำแผ่นเมมเบรนไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เชื่อมโยงอีพิกลอโรไฮดรินไปดูดซับฟีนอล พบว่าฟีนอลถูกดูดซับได้มากที่สุดที่ pH 4 และเวลาในการดูดซับ 150 นาที

ศิวพร ไททยะบุรณ และคณะ[13] ในปี ค.ศ. 2015 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัมบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(La/Chi/PVA) และเหล็กบนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(Fe/Chi/PVA) เป็นตัวดูดซับ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของตัวดูดซับ ความเข้มข้นของแลนทานัมและเหล็ก ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เวลาในการดูดซับอุณหภูมิและไอออนร่วมในสารละลาย โดยกำหนด pH ของ สารละลายคงที่เท่ากับ 3 จากการทดลองพบว่าตัวดูดซับ La/Chi/PVA มีประสิทธิภาพในการดูดซับ ดีกว่า Fe/Chi/PVA พบว่าตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA มีการดูดซับดีที่สุดในที่ 240 นาที โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.90% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใต้อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้พบว่าการดูดซับที่อุณหภูมิห้องให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การเติมไอออนร่วม (คอปเปอร์ไอออน) ลงในสารละลายโครเมียม(VI) จะทำให้การดูดซับโครเมียม(VI) ลดลง นอกจากนี้ได้ศึกษารูปแบบไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดิชโดยใช้ตัวดูดซับ 5% La/Chi/PVA ซึ่งพบว่าการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย 5% La/Chi/PVA มีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50, 100, 150, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
2. ปีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250, และ 1,000 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ปีเปต 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 Brand METTLER TOLEDO
12. กระจกนาฬิกา
13. ตู้อบสาร(Oven) Brand memmert
14. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40
15. ชุดกรองแบบลดความดัน
16. เครื่องปั่นกวน(stirred tank)
17. แท่งแม่เหล็ก(Magneticbar)
18. เครื่องวัดอุณหภูมิ(Thermometer) สเกล 0 – 200 องศาเซลเซียส
19. ซ้อนตักสาร
20. แท่งแก้ว
21. กระบอกน้ำกลั่น
22. เครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น LEO 1450 VP ยี่ห้อ LEO
23. เครื่อง Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) GX รุ่น 60237 ยี่ห้อ Perkin Elmer
24. เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Siemens
25. เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) รุ่น Pyric 1 ยี่ห้อ Perkin Elmer
26. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น 6405 ยี่ห้อ Jenway

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

1. ไคโตซาน (Chitosan) เกรดการค้าบริษัท เอ็นเอ็นซี โปรดักส์ จำกัด
2. โพแทสเซียมไดโครเมต(Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์บริษัทFluka
3. กรดแอซิติค (Acetic acid, CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์บริษัท Lab System
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์(Sodium Hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์บริษัท Carlo Erba
5. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) เกรดวิเคราะห์บริษัท Lab Scan
6. อะซีโตน (Acetone, CH_3COCH_3) เกรดวิเคราะห์บริษัท SR. LAB
7. ไดฟีนิลคาบารไซด์ (Diphenylcarbazide) เกรดวิเคราะห์บริษัท Fluka
8. โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต(Sodium tripolyphosphate,) เกรดวิเคราะห์บริษัท ทาริโก้ จำกัด
9. คอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรท (Copper(II)sulfate pentahydrate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
เกรดวิเคราะห์บริษัทแกมมาโก้(ประเทศไทย) จำกัด
10. น้ำกลั่น (Distilled water)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับสังเคราะห์ตัวดูดซับและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

1) การเตรียมสารละลายกรดแอซิติค(CH_3COOH)

ปิเปตกรดแอซิติค 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายสต็อกกรดแอซิติคความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร

2) การเตรียมสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate)

ชั่งโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต จำนวน 50, 75, 100 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายโซเดียมไตรโพลี-ฟอสเฟตความเข้มข้น 5.0, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตรตามลำดับ

3) การเตรียมสารละลายคอปเปอร์(II)

3.1 ชั่งคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 3.9291 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร จะได้สารละลายสต็อกคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 ปิเปตสารละลายสต็อกคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ปริมาตร 50, 150 และ 250 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตรจะได้ความเข้มข้น 100, 300, และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

4) การเตรียมสารละลายโครเมียม(VI)

4.1 ชั่งโพแทสเซียมไดโครเมตจำนวน 2.83 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตรจะได้สารละลายสต็อกโครเมียม(VI)ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ปิเปตสารละลายสต็อกโครเมียม(VI) มา 5, 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตรจะได้ความเข้มข้น 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะในการเตรียมตัวดูดซับโคโตซานที่เตรียมจากโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตและสารละลายคอปเปอร์ (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ชื่อตัวดูดซับและสภาวะที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับ

ชื่อตัวดูดซับ	ปริมาณโคโตซาน (g)	ความเข้มข้นโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (%w/v)	ความเข้มข้นสารละลาย Cu(II) (mg/L)
CT5(100)	4	5	100
CT5(300)			300
CT5(500)			500
CT7(100)	4	7.5	100
CT7(300)			300
CT7(500)			500
CT10(100)	4	10	100
CT10(300)			300
CT10(500)			500

3.3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ

ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตร่วมกับคอปเปอร์ไอออนนั้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก เป็นการเชื่อมโยงไตรโพลีฟอสเฟตเข้ากับสายโซ่โมเลกุลของโคโตซาน เพื่อให้เกิดเป็นเม็ดโคโตซานที่มีความแข็งแรง ขั้นตอนต่อมาจะนำโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) แล้วนำไปดูดซับคอปเปอร์วิธีการในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

1) การสังเคราะห์โคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต (Chitosan-tripolyphosphate)

1.1 ละลายโคโตซาน (Chitosan) 4 กรัม ในสารละลายกรดแอซิติก (Acetic acid) เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรต่อปริมาตร โดยบีเบตมาปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายในสต็อกคนจนโคโตซาน (Chitosan) ละลาย

1.2 นำโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) ในสต็อก ที่ความเข้มข้น 5, 7.5 , 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยบีเบตจากสารละลายสต็อกปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในแต่ละความเข้มข้น

1.3 หยดโคโตซาน (Chitosan) ลงในสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) เกิดเป็นเม็ดโคโตซาน ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

1.4 กรองแบบลดความดัน โดยล้างด้วยน้ำ DI แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การดูดซับคอปเปอร์(II) บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

2.1 นำสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ความเข้มข้น 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากสารละลายสต็อก 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 ปิเปตสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จากสารละลายสต็อกปริมาตร 50 , 150 และ 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร

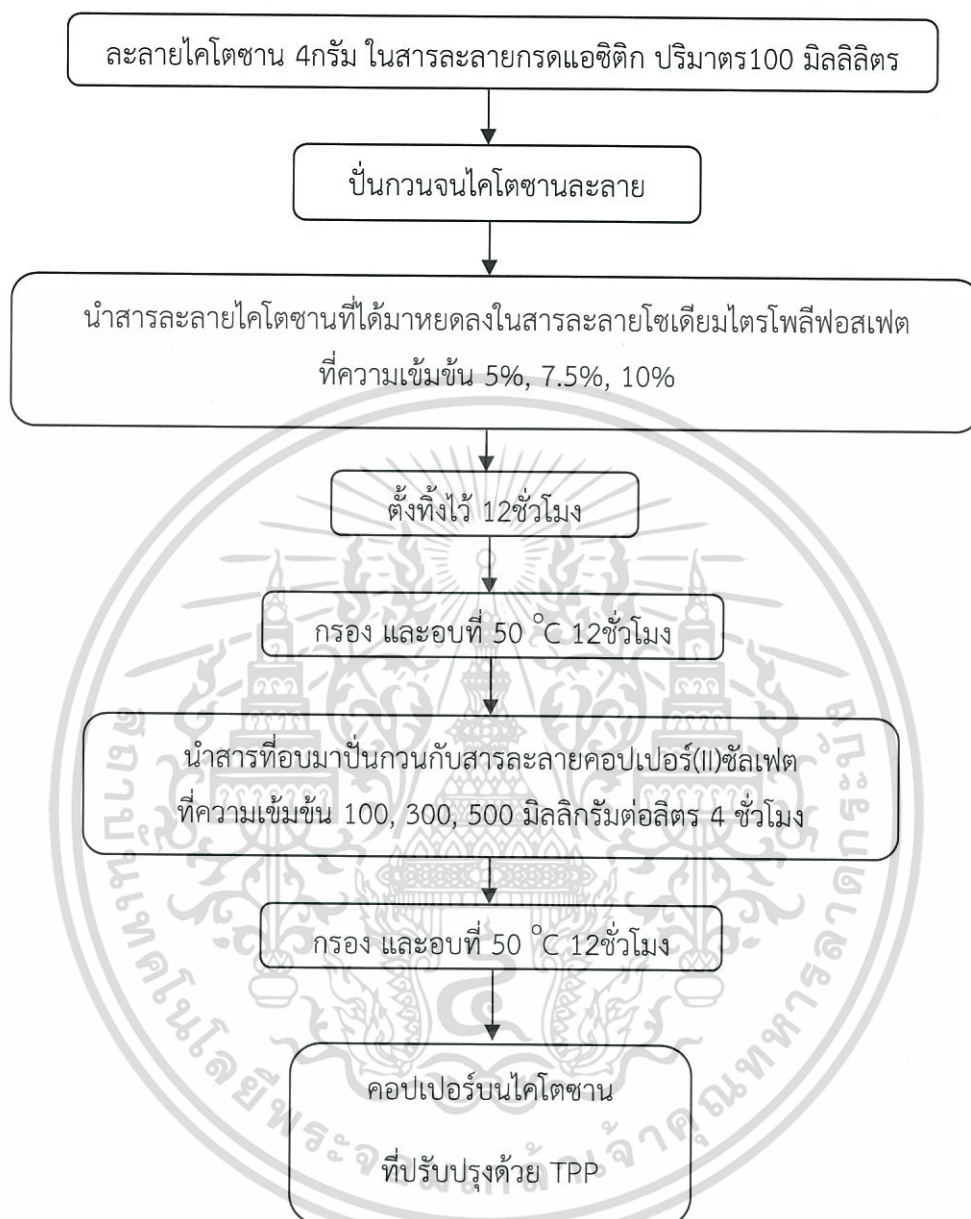
2.3 เติมเม็ดไคโตซานไตรโพลีฟอสเฟต (Chitosan-tripolyphosphate) จำนวน 4 กรัม ในแต่ละความเข้มข้น 5 , 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.4 กรองแบบลดความดันโดยล้างด้วยน้ำ DI แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังการทดลองในการเตรียมตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการเตรียมตัวดูดซับโลหะทรานซิชัน (คอปเปอร์)บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วย โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

3.3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม(VI)

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

2) เติมน้ำกลั่นมาตรฐานโครเมียม(VI) แต่ละความเข้มข้นในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิตร และปรับ pH ของสารละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ให้มี pH 3 โดยใช้กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์(Universal Indicator) ในการวัด pH

3) เติมน้ำกลั่นไดฟีนิลคาบาริไซด์ในอะซิโตน 2 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาสร้างสีเกิดโดยสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัด % Transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 354 นาโนเมตรโดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์

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

3.3.3.2 การศึกษาผลของสถานะในการเตรียมตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI)

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตซึ่งความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ที่ใช้เตรียมตัวดูดซับเป็น 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเป็น 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (ตามตารางที่ 3.1) ขั้นตอนการทดลองเป็นดังนี้

1) เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตรโดยเจือจางจากสารละลายสต็อกโครเมียม(VI) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรปรับ pH ของสารละลายเป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

2) นำสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มา 10 มิลลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เทใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิตร และกำหนดชุดการทดลอง 9 ชุด (ชุดที่ 1-3 เป็น Cu(0)/Chi/TPP ที่เตรียมจากความเข้มข้นของคอปเปอร์ 100, 300, 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ชุดที่ 4-6 เป็น Cu(0)/Chi/TPP ที่เตรียมจากความเข้มข้นของคอปเปอร์ 100, 300, 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ ชุดที่ 7-9 เป็น Cu(0)/Chi/TPP ที่เตรียมจากความเข้มข้นของคอปเปอร์ 100, 300, 500 มิลลิกรัมต่อลิตรและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เติมตัวดูดซับ 0.5 กรัม หลังจากนั้นนำไปตั้งในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง

3) เมื่อครบเวลานำของผสมไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม(VI) ด้วยวิธีสร้างสีกับไดฟีนิลคาบาริไซด์โดยปิเปตสารละลายโครเมียม(VI) มา 1 มิลลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นไดฟีนิลคาบาริไซด์ในอะซิโตน 2 มิลลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการสร้างสีอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำไปวัด % transmittance (%T) ที่ความยาวคลื่น 354 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์ของการดูดซับ

5) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 9 ตัวอย่าง จากนั้นทำการเลือก Cu(O)/Chi/TPP ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด มาทำการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) และเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ

สถานะที่ใช้ในการศึกษาผลของสถานะในการเตรียมตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI) แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สถานะที่ใช้ศึกษาผลของสถานะในการเตรียมตัวดูดซับที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI)

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นสารละลายโครเมียม (VI) เริ่มต้น (mg/L)	pHของสารละลาย	ปริมาณตัวดูดซับ (g)	เวลาในการดูดซับ (hr)
CT5(100)	100	pH 3	0.5	สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ทุก 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง
CT5(300)				
CT5(500)				
CT7(100)				
CT7(300)				
CT7(500)				
CT10(100)				
CT10(300)				
CT10(500)				

