

การสกัดไคตินและไคโตแซนและความจุของ
การแลกเปลี่ยนไอออนบวก



RCH

OP

๗๐๒

๘๕

๘๓๒๑๗

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๙

เลขหน้า.....
เลขทะเบียน 34688
วัน, เดือน, ปี 19 พ.ย. ๒๕๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไคตินและไคโตแซน	3
2.2 สมบัติคีเลตของไคโตแซน	7
2.2.1 ลิแกนด์ (Ligands)	8
2.2.2 สารประกอบเชิงซ้อนคีเลต	9
2.2.3 ลักษณะการจับของลิแกนด์บนโครงสร้าง ของพอลิเมอร์	9
2.3 ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity)	13
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 อุปกรณ์	14
3.2 สารเคมี	14
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี	15
3.4 ขั้นตอนการวิจัย	16
3.4.1 การสกัดไคติน	16
3.4.2 การสกัดไคโตแซน	17
3.4.3 การทดสอบหาความจุของการแลกเปลี่ยน ไอออนของโลหะไคโตแซน	- 17

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณ chitin ในเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ	18
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณ chitosan ที่สกัดจาก chitin จากเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ	18
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคตินและไคโตแซนด้วย เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี	19
4.4 การวิเคราะห์ความสามารถดูดซับ ไอออนโลหะหนักของไคโตแซน	28
4.4.1 การวิเคราะห์หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ไอออนโลหะของไคโตแซน	34
4.4.2 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับ ไอออนโลหะหนักของไคโตแซน	36
4.4.3 การวิเคราะห์หาค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Ion Exchange Capacity) ของไคโตแซน	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 ไคตินและไคโตแซนที่สกัดจากเปลือกกุ้ง	43
5.2 การดูดซับไอออนโลหะของไคโตแซน	43
ข้อเสนอแนะ	44
ภาคผนวก	45
บรรณานุกรม	

บทคัดย่อ

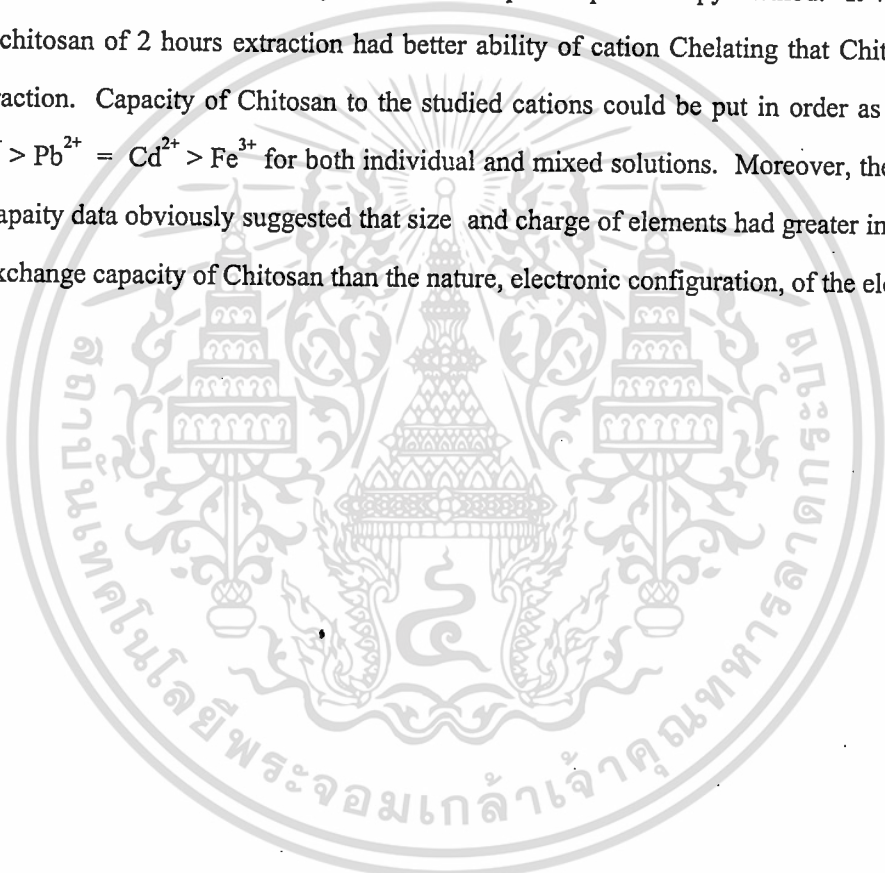
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณของโคตินและโคโตแซนจากเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ และศึกษาค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโตแซนทั้งในสถานะที่ไอออนแต่ละชนิดแยกกันอยู่ และสถานะที่มีไอออนหลายชนิดอยู่รวมกันในสารละลาย เพื่อศึกษาถึงความจำเพาะและหาข้อสรุปของปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการจับไอออนบวกของโคโตแซน โดยไอออนบวกที่เลือกศึกษา ได้แก่ Fe^{3+} Cu^{2+} Zn^{2+} Cd^{2+} และ Pb^{2+}