3.3.3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI)และเวลาที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียม(VI)

1) เตรียมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครเมียม(VI) เท่ากับ 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเตรียมจากสต็อกสารละลายโครเมียม(VI) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) ปรับ pH ของน้ำทิ้งสังเคราะห์ให้ได้เป็น 3 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

3) เติมตัวอย่างน้ำทิ้งสังเคราะห์จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่จากนั้นเติมตัวดูดซับที่ทำการคัดเลือกจากการทดลองใน 3.3.3.2 ปริมาณ 0.5 กรัมหลังจากนั้นนำไปเขย่าในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องทำการจับเวลาเพื่อสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยทำที่เวลา 0.5, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง

4) สุ่มตัวอย่างตามเวลาดังข้อ 3 โดยสุ่มตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม(VI) ที่เหลืออยู่โดยการสร้างสีกกับไดฟีนิลคาบาริไซด์จากนั้นนำไปวัด %transmittance(%T) ที่ความยาวคลื่น 354 นาโนเมตรด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทำการประมวลผลหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับและพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุลกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ที่สมดุลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับและนำข้อมูลไปหาไอโซเทอมการดูดซับต่อไป

สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของความเข้มข้นโครเมียม(VI) และเวลา ที่มีต่อการกำจัดโครเมียม(VI) แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) และเวลาในการดูดซับ ที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียม(VI)

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม(VI) เริ่มต้น (mg/L)	pH ของสารละลาย	ปริมาณตัวดูดซับ(g)	เวลาในการดูดซับ (hr)
เลือกตัวดูดซับที่ใช้ การกำจัดโครเมียม(VI) สูงสุดจาก ตารางที่ 3.3	50	pH 3	0.5	สุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์ ทุก 0.5,1,2,3และ4 ชั่วโมง
	100			
	200			
	300			

3.3.4 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับโครเมียม(VI)

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.3.3 มาทำการวิเคราะห์ไอโซเทอมของการดูดซับว่าเป็นแบบแลงเมียร์หรือแบบฟรุนดลิช

3.3.5 การทดสอบสมบัติทางเคมีและพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ

สมบัติที่ทดสอบ	เครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
1.วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน	Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)
2.ลักษณะพื้นผิวตัวดูดซับก่อนและหลังทำปฏิกิริยา	Scanning Electron Microscope (SEM)
3.วิเคราะห์โครงสร้างผลึก	X-ray Diffractometer (XRD)
4.วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก	Thermogravimetric Analysis (TGA)
5.วิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ	X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการดูซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยใช้คอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต โดยการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต

ตอนที่ 2 ศึกษาการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ โดยใช้คอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของไตรโพลิฟอสเฟต ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เวลาในการดูดซับ และไอโซเทอมของการดูดซับ

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต

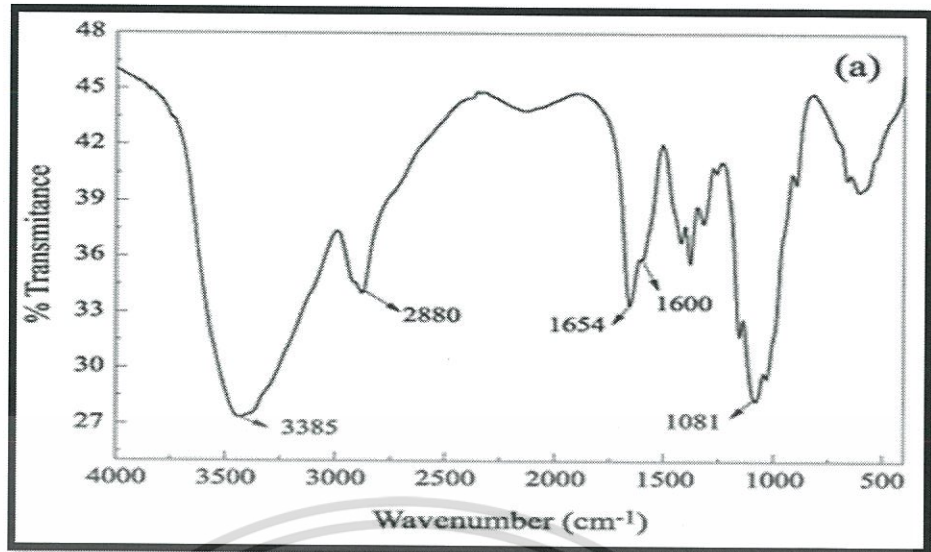
ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของโคโตซาน โคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต และโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟตและคอปเปอร์โดยใช้เทคนิค FT-IR, XRD, XRF, SEM และ TGA ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟต

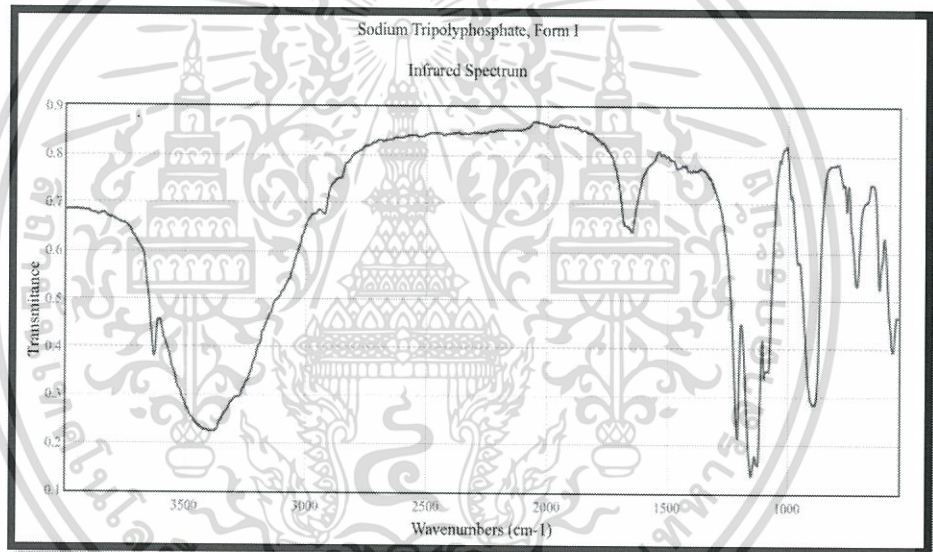
โคโตซานและโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลิฟอสเฟตจะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตซานและโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 เป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตซาน โดยจะพบชนิดของการสั่นที่เลขคลื่นต่างๆ ดังนี้ ที่เลขคลื่นประมาณ 3385 cm^{-1} เป็นพีคของ O-H stretching และ N-H stretching ของ primary amine, เลขคลื่น $2880\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีคของ C-H stretching, เลขคลื่น 1654 และ 1600 cm^{-1} เป็นพีคของ N-H bending ของ primary amine, ที่เลขคลื่นประมาณ 1300 cm^{-1} เป็นพีคของ C-N Stretching ที่เลขคลื่น 1081 cm^{-1} เป็นพีคของ C-O-C stretching ซึ่งพีคดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างของโคโตซานซึ่งเป็นเซลลูโลสต่อกับหมู่อะมิโน[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



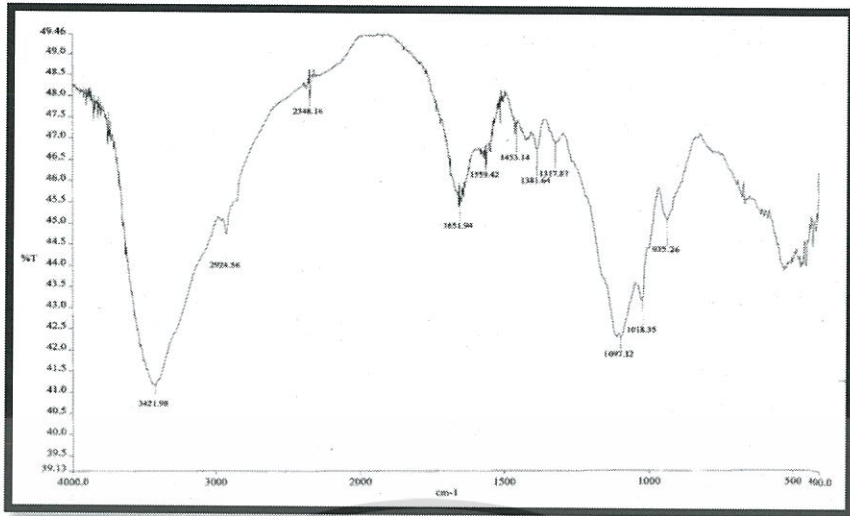
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคซาน[13]



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต [14]

จากรูปที่ 4.2 เป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โดยจะพบชนิดของการสั่นที่เลขคลื่นต่างๆ ดังนี้ ที่เลขคลื่นประมาณ 3400-3600 cm⁻¹ เป็นพีคของ O-H stretching และที่เลขคลื่น 1100-1200 cm⁻¹ เป็นพีคของ P=O stretching, ที่เลขคลื่น 900-1050 cm⁻¹ เป็นพีคของ P-O stretching ซึ่งพีคดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต [15]

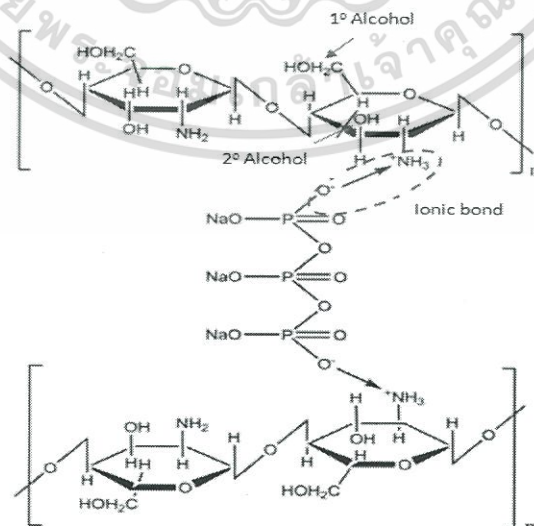
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.3 เป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตยังคงพบพีก C-H stretching ที่ 2924.56 cm^{-1} และพีก C-H Bending ที่ 1453.14 cm^{-1} ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าในโครงสร้างยังมี CH_2 อยู่ แต่จะพบพีก N-H bending ที่ 1651.94 cm^{-1} และ 1559.42 cm^{-1} แสดงว่าเป็น Secondary Amine และพีกของ N-H stretching ที่ $3200\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอาจจะซ้อนเหลื่อมกับพีกของ O-H stretching ทำให้ไม่พบพีก N-H stretching แสดงว่าในโครงสร้างของตัวดูดซับ O จากโครงสร้างของไตรโพลีฟอสเฟต (TPP) จะเข้าไปตั้งคู่กับหมู่อะมิโนที่ถูกโปรตอนเนต (NH_3^+) ในสารละลายกรดในโครงสร้างไคโตซานและยังพบว่ามีพีก O-H stretching ที่ 3421.98 cm^{-1} และพีก C-O stretching ที่ 1097.12 cm^{-1} และ 1018.35 cm^{-1} แสดงว่าภายในโครงสร้างของตัวดูดซับ มีทั้ง Primary Alcohol และ Secondary Alcohol นอกจากนั้นยังพบพีก P-O stretching ที่ 935.26 cm^{-1} ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีหมู่ PO_4 อยู่ในโครงสร้างของตัวดูดซับ

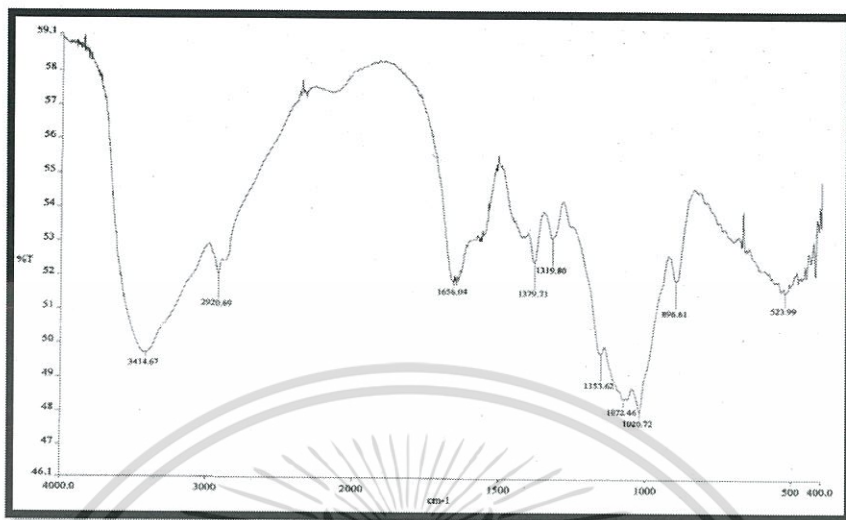
สำหรับพีกของ P=O stretching ซึ่งมีเลขคลื่นระหว่าง $1100\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$ อาจซ้อนเหลื่อมกับพีกของ C-O stretching โดยโครงสร้างของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 โครงสร้างของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวดูดซับคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต จะถูกนำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR อินฟราเรดสเปกตรัม แสดงดังรูปที่ 4.5