จากการศึกษาพบว่ากุ้งกุลาดำมีปริมาณโคตินและโคโตแซนมากที่สุด รองลงมาได้แก่กุ้งลายน้ำตาล กุ้งขาว กุ้งก้ามกราม กุ้งโอดัก กุ้งลายหิน และกุ้งแชบ๊วย ตามลำดับ การหาค่าความจุไอออนบวกของโคโตแซนศึกษาโดยใช้เทคนิค Atomic Absorption spectroscopy จากการวิจัยพบว่าโคโตแซนที่ใช้เวลาสกัดนาน 2 ชั่วโมง มีความสามารถในการจับไอออนบวกได้ดีกว่าโคโตแซนที่ใช้เวลาสกัดเพียง 1 ชั่วโมง และพบว่าลำดับของไอออนบวกที่ถูกจับโดยโคโตแซนมีลำดับเป็น $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+} \sim Cd^{2+} > Fe^{3+}$ โดยลำดับนี้จะเหมือนกันทั้งในสารละลายของไอออนแต่ละชนิดและสารละลายที่มีไอออนเหล่านี้อยู่รวมกัน นอกจากนี้ข้อมูลของความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกยังบ่งชี้ว่าขนาดและประจุของไอออนโลหะมีอิทธิพลต่อความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโตแซนมากกว่าธรรมชาติ (โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์) ของไอออนโลหะ

Abstract

The aim of this research is recovery of Chitin and Chitosan from prawn penaeus and to study the cation exchange capacity of Chitosan in individual and mixed solutions. The selected cations were Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} and Pb^{2+}

From the experimental data found that Penaeus of Monodon Fabricius has highest amount of Chitin and Chitosan, with the following of Semisutcatatus, Merguiensis, Giant freshwater prawn, Metapenaeus sp., Tatisucatus and Sea lobster, respectively. Cation exchange capacity of chitosan was determined by Atomic Absorption Spectroscopy method. It was also found that chitosan of 2 hours extraction had better ability of cation Chelating than Chitosan of 1 hour extraction. Capacity of Chitosan to the studied cations could be put in order as follow: $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} = \text{Cd}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ for both individual and mixed solutions. Moreover, the cation exchange capacity data obviously suggested that size and charge of elements had greater influence on cation exchange capacity of Chitosan than the nature, electronic configuration, of the elements.



กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จเรียบร้อยลงได้ด้วยเงินสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน โดยการตรวจสอบของคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในปีพ.ศ.2539 และยังได้รับความสะดวกจากเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

รศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของไคติน	3
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างไคโตแซนและเซลลูโลส	4
รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยหมู่ acetylate amine ของไคติน	5
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน	7
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของลิแกนด์ที่พบได้ทั่วไป	8
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อน $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$	9
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหลายหมู่วงไวบน โครงร่างตาข่าย ตำแหน่งเดียว	10
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวชนิดเดียวกันบน โครงร่างตาข่าย หลายตำแหน่ง	10
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวชนิดคดซบไว้บน โครงร่างตาข่าย หลายตำแหน่ง	10
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการจับ ไอออน โลหะภายในสายโซ่	11
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการจับ ไอออน โลหะระหว่างสายโซ่	11
รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการจับ ไอออน โลหะในลักษณะสะพานเชื่อม โยง	11
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของสารเชิงซ้อน Cu^{2+} -Chitosan	12
รูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินจากบริษัท Fluka	21
รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง	22
รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนชนิด High MW ของบริษัท Fluka	24
รูปที่ 4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนชนิด Low MW ของบริษัท Fluka	25
รูปที่ 4.5 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจาก ไคตินที่สกัดได้จาก เปลือกกุ้งโดยเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 1 ชั่วโมง	26
รูปที่ 4.6 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจาก ไคตินที่สกัดได้จาก เปลือกกุ้งโดยเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 2 ชั่วโมง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของเหล็ก (Fe^{3+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (AA Spectroscopy)	29
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (AA Spectroscopy)	30
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของสังกะสี (Zn^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (AA Spectroscopy)	31
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (AA Spectroscopy)	32
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (AA Spectroscopy)	33
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับที่เวลา 10, 20, 30, 40, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ	35
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของไคโตแซน ที่เวลาการดูดซับไอออนของโลหะนาน 60 นาทีในสารละลายแต่ละชนิด	41
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของไคโตแซนที่เวลา การดูดซับไอออนของโลหะนาน 60 นาทีในสารละลายโลหะผสม	42

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงประมาณเปอร์เซ็นต์โคตินเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้ง	18
ตารางที่ 2 แสดงปริมาณโคโตแซนจากโคตินของกุ้งชนิดต่าง ๆ	19
ตารางที่ 3 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมที่สนใจ	20
ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดจับโลหะหนักของโคโตแซนทั้ง 4 ชนิด ในสารละลายโลหะชนิดต่าง ๆ ที่เวลา 60 นาที	36
ตารางที่ 5 แสดงรัศมีโลหะไอออนและความหนาแน่นประจุ	37
ตารางที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดจับโลหะหนักของโคโตแซนทั้ง 4 ชนิด ในสารละลายโลหะผสมที่เวลา 60 นาที	38
ตารางที่ 7 แสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโตแซนทั้ง 4 ชนิด ในสารละลายโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่เวลา 60 นาที	39
ตารางที่ 8 แสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโตแซนทั้ง 4 ชนิด ในสารละลายโลหะหนักผสมที่เวลา 60 นาที	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย

ปัจจุบันมลภาวะที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมนับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ ปัญหาที่เห็นเด่นชัด ได้แก่ ปัญหาเศษขยะที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารเช่น เปลือกกุ้งจากอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งหรืออุตสาหกรรมอาหารบรรจุกระป๋องและปัญหามลภาวะทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทิ้ง (เหล็ก, พรอท, แคดเมียม , ตะกั่ว , โครเมียม) จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคร้ายแรงบางชนิดตัวอย่างเช่น โรคมินามาตะ โรคอไตอไตที่เคยเกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นปัญหานี้จึงเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน วิธีหนึ่งที่น่าสนใจได้แก่การใช้สารที่มีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่าย ราคาถูก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สาร โกลโคเจนที่เป็นสารอนุพันธ์ของไคตินไปคีเลต (chelate) โลหะหนักเหล่านั้น

ไคตินและไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่ในเปลือกหรือกระดองของสัตว์พวกครัสเตเชียน (crustacean) เช่นกระดองปูและเปลือกกุ้ง ปัจจุบันแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ไคตินที่มีราคาถูกที่สุด คือ จากอุตสาหกรรมผลิตกุ้งเนื่องจากมีวัสดุที่เหลือใช้ (หัวกุ้งและเปลือกกุ้ง) โดยปกติแล้วเปลือกสัตว์ทะเลเหล่านี้จะถูกทิ้งไปเป็นขยะเหลือใช้โดยเปล่าประโยชน์ ต้องทำลายทิ้งในปีหนึ่ง ๆ ทั่วโลกนับหลายแสนตัน ดังนั้นการใช้ของเสียเหล่านี้เป็นวัตถุดิบเพื่อแยกไคตินนอกจากจะเป็นการช่วยกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วยังสามารถแปรรูปไคตินเป็นไคโตแซนเพื่อใช้ในการดูดซับกับอะตอมของโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นการลดปัญหามลภาวะทางน้ำเป็นพิษไปพร้อม ๆ กัน

จากการที่เปลือกกุ้งแต่ละชนิดมีไคตินในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิจัยวิธีการสกัดไคตินและไคโตแซนจากกุ้งหลายชนิดเพื่อนำไปศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไคตินที่มีอยู่ในกุ้งชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนบวกและความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของไคโตแซนที่มีต่อโลหะต่าง ๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษากรรมวิธีการสกัดสาร ไคตินและไคโตแซน
- 1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ
- 1.2.3 ศึกษากรรมวิธีและลักษณะการดูดซับของไคโตแซน
- 1.2.4 ศึกษาเปรียบเทียบความจุการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเหล็ก, ตะกั่ว , สังกะสี, ปรีท, ทองแดงและแคลเซียมของไคโตแซน

ขอบเขตการศึกษา

สกัดสารไคตินจากเปลือกกุ้งทะเลชนิดต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบปริมาณไคตินที่สกัดได้นำไคตินที่ได้ไปแปรสภาพเป็นไคโตแซน เพื่อทดสอบการดูดซับโลหะชนิดต่าง ๆ เพื่อหาความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกดังกล่าว โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption Spectrophotometer)