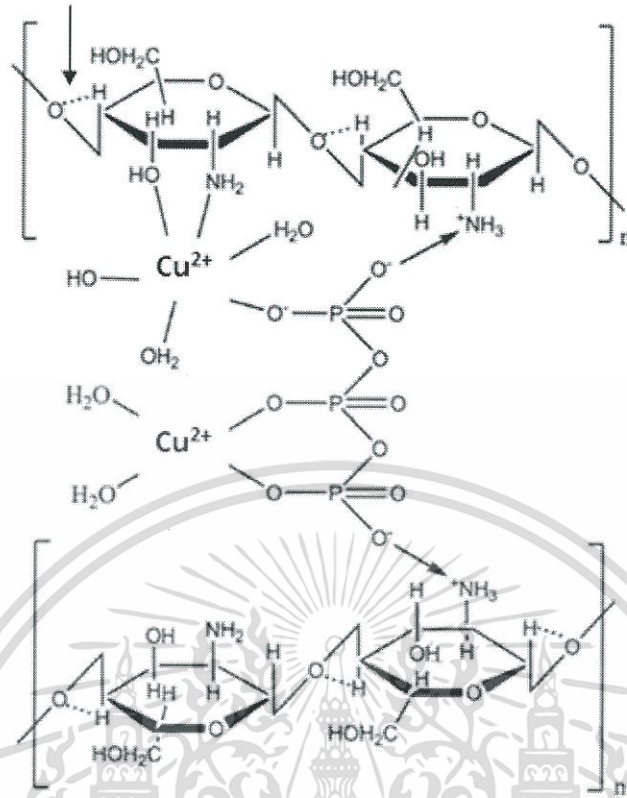


รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต (ปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต 7.5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และความเข้มข้นของสารละลาย Cu^{2+} เป็น 300 mg/l)

จากรูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.3) แต่พบว่ามีพีค O-H stretching ที่ 3418.89 cm^{-1} ทำให้ทราบว่าในโครงสร้างยังมี Alcohol อยู่ แต่พีค O-H stretching จะมีความกว้าง (broad) มากขึ้นและเลื่อนไปทางเลขคลื่นน้อยลง แสดงว่ามีการเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้พีค C-O stretching ของ Secondary Alcohol เลื่อนไปทางเลขคลื่นน้อยลง คือ 1070.65 cm^{-1} อาจเป็นเพราะ หมู่ O-H ของ Secondary Alcohol ไปเชื่อมโยงเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคอปเปอร์(II) ทำให้พันธะ C-O มีพลังงานต่ำลง ส่งผลให้เลขคลื่นต่ำลงด้วย สำหรับพีคของ P-O stretching เลื่อนจาก 935.26 cm^{-1} ไปอยู่ที่ 896.61 cm^{-1} อาจเป็นผลจากการเกิดพันธะของ O^- ในโมเลกุลของ PO_4^{3-} กับ Cu^{2+} ดังแสดงโครงสร้างของคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

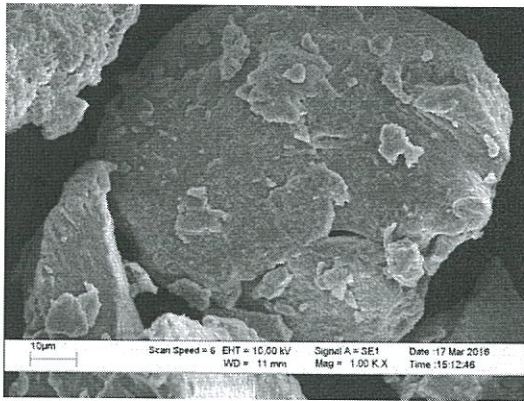
Intramolecular hydrogen bonds



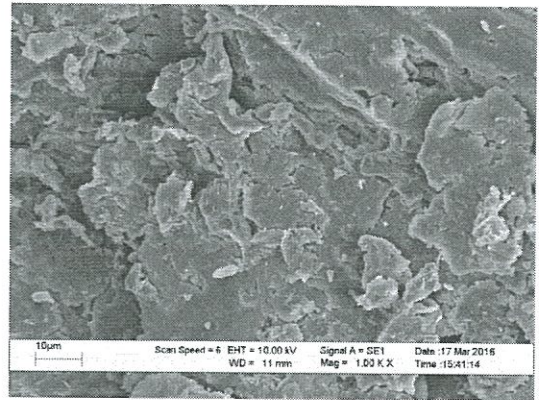
รูปที่ 4.6 โครงสร้างของคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

4.1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

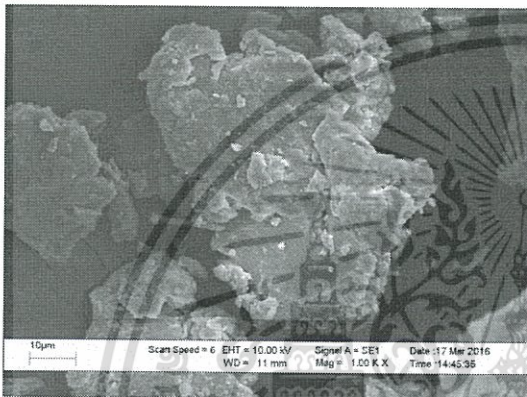
ไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์ (CT7) จะถูกนำไปศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต และคอปเปอร์ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (CT7(100)) และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (CT7(500)) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.7(ก)-4.7(ค) สำหรับลักษณะพื้นผิวของไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 10 เปอร์เซ็นต์ และคอปเปอร์ที่ความเข้มข้น 100 mg/l (CT10(100)) แสดงดังรูปที่ 4.7(ง)



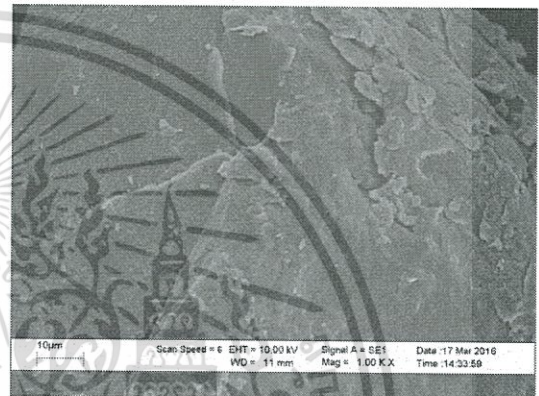
(ก) CT7



(ข) CT7(100)



(ค) CT7(500)



(ง) CT10(100)

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วย ไตรโพลีฟอสเฟตที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.7(ก) จะเห็นได้ว่าโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ เมื่อนำไปปรับปรุงโครงสร้างด้วยคอปเปอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าพื้นผิวมีลักษณะขรุขระและหนาขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการเกาะตัวของคอปเปอร์บนพื้นผิวของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตโดยเมื่อปริมาณของคอปเปอร์เพิ่มขึ้น พื้นผิวมีแนวโน้มที่จะขรุขระขึ้นที่ความเข้มข้นไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.7(ข) และ 4.7(ค)

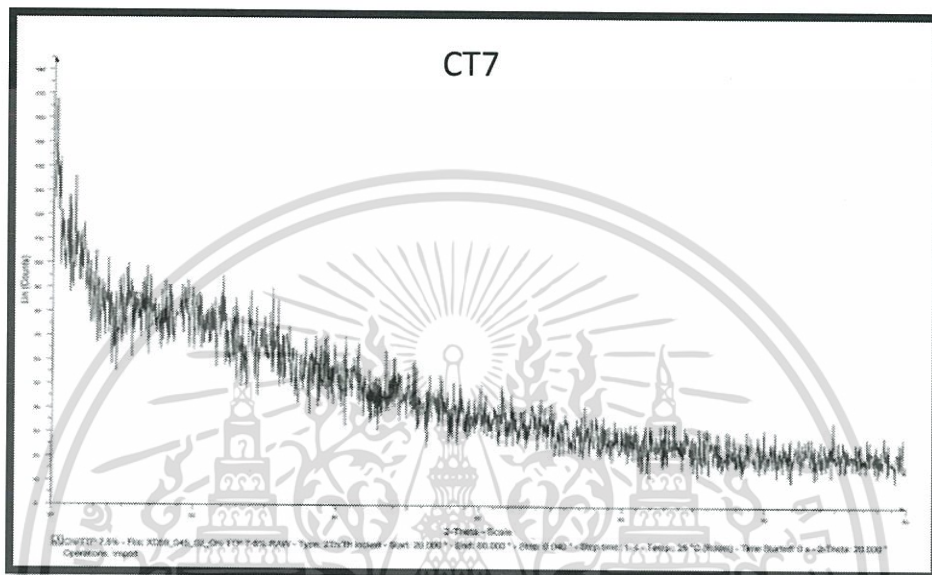
เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของ CT7(100) กับ CT10(100) (รูปที่ 4.7(ข) และ 4.7(ง)) เป็นการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของโคโตซานที่มีปริมาณของคอปเปอร์เท่ากันแต่ปริมาณของไตรโพลีฟอสเฟตต่างกัน

จากรูปจะเห็นว่าที่ CT10(100) นั้นมีพื้นที่ผิวเรียกว่า CT7(100) ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าเมื่อมีการเชื่อมโยงของไตรโพลีฟอสเฟต ทำให้สายโซ่ของโคโตซานเข้ามาชิดกันมากขึ้น จึงส่งผลให้พื้นผิวของ CT10(100) นั้นเรียกว่า CT7(100)

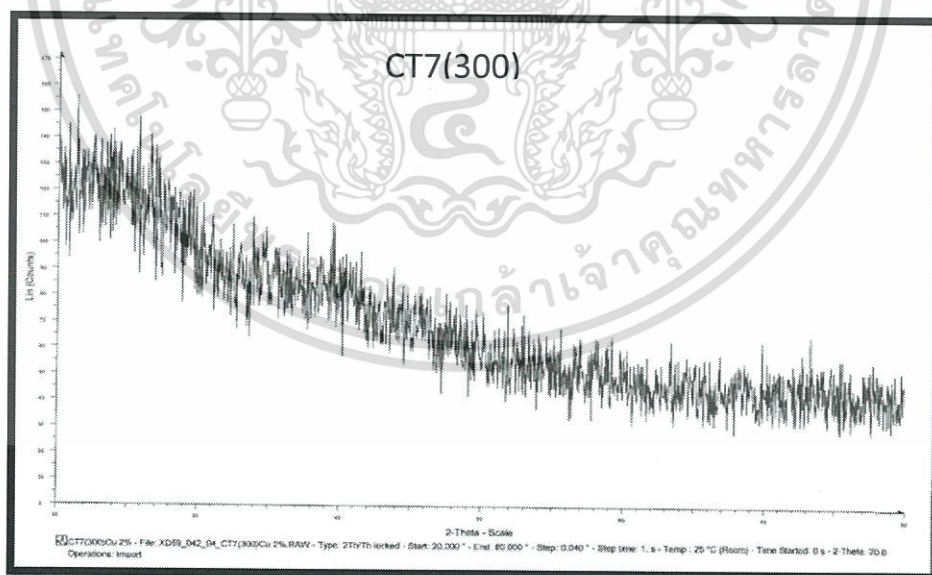
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต ด้วยเทคนิคการวัดค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(X-Ray Diffractometry)

ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากโคโตซานที่สภาวะต่างกันจะถูกนำไปศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โครงสร้างผลึกของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต และโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตและคอปเปอร์ แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต



รูปที่ 4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

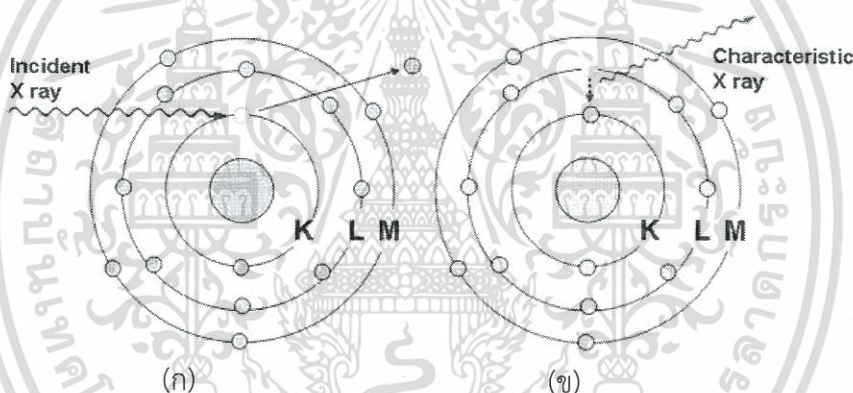
จากรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(รูปที่ 4.8) จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับนี้มีโครงสร้างแบบอสัณฐานซึ่งไตรโพลีฟอสเฟต ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ของโคโตซานแบบไอออนิก (ionic crosslinking) ซึ่งโมเลกุลที่เชื่อมโยงแล้วไม่ได้มีการจัดเรียงตัวแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลึก(รูปที่ 4.4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ M.Kumarและคณะ[15] ที่ใช้ Polyvinyl alcohol หรือ PVA เป็นสารเชื่อมโยงแบบไอออนิก ซึ่งโครงสร้างของโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย PVA เป็นแบบอสัณฐานเช่นเดียวกัน

เมื่อมีการเติมคอปเปอร์ลงในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต พบว่าโครงสร้างที่ได้จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์(รูปที่ 4.9) เป็นแบบอสัณฐานเช่นเดียวกัน ซึ่งคาดว่าคอปเปอร์ไอออนไม่ได้ช่วยให้โคโตซานมีความเป็นผลึกขึ้น แต่จะเข้าไประหว่างสายโซ่ของโคโตซาน เพื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะมิโน ดังรูปที่ 4.6

4.1.4 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมีของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence)

ปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยมีหลักการคือที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม เปลี่ยนระดับชั้นที่มีพลังงานสูงไปยังชั้นที่มีพลังงานต่ำกว่า และคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ(characteristic X ray) ของแต่ละธาตุแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 (ก) รังสีเอ็กซ์พลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกไปจากวงโคจร
(ข) อิเล็กตรอนในชั้น M ที่มีพลังงานสูงกว่าลงมาแทนที่ โดยคายรังสีเอ็กซ์ที่มีพลังงานจำเพาะออกมา