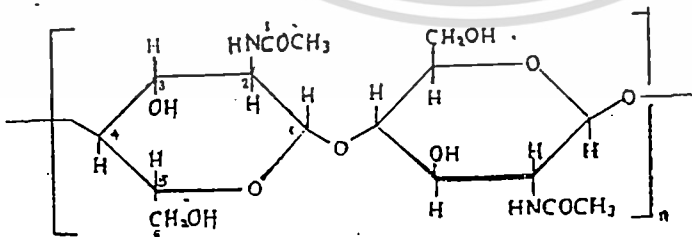


บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคตินและไคโตแซน (Chitin and Chitosan)

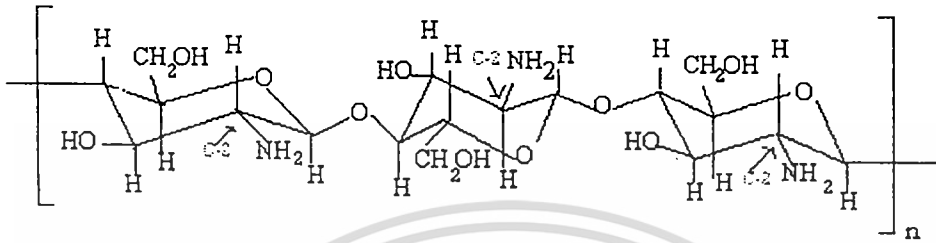
ไคตินและไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพในธรรมชาติพบมากเป็นอันดับ 2 รองจากเซลลูโลสพบในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น ผนังเซลล์ของเชื้อรา สำหรับบางชนิดและเป็นองค์ประกอบอินทรีย์ในโครงสร้างภายนอก (exoskeleton) ที่สำคัญที่สุดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เนื่องจากเป็นตัวทำให้โครงสร้างยึดกันเป็นรูปและคงสภาพแข็งแรงพอที่จะใช้เป็นเครื่องป้องกันตัวจากการทำร้ายของสัตว์น้ำอื่นอันได้แก่ เปลือกและกระดองสัตว์ทะเลจำพวกกัลเลสเตเชียน (Crustaceans) เช่น กุ้ง, ปู โดยจะปะปนอยู่กับแคลเซียมคาร์บอเนต โปรตีน ไขมัน เม็ดสี เป็นต้น โดยทั่วไปมักนิยมทำลายสารที่ปะปนให้หมดไปคงเหลือแต่ไคตินไว้ ปริมาณที่พบมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต ซึ่งไคตินเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่มีพิษ ย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ มีลักษณะโครงสร้างทั่วไปคล้ายเซลลูโลส ไคตินมีโครงสร้างเป็นพันธะแบบ $\beta(1\rightarrow4)$ -linked glycan และมีองค์ประกอบเป็น 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucose หรือ N-acetylglucosamine ต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



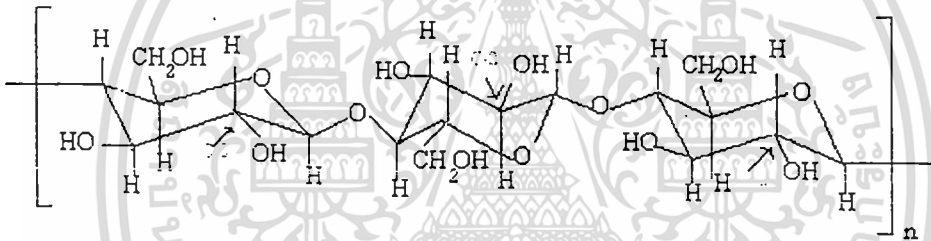
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของไคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคโตแซนจะมีหมู่ acetyl น้อยกว่าโคตินมากมีองค์ประกอบเป็น primarily glucosamine , 2-amino-D-glucose



CHITOSAN



CELLULOSE

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างโคโตแซนและเซลลูโลส

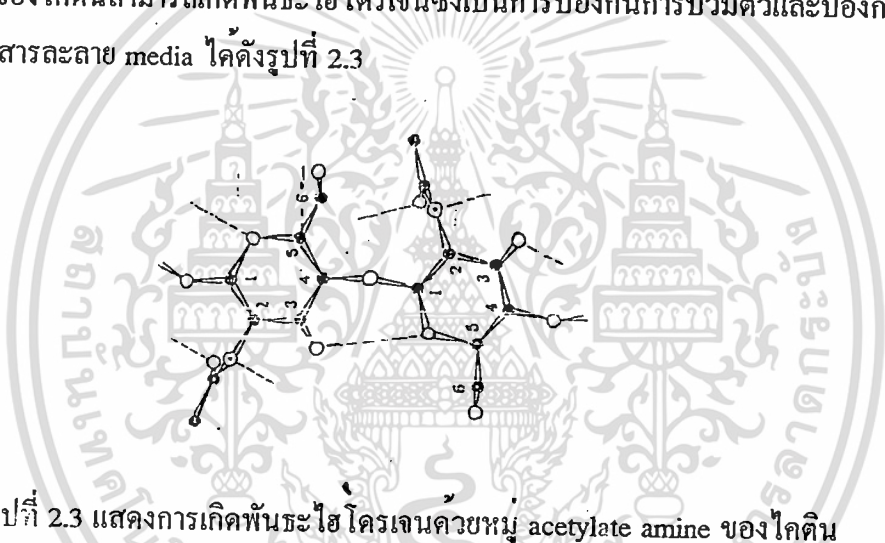
สมบัติของโคติน

โคตินบริสุทธิ์เป็นวัสดุสีขาวเหมือนเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดเจือจาง (dilute acid) อัสคาโลน (ทั้งเข้มข้นและเจือจาง) และตัวทำละลายอินทรีย์ใด ๆ แต่ละลายใน anhydrous formic acid , สารละลายไฮโปคลอไรต์และใน mineral acid เข้มข้น สมบัติทางเคมีของโคตินและโคโตแซนขึ้นกับปริมาณการเกิดปฏิกิริยา deacetylation

โครงสร้าง

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของ N-acetyl-2-amino-deoxy-D-glucose โครงสร้างผลึกของไคตินศึกษาโดยใช้ X-ray Diffraction และ Infrared Absorption Spectra ผลึกเป็น orthorhombic ปกติไคตินจะมีไนโตรเจนประมาณ 5-10% โดยน้ำหนัก

ไคตินที่ผ่านการทำปฏิกิริยา deacetylation จะได้เป็นไคโตแซนที่เป็นพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงเป็น linear polyamine มีหมู่เอมีนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี และอยู่ในรูปของเกลื่อเมื่ออยู่ในสภาวะกรดและแม้ว่าไคตินและไคโตแซนมีพันธะ $\beta(1\rightarrow4)$ anhydroglucosidic ที่ตำแหน่ง C₁ และ C₄ และที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลตรง primary(C-6) และ secondary (C₃) ซึ่งเหมือนในเซลลูโลส แต่สมบัติของไคตินและไคโตแซนก็ไม่เหมือนเซลลูโลส หมู่ acetylate amine ของไคตินสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นการป้องกันการบวมตัวและป้องกันการละลายในสารละลาย media ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนด้วยหมู่ acetylate amine ของไคติน

ไคตินที่ผ่านการทำปฏิกิริยา deacetylation จะได้เป็นไคโตแซนมีสมบัติเป็น cationic และเป็น linear polyelectrolyte ในช่วง pH ที่เป็นกรด มีความหนาแน่นประจุสูงคือ 1 ประจุต่อ 1 หน่วย glucosamine ประจุบวกบนไคตินจะว่องไวที่จะเกิดปฏิกิริยากับสิวัวตดูที่มีประจุลบซึ่งจะทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าขึ้นและไคโตแซนจะยึดเหนี่ยวไคตีมากเนื่องจากมีหมู่ NH_3^+ เป็นจำนวนมากและหมู่ NH_3^+ สามารถทำปฏิกิริยากับประจุลบที่แขวนลอยเป็นคอลลอยด์อยู่ ดังนั้นหากนำไคโตแซนมาไว้บนพอลิเมอร์ธรรมชาติไคโตแซนจะเกิดพันธะยึดติดทันที ตัวอย่างพอลิเมอร์ธรรมชาติได้แก่ เส้นผมและผิวหนัง ซึ่งประกอบไปด้วยประจุลบของโปรตีนและโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharides) นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนบวกของโลหะได้ด้วย จัดไคโตแซนเป็นตัวกัลด (chelator)

ที่ดีที่สุดที่สกัดกับโลหะที่มีความเป็นพิษ เช่น ทองแดง, เหล็ก, ตะกั่ว, นิกเกิล, เงิน, สังกะสี, โครเมียมและยูเรเนียม เป็นต้น ซึ่งผลของการสกัดจะทำให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเป็นพิษลดลง

ขั้นตอนการสกัดโคตินแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ตามลำดับได้แก่

1.การกำจัดแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน ด้วยสารละลายกรด