เมื่อนำตัวดูดซับโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตและคอปเปอร์ มาวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบทางเคมีพบว่าปริมาณธาตุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

ชื่อตัวดูดซับ	ปริมาณธาตุองค์ประกอบ(%)				
	Cu	P	Na	Fe	อื่นๆ
CT5(300)	22.30	18.16	8.68	1.95	48.91
CT7(300)	32.49	19.56	10.16	2.59	35.20
CT7(500)	33.14	20.83	13.72	1.51	30.81

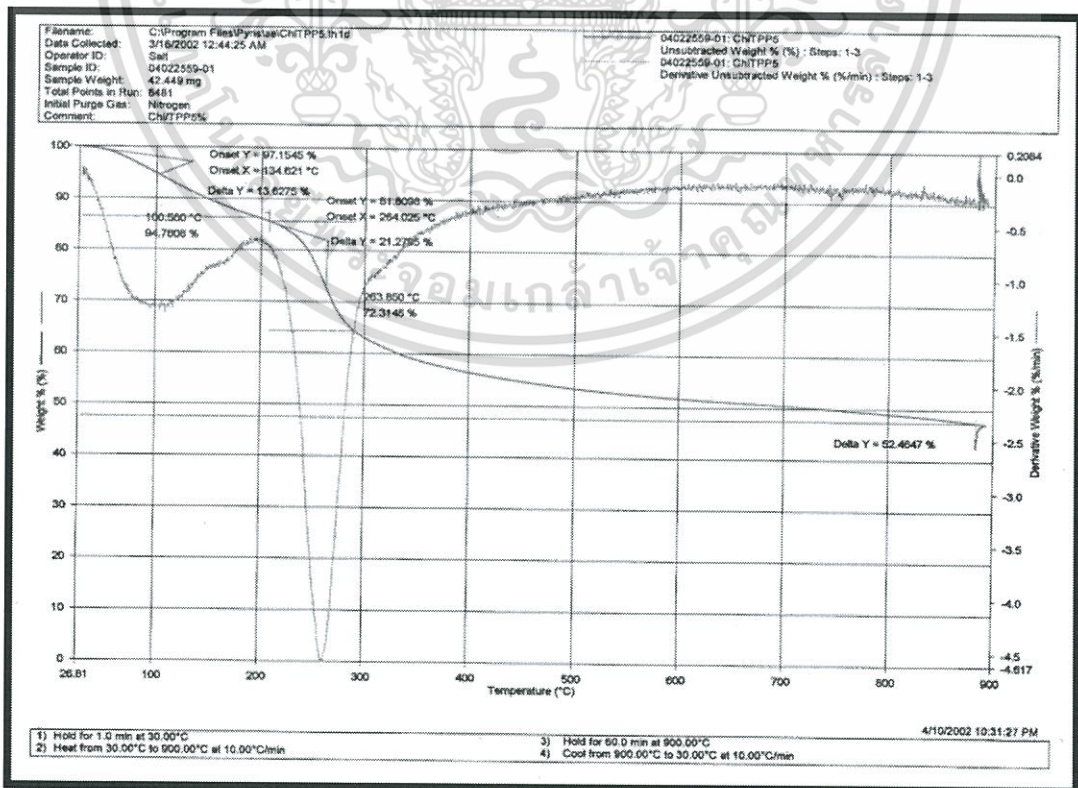
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุคอปเปอร์ของตัวดูดซับ CT5(300) และ CT7(300) พบว่าประกอบด้วยคอปเปอร์ 22.30 และ 32.49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยทั้งสองตัวดูดซับนี้มีการเติมสารละลายคอปเปอร์เท่ากันที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่ใช้ปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตแตกต่างกันคือ 5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตจาก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ปริมาณของธาตุคอปเปอร์ในโคโดซานเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากคอปเปอร์(II) สามารถเข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ $-NH_2$ ของโคโดซาน และหมู่ $-OH$ ของไตรโพลีฟอสเฟต ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเพิ่มขึ้นตามปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบตัวดูดซับที่มีปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากันแต่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์(II) ต่างกันซึ่งได้แก่ CT7(300) และ CT7(500) พบว่าปริมาณคอปเปอร์ และฟอสฟอรัสไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์(II) ที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นเพียงพอที่จะทำให้คอปเปอร์(II) เข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่เอมีโนและหมู่ไฮดรอกซิลได้อย่างสมบูรณ์แล้ว

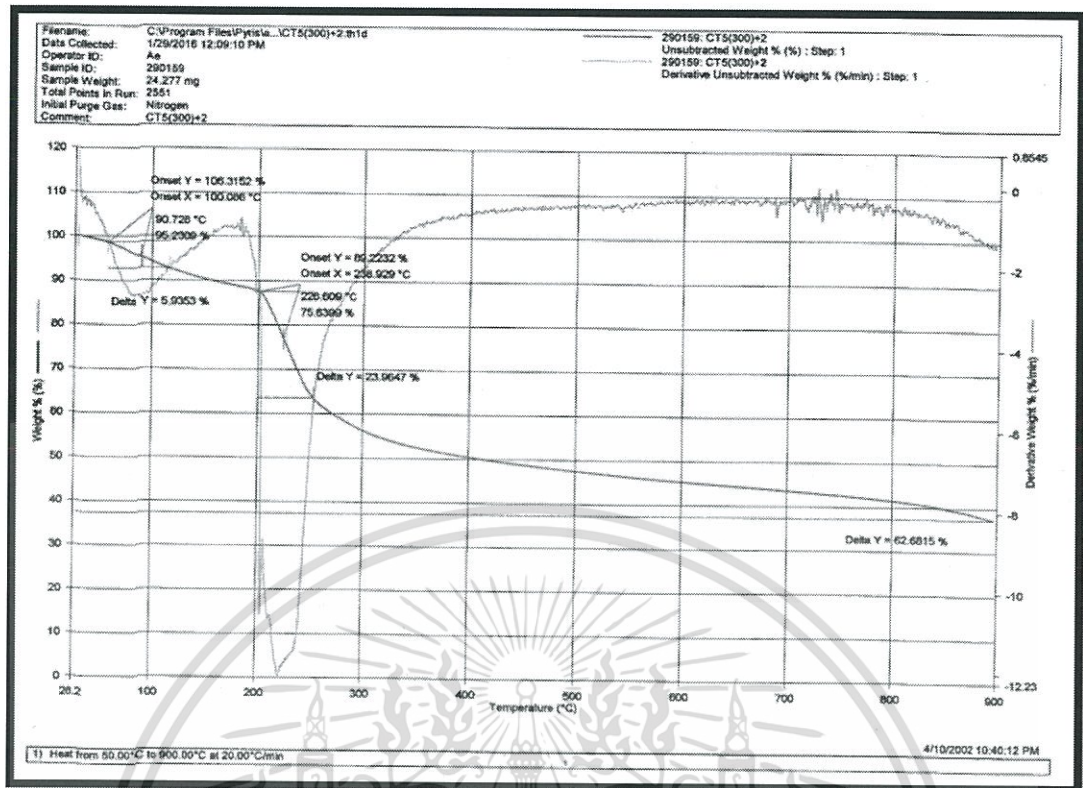
4.1.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของโคโดซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโดซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)

โคโดซานที่ปรับปรุงด้วยคอปเปอร์บนโคโดซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต จะถูกนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์การสลายตัวขององค์ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างเทอร์โมแกรมของตัวอย่างทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.11-4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมของโคโดซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(CT5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต(CT5(300))

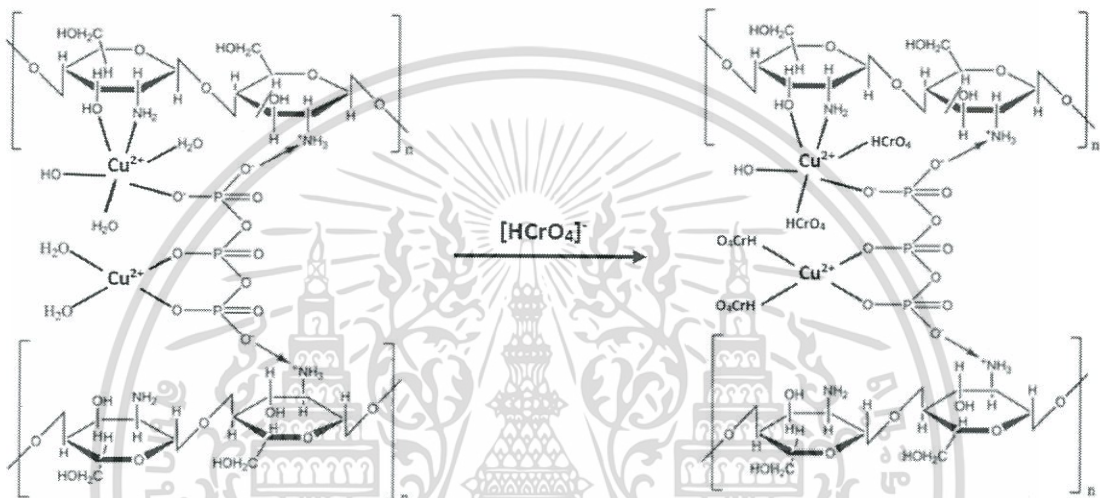
จากรูปที่ 4.11 เป็นเทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตจะเห็นได้ว่าการสลายตัว 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของน้ำในตัวอย่าง และในขั้นตอนที่ 2 ที่อุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของโคโตซานที่เชื่อมโยงกับไตรโพลีฟอสเฟต

สำหรับรูปที่ 4.12 เป็นเทอร์โมแกรมของโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตและคอปเปอร์ จะเห็นได้ว่าการสลายตัวประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกันแต่อุณหภูมิการสลายตัวของโคโตซานที่เชื่อมโยงกับไตรโพลีฟอสเฟต จะลดลงจาก 263 องศาเซลเซียส(รูปที่ 4.11) เป็น 226 องศาเซลเซียส(รูปที่ 4.12) แสดงว่าการเติมคอปเปอร์(II) ลงในโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต ส่งผลให้โคโตซานมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ต่ำลง ทำให้ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวลดลงเนื่องจากเมื่อทำการเติมคอปเปอร์(II) เข้าไปในโครงสร้างของโคโตซาน จะเห็นได้ว่าพันธะที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงลดน้อยลงอ้างอิงจากผล FT-IR ของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตที่มีเลขคลื่นลดต่ำลง จึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะนั้นต่ำลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี มีพื้นที่ผิวสูง แต่มีข้อเสียคือมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ มักจะเปื่อยยุ่ยได้ง่ายเมื่ออยู่ในสารละลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไคโตซานให้ดีขึ้นโดยการเชื่อมโยงกับไตรโพลีฟอสเฟต นอกจากนั้นยังได้ปรับปรุงคุณสมบัติในการดูดซับให้ดีขึ้น โดยการนำคอปเปอร์(II) เข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่อะมิโนของไคโตซาน โดยกลไกของการดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กลไกการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต

ในสารละลายกรด โครเมียม(VI) จะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนโครเมต[HCrO₄⁻] เป็นจำนวนมาก ดังนั้นกลไกการดูดซับระหว่างคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตกับไฮโดรเจนโครเมต[HCrO₄⁻] จะเป็นแบบการแลกเปลี่ยนลิแกนด์(ligand-exchange mechanism) โดยน้ำที่ล้อมรอบคอปเปอร์(II) จะถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนโครเมต[HCrO₄⁻] แสดงดังรูปที่ 4.13 ดังนั้นถ้าในโครงสร้างของตัวดูดซับมีปริมาณฟอสเฟต(PO₄³⁻) และ คอปเปอร์(II) มากโอกาสที่จะดูดซับไฮโดรเจนโครเมต[HCrO₄⁻] ก็มากด้วยเช่นกัน [16]

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองนี้ จะทำการศึกษาผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ผลของปริมาณคอปเปอร์ในไคโตซาน ผลของเวลาในการดูดซับ และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโครเมียม(VI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

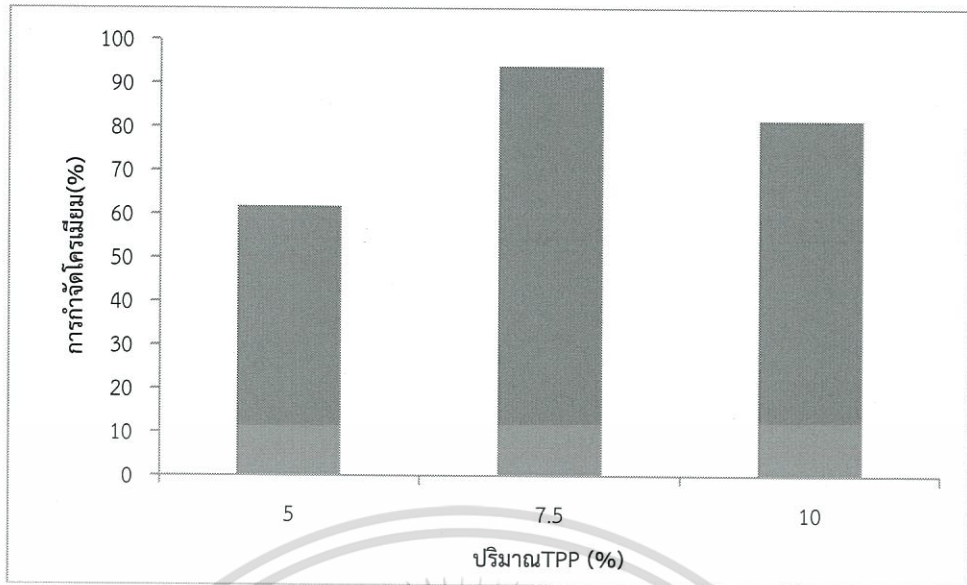
4.2.1 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI)

ในการศึกษาผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตในการดูดซับ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียม(VI) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม โดยตัวดูดซับที่ทำการศึกษาคือ CT(100), CT(300) และ CT(500) ที่มีปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับ 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นคงเหลือของโครเมียม(VI) และเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตและคอปเปอร์ ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) 100 mg/L

ชนิดของตัวดูดซับ	ปริมาณ Cu^{2+} (mg/L)	ปริมาณ TPP (%)	ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L)	การดูดซับโครเมียม (%)
CT(100)	100	5	38.17	61.83
		7.5	6.13	93.87
		10	18.48	81.52
CT(300)	300	5	30.58	69.42
		7.5	10.63	89.37
		10	15.73	84.27
CT(500)	500	5	38.99	61.01
		7.5	8.41	91.59
		10	14.68	85.32

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) กับปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ในตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.14-4.16

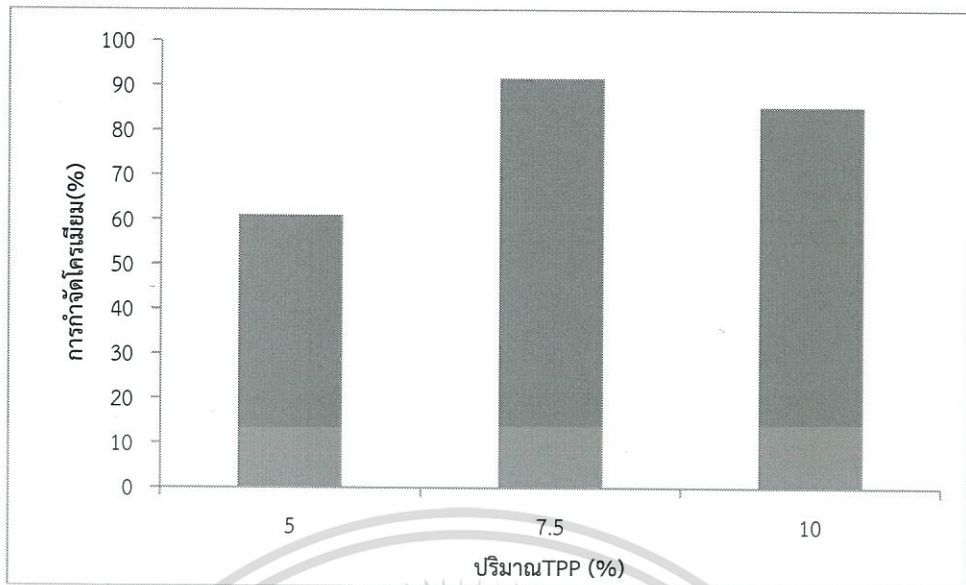


รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(100)



รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT(500)

จากรูปที่ 4.14-4.16 จะเห็นได้ว่าการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT(100), CT(300) และ CT(500) ที่ปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตเท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุด และที่ 5 เปอร์เซ็นต์จะให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดน้อยที่สุดเนื่องจากไตรโพลีฟอสเฟตมีหน้าที่เชื่อมโยงสายโซ่ของโคโตซาน ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต จาก 5 เป็น 7.5 เปอร์เซ็นต์จะทำให้มีธาตุฟอสฟอรัสและ คอปเปอร์ที่เป็นองค์ประกอบในตัวดูดซับมากขึ้น (จากผลการวิเคราะห์ XRF) ซึ่งหมายถึงมีปริมาณฟอสเฟต(PO_4^{3-}) ที่เป็นสารเชื่อมโยงและคอปเปอร์(II) ที่เข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับไฮโดรเจนโครเมต $[HCrO_4^-]$ ได้มากขึ้น ตามกลไกการดูดซับทำให้การกำจัดโครเมียมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตจาก 7.5 เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการใช้ปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตที่มากเกินไป อาจทำให้ช่องว่างภายในโมเลกุลที่เกิดการเชื่อมโยง มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้น้ำซึ่งเป็นตัวพาไฮโดรเจนโครเมต $[HCrO_4^-]$ เคลื่อนที่เข้ามายังตัวดูดซับได้ยาก ดังนั้นการแลกเปลี่ยนไอออนกับไฮโดรเจนโครเมต $[HCrO_4^-]$ จึงลดลง ดังนั้นปริมาณไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์ จึงให้การกำจัดโครเมียมที่สูงกว่าไตรโพลีฟอสเฟต 10 เปอร์เซ็นต์

4.2.2.ผลของปริมาณคอปเปอร์(II) ในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI)

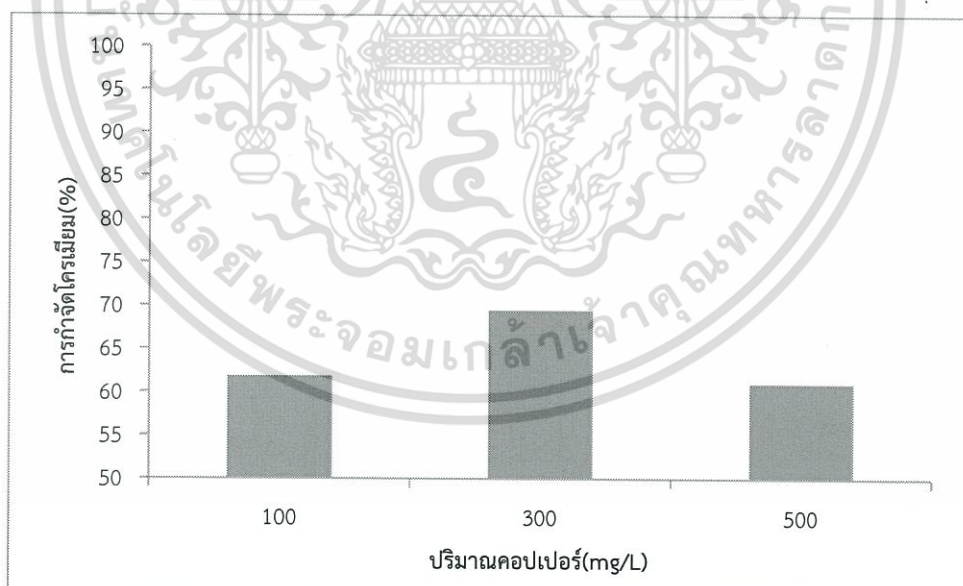
ในการศึกษาผลของปริมาณคอปเปอร์(II) ในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตทำโดยใช้สารละลายโครเมียม(VI) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม โดยตัวดูดซับที่ทำการศึกษาคือ CT5, CT7 และ CT10 ที่มีปริมาณคอปเปอร์เท่ากับ 100, 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นคงเหลือของโครเมียม(VI) และเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) แสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขและข้อควรระวังในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณคอปเปอร์ในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น 100 mg/L

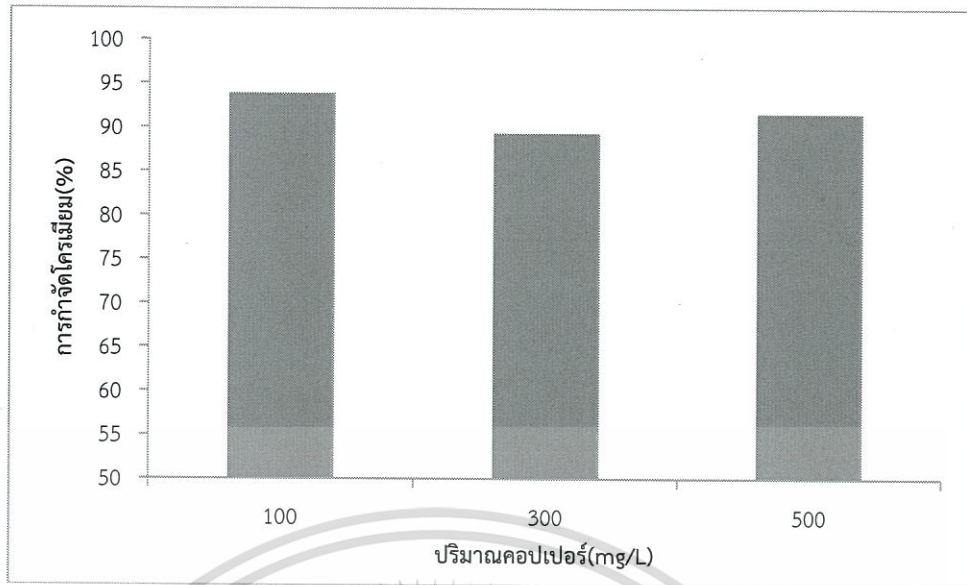
ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณ TPP (%)	ปริมาณคอปเปอร์ (Cu ²⁺) (mg/L)	ความเข้มข้นโครเมียมที่เหลืออยู่ (mg/L)	การดูดซับโครเมียม (%)
CT5	5	100	38.17	61.83
		300	30.58	69.42
		500	38.99	61.01
CT7	7.5	100	6.13	93.87
		300	10.63	91.59
		500	8.41	89.37
CT10	10	100	18.48	81.52
		300	15.73	84.27
		500	14.68	85.32

นำผลการทดลองในตารางที่ 4.3 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโครเมียม(VI) กับปริมาณคอปเปอร์(II) ในตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.17-4.19

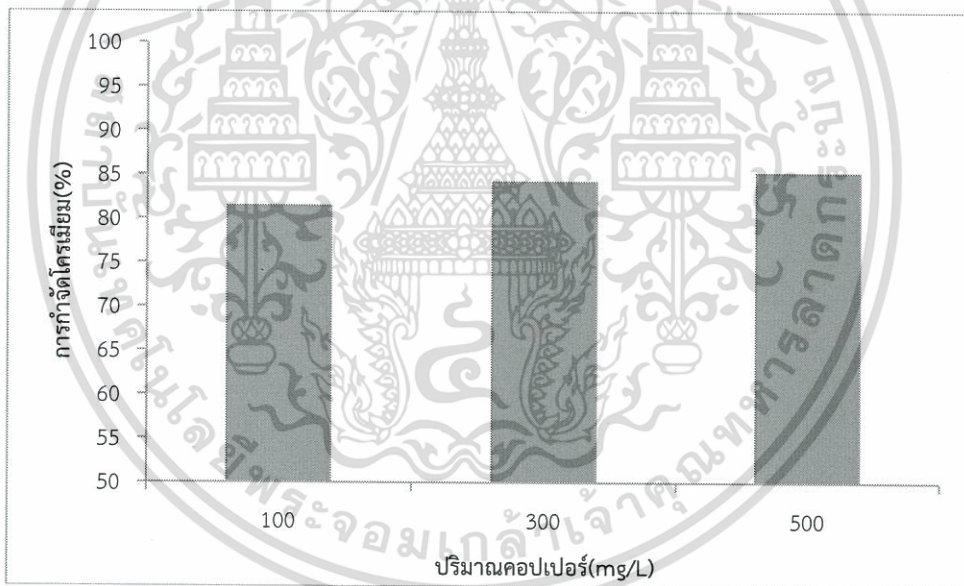


รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT7



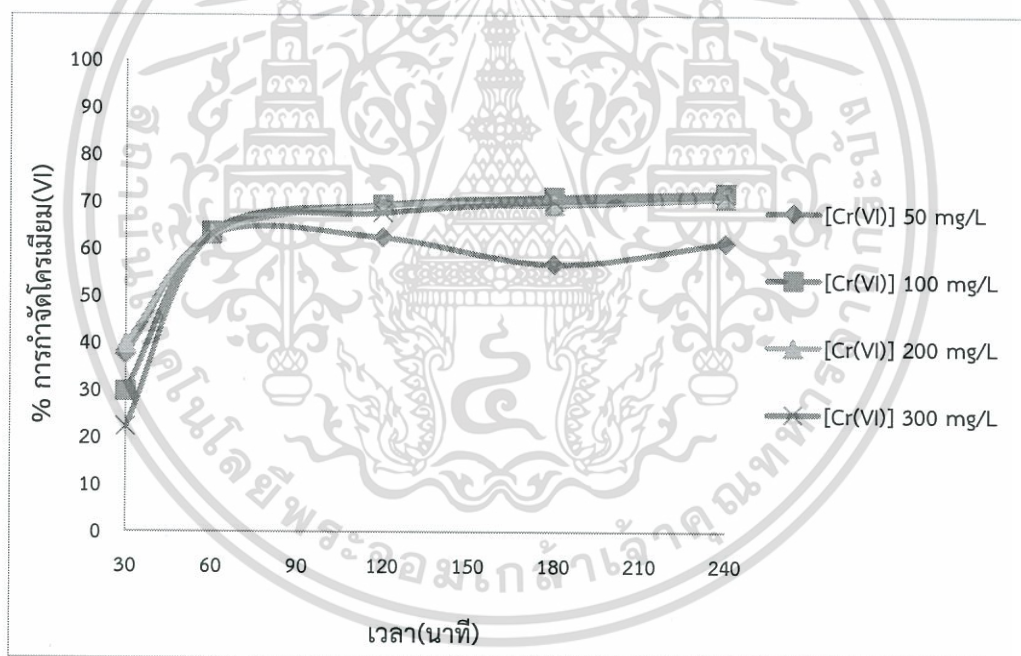
รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณคอปเปอร์ที่มีต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 100 mg/L โดยใช้ตัวดูดซับ CT10