2.กำจัด โปรตีนจากกากที่เหลือด้วยสารละลายด่าง โคตินที่แยกได้จะถูกนำไปตัดแปรด้วยวิธีทางเคมีอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้โคโคแซนที่มีคุณภาพที่ต้องการ

คุณภาพของโคตินและโคโคแซนที่ผลิตได้จะขึ้นกับกระบวนการแยกโคติน ชนิดของวัตถุดิบและสถานะของปฏิกิริยาที่ใช้ตัดแปรโคตินเป็นโคโคแซน

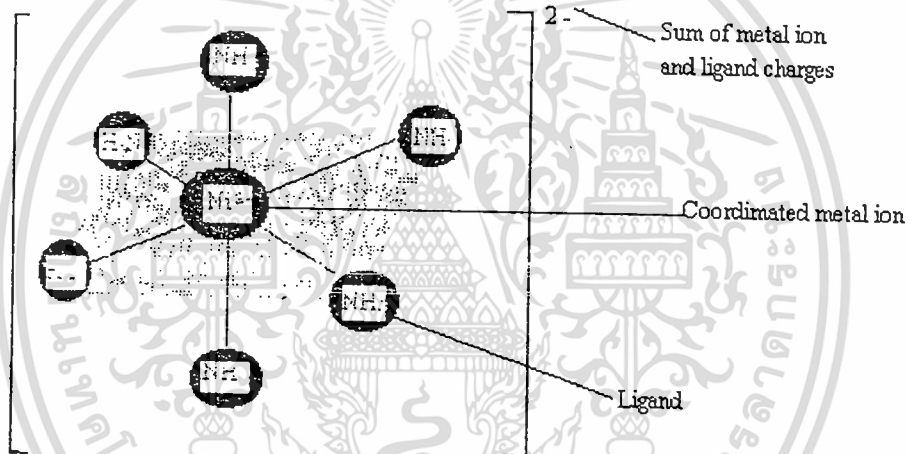


2.2 สมบัติพิเศษของโคโคแชน

บทนำ

ธาตุทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ (coordinate covalent) กับกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออนเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน (complex ion) ที่สามารถจับกับไอออนหรือไอออนเชิงซ้อนอื่นที่มีประจุตรงกันข้ามได้ เกิดเป็นโมเลกุลของเกลือเชิงซ้อนที่เรียกว่าสารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compounds) หรือสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน (coordination complex) หรือโลหะเชิงซ้อน (metal complex)

ตัวอย่างของสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของสารเชิงซ้อนโคออร์ดิเนชัน

เรียกโมเลกุลหรือไอออนที่ล้อมรอบไอออนของโลหะที่อยู่ตรงกลาง (central metal ion) ว่าลิแกนด์ (ligands, เป็นคำกริยาที่มีรากศัพท์มาจากภาษาลาตินว่า "ligare" หมายถึงเพื่อจับหรือเพื่อยึด) เรียกอะตอมที่อยู่ในโมเลกุลหรือไอออนของลิแกนด์ที่ยึดโดยตรงกับไอออนของโลหะว่าอะตอมจ่าย (donor atom)

การเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชัน จะเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ตามนิยามของลิวอิส โดยลิแกนด์จะประพฤติตัวเป็นเบส (ตัวจ่ายอิเล็กตรอนคู่, electron-pair donor) และโลหะไอออนจะประพฤติตัวเป็นกรด (ตัวรับอิเล็กตรอนคู่, electron-pair acceptor)

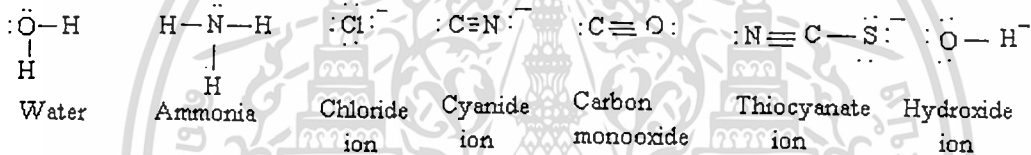
2.2.1 ลิแกนด์ (Ligands)

ดังได้กล่าวแล้วว่าลิแกนด์เป็นเบสตามนิยามของลิวอิส ซึ่งต้องมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอย่างน้อย 1 คู่ เพื่อใช้ในการสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับโลหะไอออน โดยทั่วไปจะแบ่งลิแกนด์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