จากรูปที่ 4.17-4.19 จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ CT5 ที่ปริมาณคอปเปอร์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) สูงกว่าที่ปริมาณ 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย CT5 ที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดโครเมียม(VI) ได้ถึง 69.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับตัวดูดซับ CT7 จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณคอปเปอร์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) สูงกว่าที่ปริมาณ 300 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย CT7 ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดโครเมียม(VI) ได้ถึง 93.87 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวดูดซับ CT10 จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณคอปเปอร์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) สูงกว่าที่ปริมาณ 100 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย CT10 ที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดโครเมียม(VI) ได้ถึง 85.32 เปอร์เซ็นต์แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียมที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์(II) ต่างๆ ที่ปริมาณไตรโพลีฟอสเฟตเดียวกันมีค่าไม่ต่างกันมากนัก

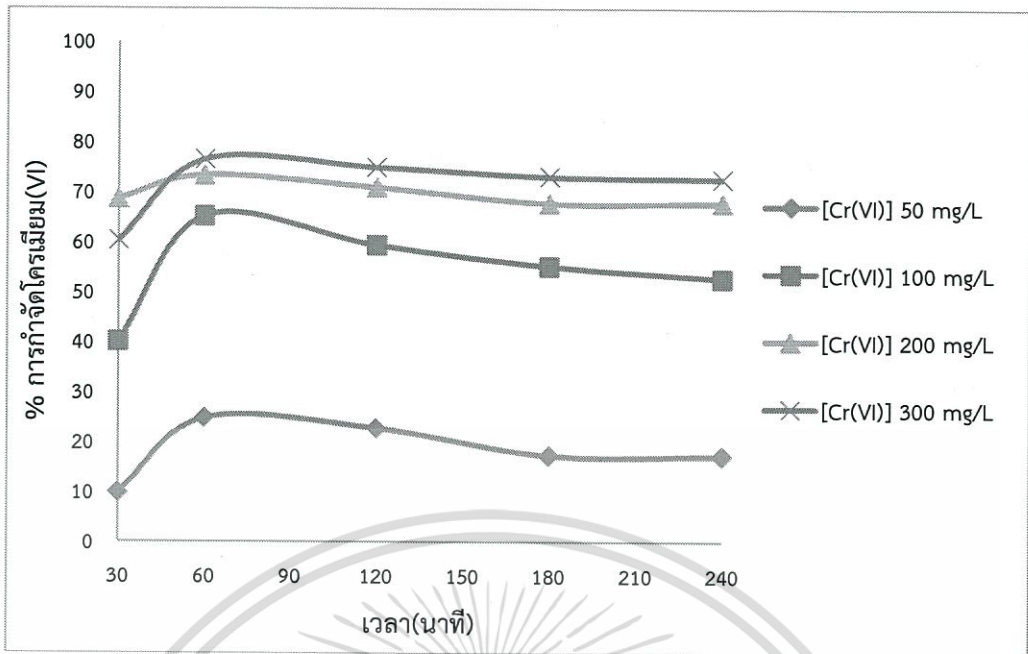
4.2.3 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI)

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ในการดูดซับ ทำโดยใช้สารละลายโครเมียม(VI) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร pH เท่ากับ 3 ใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม โดยใช้ตัวดูดซับที่ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) สูงสุด จากหัวข้อ 4.2.2 นั่นคือ CT5(300), CT7(100) และ CT10(500) มาทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาในการดูดซับตั้งแต่ 30 ถึง 240 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.22

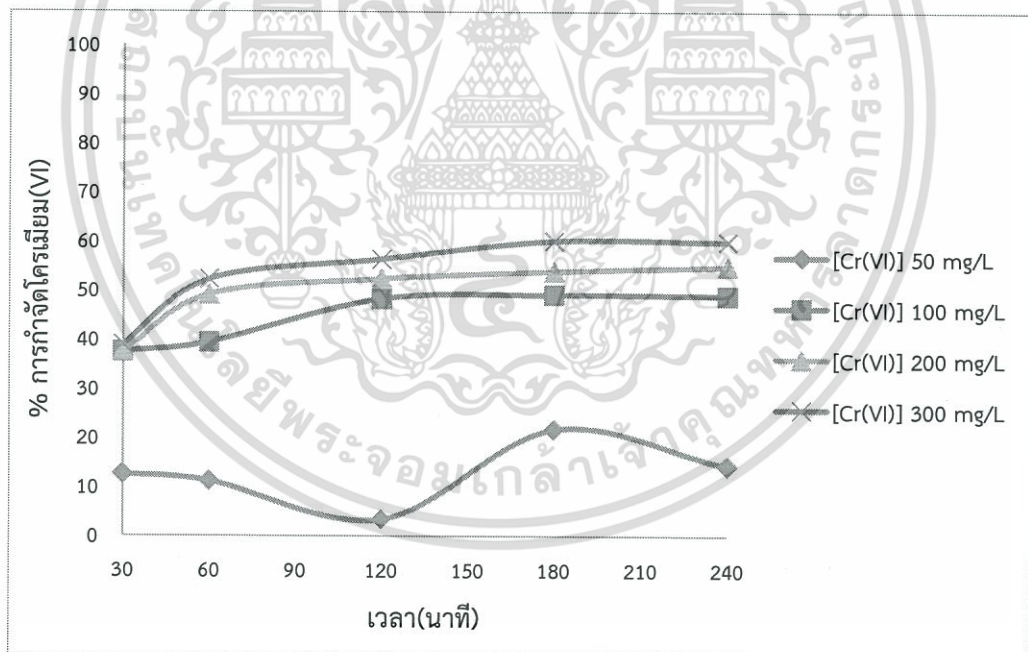


รูปที่ 4.20 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT5(300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT7(100)

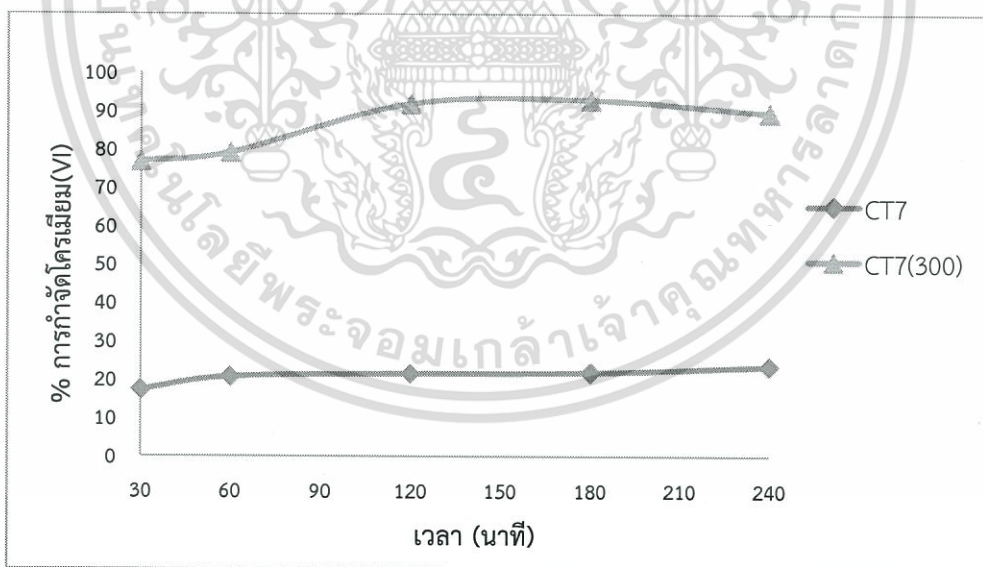


รูปที่ 4.22 ผลของเวลาและความเข้มข้นเริ่มต้นโครเมียม(VI) ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT10(500)

จากรูปที่ 4.20-4.22 จะเห็นได้ว่าการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT5(300), CT7(100) และ CT10(500) ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการดูดซับ โดยในช่วง 60 นาทีแรก ความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ในสารละลายจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม(VI) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยหลังจากนั้นความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ในสารละลายจะลดลงอย่างช้าๆและเริ่มคงที่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) คงที่ด้วยดูดซับ (CT5(300),CT7(100),CT10(500)) สามารถดูดซับโครเมียม(VI) ได้มากในช่วงเริ่มต้นเนื่องจากพื้นที่บริเวณผิวของตัวดูดซับมีหมู่ฟังก์ชัน(Active site) ที่สามารถดูดซับกับโครเมียม(VI) ในปริมาณมาก จึงสามารถดูดซับโครเมียม(VI) ได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) เริ่มคงที่ เนื่องจากพื้นที่บริเวณผิวของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยโครเมียม(VI) เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นสูงสุดคือ300 มิลลิกรัมต่อลิตรโครเมียม(VI) จะถูกกำจัดได้มากกว่าที่ความเข้มข้นอื่นๆ ที่ต่ำกว่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) มีบทบาทอย่างสำคัญต่อการดูดซับโครเมียม(VI) ของตัวดูดซับ การเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม(VI) มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของโครเมียม(VI) ที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดความแตกต่างที่มากขึ้นของความเข้มข้นในสารละลายและความเข้มข้นที่ผิวหน้าของตัวดูดซับเป็นผลทำให้เกิดแรงผลักดันที่มากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม(VI) มีผลให้ความสามารถในการดูดซับโครเมียม(VI) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากข้อมูลระหว่างความเข้มข้นโครเมียม(VI) ที่เหลืออยู่กับเวลาในการดูดซับจะนำไปศึกษาไอโซเทอมการดูดซับต่อไป

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม (VI) ระหว่างตัวดูดซับโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5เปอร์เซ็นต์(CT7) และตัวดูดซับโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต 7.5 เปอร์เซ็นต์ และคอปเปอร์ 300 mg/L(CT7(300)) โดยใช้ความเข้มข้นสารละลายโครเมียม(VI) เริ่มต้น 100 mg/L ที่เวลาต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.23



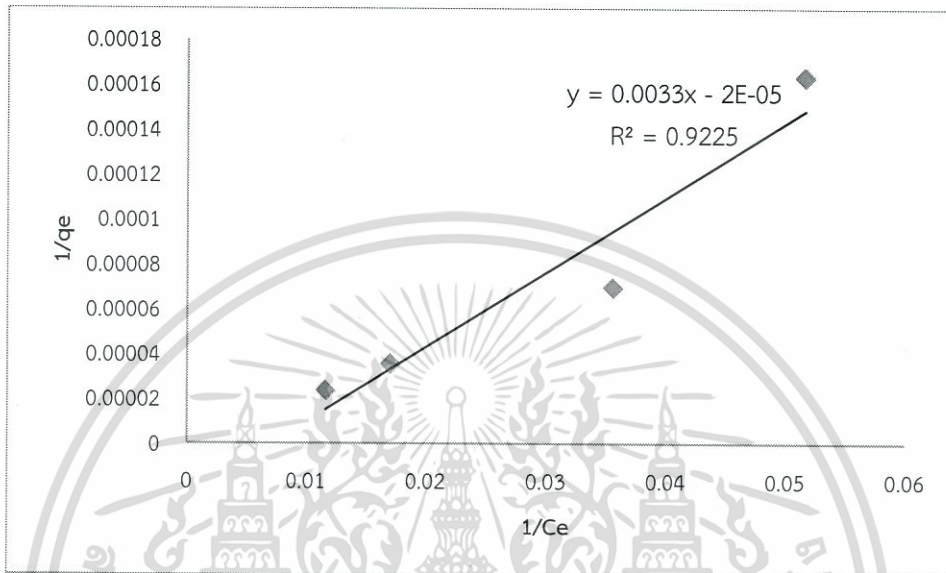
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม(VI) ระหว่างตัวดูดซับ CT7 และ CT7(300)

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ CT7(300) ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดโครเมียม สูงกว่า CT7 ในทุกๆ เวลา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเติมคอปเปอร์(II) ลงในโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต จะเพิ่มความสามารถในการดูดซับโครเมียมได้ดีกว่าการที่ไม่เติมคอปเปอร์(II) ลงไป

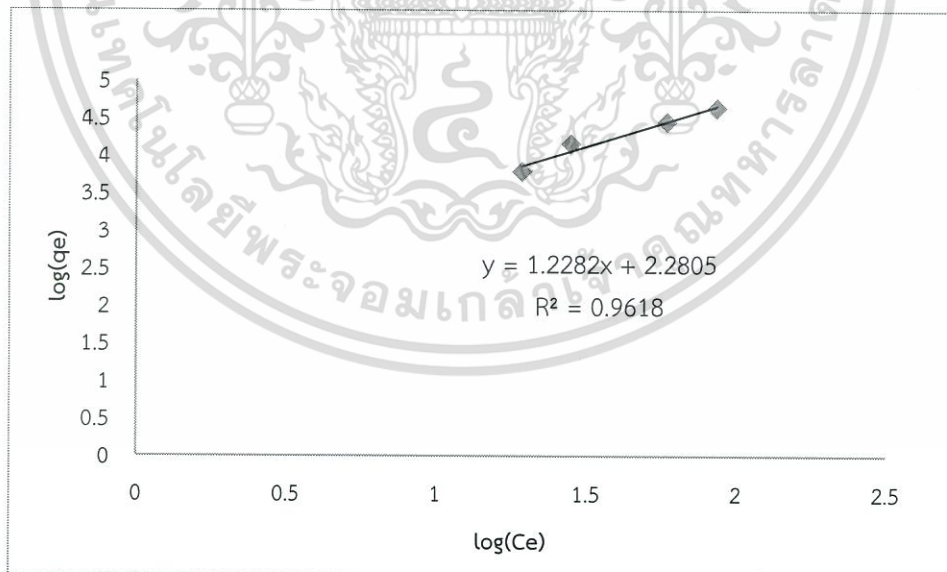
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ไอโซเทอมการดูดซับ

ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ ทำโดยใช้ตัวดูดซับCT5(300),CT7(100) และCT10(500) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดมาทำการดูดซับโครเมียม(VI) ที่มีความเข้มข้นและเวลาต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่สภาวะสมดุลมาหาไอโซเทอมการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์หรือแบบฟรุนดิชได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.24- 4.29

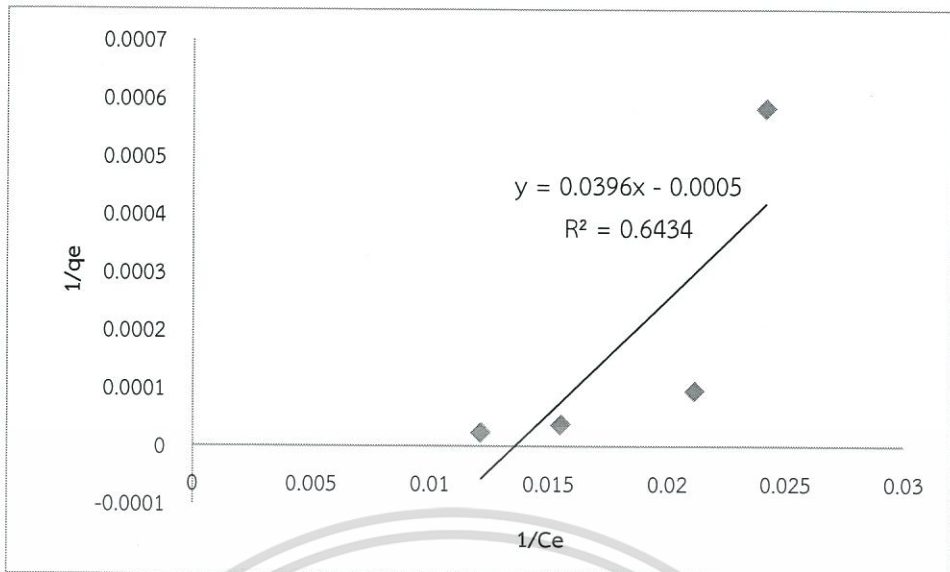


รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT5(300)

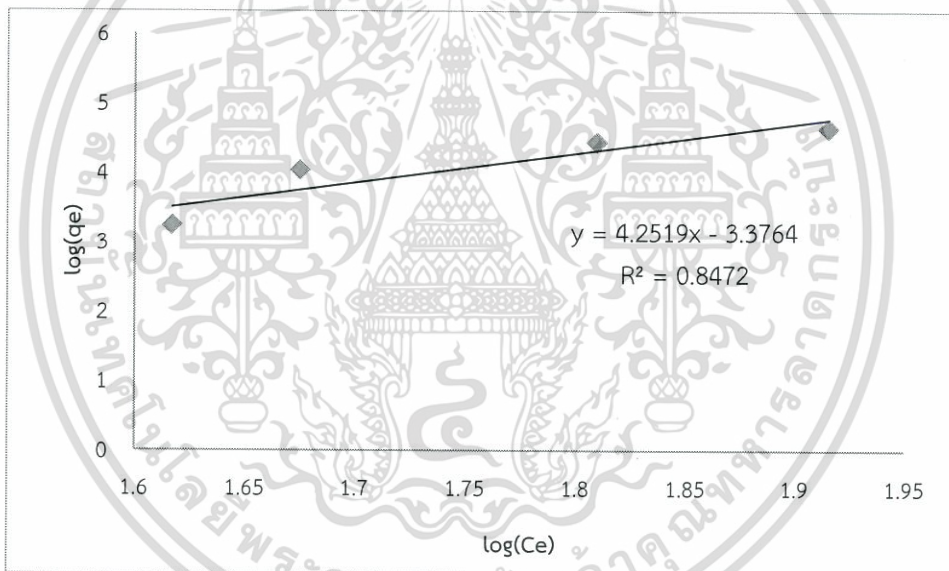


รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดิช สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT5(300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

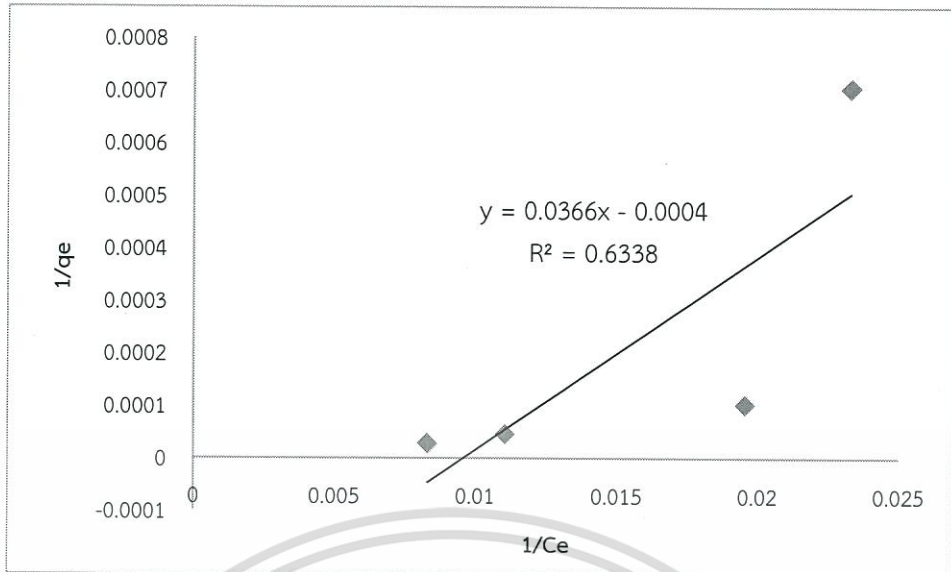


รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT7(100)

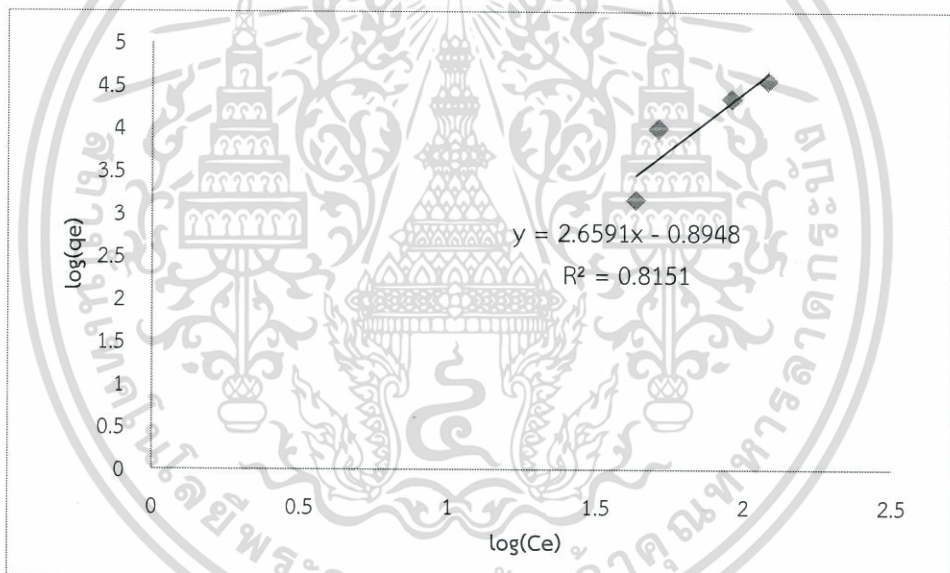


รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT7(100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ และ $1/C_e$ ตามไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT10(500)



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ และ $\log C_e$ ตามไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วย CT10(500)

จากรูปที่ 4.24-4.29 แสดงการเปรียบเทียบไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชของการดูดซับโครเมียม(VI) โดยใช้ตัวดูดซับ CT5(300), CT7(100) และ CT10(500) ซึ่งสามารถสรุปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) ของแต่ละไอโซเทอม ดังตาราง 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R^2) ของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และ ฟรุนดิช ของการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)	
	Langmuir Isotherm	Freundlich Isotherm
CT5(300)	0.9225	0.9618
CT7(100)	0.6434	0.8472
CT10(500)	0.6338	0.8151

จากค่า R^2 ในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสำหรับตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด ค่า R^2 ของฟรุนดิช ไอโซเทอมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าของแลงเมียร์ไอโซเทอม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับคอปเปอร์บนไคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตมีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช มากกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ โดยค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนดิชสรุปไว้ดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 ค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนดิช สำหรับการดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวดูดซับ	Freundlich Constant	
	K	1/n
CT5(300)	190.7656	1.2282
CT7(100)	0.0004	4.2519
CT10(500)	0.1274	2.6591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคุณสมบัติของตัวดูดซับคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต รวมถึงสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม(VI) สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1) การกำจัดโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟต เกิดขึ้นผ่านกลไกการดูดซับแบบการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ระหว่างไฮโดรเจนโครเมต[HCrO_4^-] กับน้ำที่ล้อมรอบคอปเปอร์(II) ในโคโตซาน

2) คอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI) สูงสุด ในทุกความเข้มข้นของคอปเปอร์ โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 93.87, 89.37 และ 91.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้นของไตรโพลีฟอสเฟตที่ 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่ปริมาณความเข้มข้นของคอปเปอร์ที่ 300, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม(VI) สูงสุดในแต่ละกรณี โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดเท่ากับ 69.42, 93.87 และ 85.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3) จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการดูดซับโครเมียม(VI) พบว่าที่ปริมาณ 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ของไตรโพลีฟอสเฟตสามารถดูดซับโครเมียม(VI) ได้สูงสุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที

4) การดูดซับโครเมียม(VI) ด้วยตัวดูดซับคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตสอดคล้องกับไอโซเทอมของฟรุนดลิช

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น เช่น ตะกั่ว แคดเมียม

2) ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับ เช่น ความเร็วรอบในการเขย่าปริมาณตัวดูดซับ และไอออนร่วมชนิดอื่นๆ

3) ควรศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับของคอปเปอร์บนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยไตรโพลีฟอสเฟตในการกำจัดโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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:วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] นายกิ่งชม พิววงศ์. 2548.“การชุบเคลือบพริกด้วยไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง.” วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยขอนแก่น Available:https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/CHE20060228140420.pdf
- [5] Sodium tripolyphosphate.[online]. Available:https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_tripolyphosphate
- [6] Copper(II) Sulfate.[online]. Available:[https://en.wikipedia.org/wiki/Copper\(II\)_sulfate](https://en.wikipedia.org/wiki/Copper(II)_sulfate)
- [7] Robert. TheSorbents:Chitin,Chitosan and derivatives.[online]. Available: <https://www.tdx.cesca.es/tesisupc/available/tdx-0619102-193943/05capitol3.pdf>.
- [8] X.Zhang, R.Bai.2003.“Mechanisms and kinetics of humicacid adsorption onto chitosan-coatedgranules.”*J. ColloidInterfaceSci.*(264):30-38
- [9] W.S.WanNgah, 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] เกวลิน ชันธุ์ชัยภูมิ, จุฑารัตน์ชนไทยและจุฑารัตน์เลิศคุณาสวรรค์.2551.“การศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียม(II) โดยใช้ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตารัลดีไฮด์.” ครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] R.Laus, ThiagoG, BrunoSzpoganicz, ValfredoT. 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
- [12] นภสร เสียรอินทร์, ผุสดี ร้อยแก้ว และ วรัญญา โคพระ.2553.“การกำจัดฟีนอลในน้ำทิ้งด้วยไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ฮิพคโลโรไฮดรินเป็นสารเชื่อมโยง.” ครงงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [13] ศิวพร ไวยยะบุรณ์, สโรชา นิลดี, สุรศักดิ์ เต็งรัง และสุวรรณา ก้านขาว.2558.“การดูดซับโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยใช้แลนทานัมและเหล็กบนโคโตซานที่ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [14] National Institute of Standards and Technology.
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=B6002080&Mask=80>
- [15] M.Kumar, B.P. Tripathi, V.K. Shahi, “Crosslinked Chitosan/Polyvinyl alcohol blend beads for removal and recovery of Cd(II) from wastewater,” Journal of Hazardous Materials 172(2009) 1041-1048.
- [16] A.C. Zimmermann, A.Mecabo, T.Faguudes, C.A. Rodrigues, “Adsorption of Cr(VI) using Fe-Crosslinked chitosan complex (Ch-Fe),” Journal of Hazardous Materials 179 (2010) 192-196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยวิธีการเทียบสี