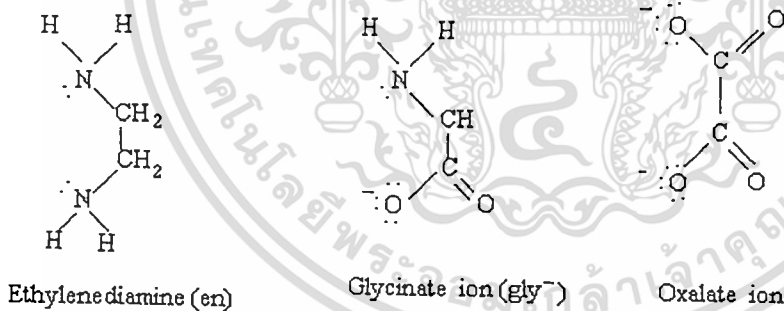
1. มอนอดেন্টเทต (monodentate) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมจ่ายเพียงอะตอมเดียว เช่น H_2O , NH_3 , Cl ทั้งนี้เพราะ monodentate มีความหมายว่า one-tooth หมายถึง ฟันซี่เดียว

2. พอลิเดนเทต (polydentate) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีจำนวนอะตอมจ่ายมากกว่า 1 (polydentate มีความหมายว่า many-teeth ซึ่งหมายถึง ฟันหลายซี่) เช่น เอธิลีนไดเอมีน ($NH_2CH_2CH_2NH_2$, ใช้อักษรย่อว่า en) มี N ที่เป็นอะตอมจ่ายอยู่ 2 อะตอม จึงเรียกว่าเป็นไบเดนเทตลิแกนด์ (bidentate)

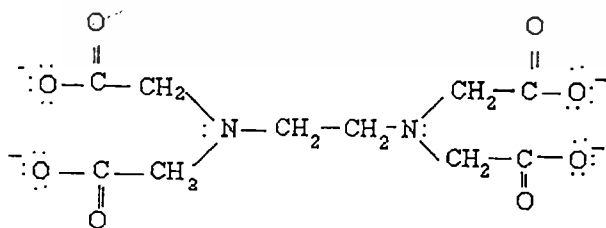
Monodentate ligands:



Bidentate ligands:



Hexadentate ligand:



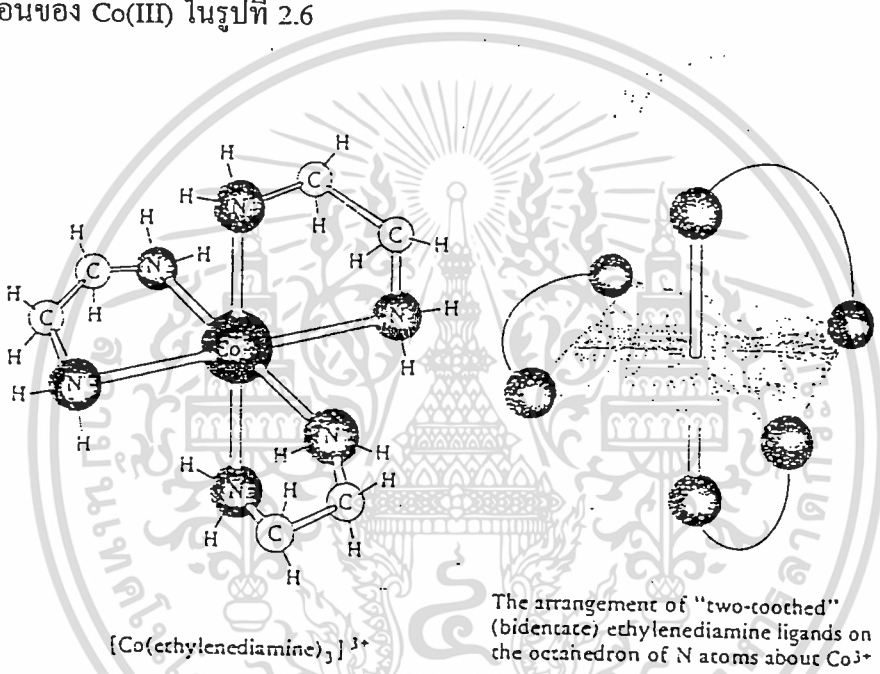
Ethylenediaminetetraacetate ion (EDTA^{4-})

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของลิแกนด์ที่พบได้ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สารประกอบเชิงซ้อนคีเลต

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไอออนกับพอลิเดนเทตลิแกนด์ (Polydentate ligand) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกพอลิเดนเทตลิแกนด์ว่าตัวกระทำคีเลตติ้ง (Chelating agent) Chelate มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า "Chele" แปลว่า กรงเล็บ หรือกำมู ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเดนเทตลิแกนด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เมื่อจับกับโลหะจะมีลักษณะคล้ายการโอบจับ หรือหนีบของกำมูเกิดลักษณะที่เป็นวง เรียกว่า วงคีเลต (chelate ring) เรียกสารหรือไอออนเชิงซ้อนแบบนี้ว่าสารคีเลต หรือโลหะคีเลต (metal chelate) ตัวอย่างเช่นการจับของเอธิลีนไดเอมีนกับไอออนของ Co(III) ในรูปที่ 2.6