1.การเตรียมสารเคมี

1:1

สารละลายไดฟีนิลคาบาร์ไซด์

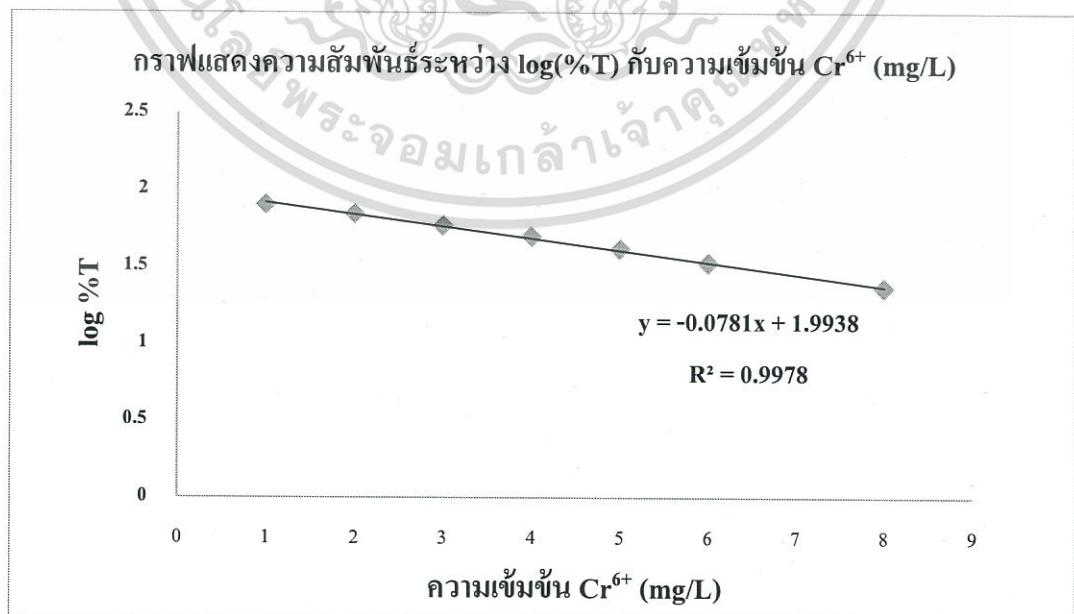
ละลาย 1,5-ไดฟีนิลคาบาร์ไซด์ 250 มิลลิกรัม ในอะซิโตน 50 มิลลิกรัม
เก็บสารละลายในขวดสีชาควรถึงเมื่อสารละลายเปลี่ยนสี

2.การคำนวณหาความเข้มข้นของโครเมียม

2.1สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

ตาราง ก-1 แสดง %T ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Concentration (mg/L)	Log %T	%T
10	1.9026	79.91
20	1.8399	69.18
30	1.7614	57.74
40	1.6928	49.29
50	1.6122	40.95
60	1.5229	33.34
80	1.3598	22.90



รูปที่ ก-1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม(VI)ที่เหมาะสม โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น 100 mg/L

ชนิดตัวดูดซับ	เวลา(นาที)	%T	C(mg/L)	%การกำจัด
CT5(100)	30	90.72	46.2029	53.79
	60	90.92	44.9551	55.04
	120	91.67	40.4133	59.58
	180	91.51	41.3817	58.61
	240	92.04	38.1710	61.82
CT5(300)	30	92.24	36.9345	63.06
	60	92.18	37.3059	62.69
	120	92.44	35.7458	64.25
	180	92.41	35.9552	64.04
	240	93.30	30.5829	69.41
CT5(500)	30	91.85	39.2934	60.70
	60	90.61	46.8555	53.14
	120	92.06	38.0152	61.98
	180	92.09	37.8388	62.16
	240	91.90	38.9933	61.00
CT7(100)	30	98.31	1.4992	98.50
	60	98.40	1.0277	98.97
	120	97.55	5.8116	94.18
	180	97.66	5.1958	94.80
	240	97.50	6.1280	93.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดตัวดูดซับ	เวลา(นาที)	%T	C(mg/L)	%การกำจัด
CT7(300)	30	94.55	23.1876	76.81
	60	94.93	20.9368	79.06
	120	97.14	8.1741	91.82
	180	97.31	7.1961	92.80
	240	96.71	10.6283	89.37
CT7(500)	30	92.17	37.4000	62.59
	60	91.67	40.3733	59.62
	120	94.39	24.1499	75.85
	180	95.80	15.8690	84.13
	240	97.10	8.4089	91.59
CT10(100)	30	93.93	26.8676	73.13
	60	96.05	14.4569	85.54
	120	95.83	15.7065	84.29
	180	94.23	25.0892	74.91
	240	95.36	18.4782	81.52
CT10(300)	30	93.32	30.4763	69.52
	60	96.48	11.9517	88.04
	120	96.34	12.7609	87.23
	180	95.61	17.0089	82.99
	240	95.83	15.7303	84.26
CT10(500)	30	91.89	39.0792	60.92
	60	96.29	13.0600	86.93
	120	96.59	11.3009	88.69
	180	96.47	11.9909	88.00
	240	96.01	14.6816	85.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 แสดงผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม(VI) และเวลา โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดตัวดูดซับ	ความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น (mg/L)	เวลา(นาที)	%T	C(mg/L)	%การกำจัด
CT5(300)	50	30	93.18	31.3129	37.37
		60	95.33	18.6135	62.77
		120	95.29	18.8503	62.29
		180	94.81	21.6706	56.65
		240	95.21	19.3559	61.28
CT5(300)	100	30	86.86	70.3516	29.64
		60	92.31	36.5079	63.49
		120	93.28	30.7260	69.27
		180	93.56	29.0528	70.94
		240	93.72	28.0997	71.90
CT5(300)	200	30	79.34	120.7021	39.64
		60	86.25	74.3000	62.84
		120	88.21	61.8083	69.09
		180	88.26	61.4617	69.26
		240	88.72	58.5894	70.70
CT5(300)	300	30	64.77	233.5715	22.14
		60	80.68	111.4110	62.86
		120	82.76	97.2822	67.57
		180	83.84	90.0155	69.99
		240	84.46	85.9425	71.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดตัวดูดซับ	ความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น (mg/L)	เวลา(นาที)	%T	C(mg/L)	%การกำจัด
CT7(100)	50	30	90.90	45.0689	9.86
		60	92.13	37.6269	24.74
		120	91.96	38.6316	22.73
		180	91.51	41.3555	17.28
		240	91.50	41.4090	17.18
CT7(100)	100	30	88.52	59.8695	40.13
		60	92.58	34.8815	65.11
		120	91.63	40.6657	59.33
		180	90.94	44.8622	55.13
		240	90.54	47.3141	52.68
CT7(100)	200	30	88.06	62.7503	68.62
		60	89.55	53.3874	73.30
		120	88.77	58.2812	70.85
		180	87.77	64.5642	67.71
		240	87.78	64.5136	67.74
CT7(100)	300	30	79.54	119.3044	60.23
		60	86.80	70.7788	76.40
		120	86.08	75.3686	74.87
		180	85.22	80.9647	73.01
		240	85.02	82.2738	72.57
CT10(500)	50	30	91.12	43.7468	12.50
		60	91.31	42.5868	14.83
		120	90.37	48.3247	3.35
		180	91.87	39.1869	21.62
		240	91.26	42.8986	14.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดตัวดูดซับ	ความเข้มข้นโครเมียม(VI) เริ่มต้น (mg/L)	เวลา	%T	C(mg/L)	%การกำจัด
CT10(500)	100	30	88.09	62.5230	37.47
		60	88.39	60.6301	39.36
		120	89.82	51.7562	48.24
		180	89.95	50.9415	49.05
		240	89.92	51.1065	48.89
CT10(500)	200	30	78.75	124.8538	37.57
		60	82.08	101.8484	49.07
		120	83.04	95.3993	52.30
		180	83.49	92.3368	53.83
		240	83.79	90.3511	54.82
CT10(500)	300	30	70.88	183.3903	38.86
		60	76.15	143.5191	52.16
		120	77.88	131.0536	56.31
		180	79.46	119.9094	60.03
		240	79.38	120.4471	59.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณไอโซเทอมการดูดซับ

การคำนวณเพื่อสร้างไอโซเทอมการดูดซับโครเมียม(VI)ของตัวดูดซับ CT5(300), CT7(100) และ CT10(500)

โดยใช้ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) และ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดิช(Freundlich Adsorption Isotherm)

ตัวอย่างการคำนวณสำหรับตัวดูดซับ CT5(300)

1. ทำการหาความเข้มข้นโครเมียมที่สมดุลหลังการดูดซับที่เวลา 240นาทิจึงได้ค่า C_e ในแต่ละความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม ได้ดังตาราง ค-1

ตารางที่ ค-1 แสดงค่าปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล(q_e) ที่หาได้จาก ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ต่างกันซึ่งพลอตกราฟตามความสัมพันธ์ของ Langmuir

ความเข้มข้นCr ⁺⁶ เริ่มต้น (C ₀) (mg/L)	ความเข้มข้นCr ⁺⁶ ที่ สมดุลหลังการดูดซับ (C _e) (mg/L)	ปริมาณการดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับที่ สภาวะสมดุล (q _e) (mg/g)	1/C _e	1/q _e
50	19.3559	6.1288	0.0516	0.1631
100	28.0997	14.3800	0.0355	0.0695
200	58.5894	28.2821	0.0170	0.0353
300	85.9425	42.8114	0.0116	0.0233

2.การคำนวณหาปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ q_e จากสมการ

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

เมื่อ q_e = ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)
 C_0 และ C_e = ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นและหลังการดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)
 V = ปริมาตรของสารละลาย
 m = น้ำหนักของตัวดูดซับ

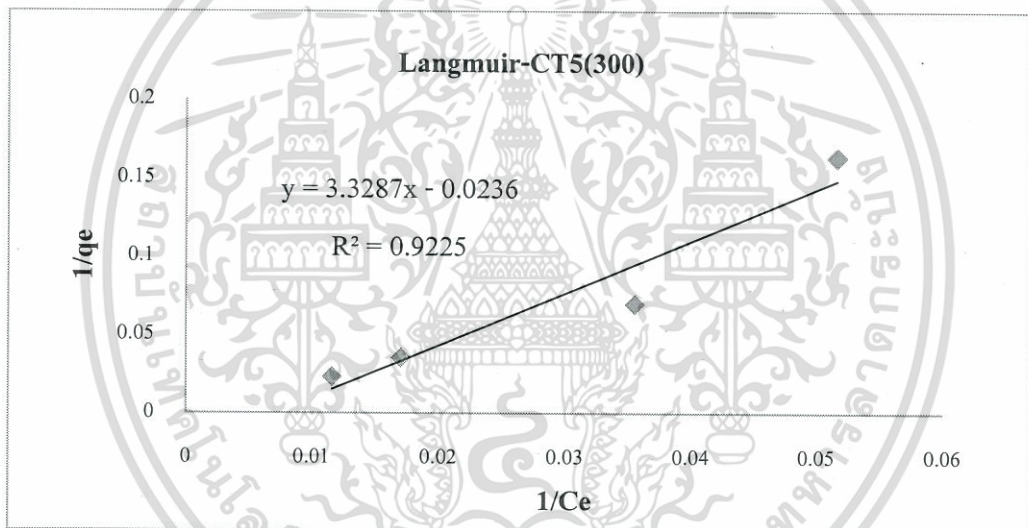
3.คำนวณ $\log C_e$ และ $\log q_e$ แล้วพลอตกราฟตามความสัมพันธ์ของ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

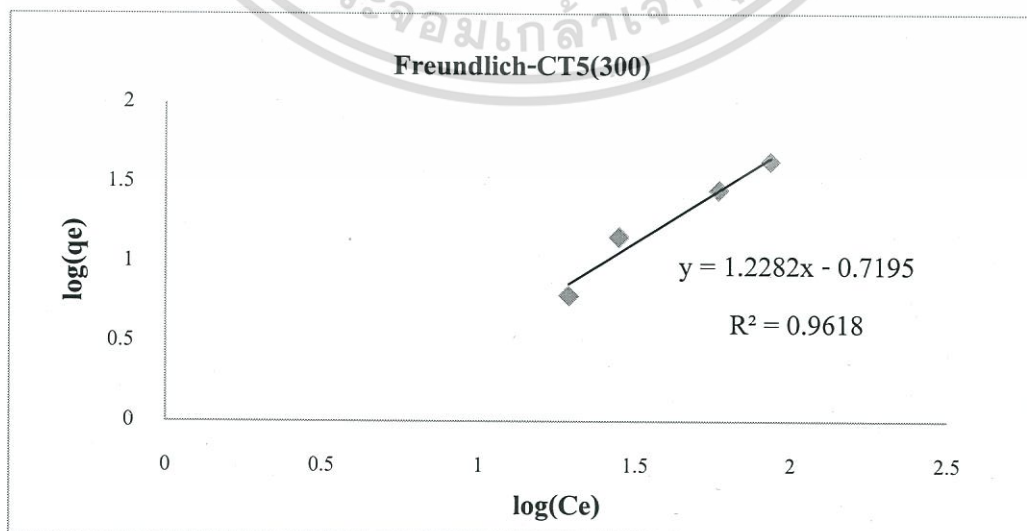
ตารางที่ ค-2 แสดงว่าค่า $\log C_e$ และ $\log q_e$

ความเข้มข้น Cr^{+6} เริ่มต้น (C_0) (mg/L)	$\log C_e$	$\log q_e$
50	1.2868	0.7873
100	1.4487	1.1577
200	1.7678	1.4515
300	1.9342	1.6315

พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Langmuir และตรวจสอบค่า R-square (R^2) ของทั้งสองกราฟ Langmuir และ Freundlich Isotherm โดยพิจารณาว่าการดูดซับโครเมียม(VI) สอดคล้องกับ Isotherm ไต จากการเปรียบเทียบค่า R^2 ของทั้งสอง Isotherm



รูปที่ ค-1 พลอตของไอโซเทอมการดูดซับแบบLangmuir ของตัวดูดซับ CT5(300)



รูปที่ ค-2 พลอตของไอโซเทอมการดูดซับแบบFreundlich ของตัวดูดซับ CT5(300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ค-1 และ ค-2 แสดงการเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และ ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich โดยใช้ $5\%Cu^0(300)/Chi/TPP$ เป็นตัวดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า ผลของไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และแบบ Freundlich มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) เท่ากับ 0.9225 และ 0.9618 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไอโซเทอมการดูดซับ แบบ Freundlich มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การดูดซับโครเมียมมีแนวโน้มสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบ Freundlich มากกว่า ไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้