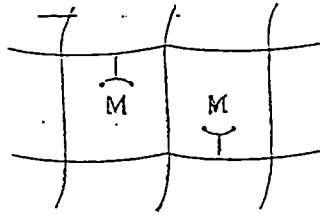


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อน $[Co(en)_3]^{3+}$

2.2.3 ลักษณะการจับของลิแกนด์บนโครงสร้างของพอลิเมอร์

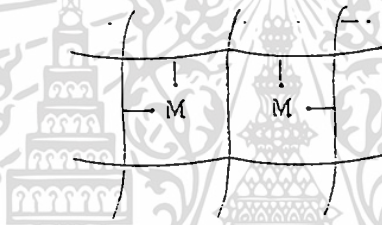
ลักษณะการจับไอออนโลหะของลิแกนด์บนโครงสร้างของพอลิเมอร์มีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่

- 1) พอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายที่มีลิแกนด์ชนิดหลายหมู่ไอออน (multifunction ligand) อยู่บนโครงร่างตำแหน่งเดียว แสดงในรูปที่ 2.7



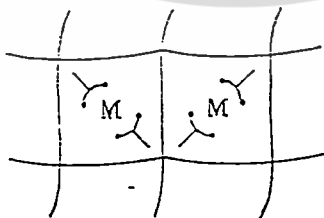
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหลายหมู่วงไวบนโครงร่างตาข่าย
ตำแหน่งเดียว

2) พอลิเมอร์ โครงร่างตาข่ายที่ลิแกนด์ชนิดหมู่วงไวเดี่ยว (monofunction ligand) อยู่บนโครงสร้างในการเกิดคีเลตกับไอออนโลหะใช้ลิแกนด์ใกล้เคียงในการจับไอออน แสดงในรูปที่ 2.8



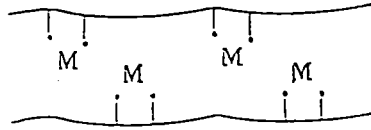
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวชนิดเดียวกันบนโครงร่างตาข่าย
หลายตำแหน่ง

3) พอลิเมอร์ โครงร่างตาข่าย ที่มีลิแกนด์น้ำหนักโมเลกุลต่ำชนิดหลายหมู่วงไวถูกดูดซับไว้ในโครงสร้าง (chelating adsorbant) แสดงในรูปที่ 2.9



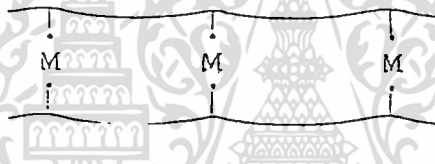
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะลิแกนด์ที่มีหมู่วงไวดูดซับไว้ในโครงร่างตาข่ายหลาย
ตำแหน่ง

4) พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น ที่มีลักษณะการจับไอออนโลหะของลิแกนด์เกิดขึ้นภายในสายโซ่เดียวกัน (intramolecular chelating) แสดงในรูปที่ 2.10



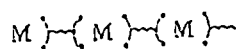
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะภายในสายโซ่

5) พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น ที่มีลักษณะการจับไอออนของลิแกนด์เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่ (intermolecular chelating) แสดงในรูปที่ 2.11



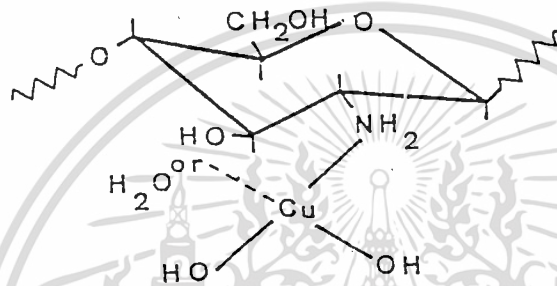
รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะระหว่างสายโซ่

6) พอลิเมอร์ที่มีโลหะแทรกอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ (mettalopolymer) ลิแกนด์ชนิดมอนอเมอร์ริก (monomeric) หรือโอลิโกเมอร์ริก (oligomeric) เชื่อมกับไอออนโลหะในรูปของสะพานไอออน (metal-ion bridge form) แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการจับไอออนโลหะในลักษณะสะพานเชื่อมโยง

เนื่องจากไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่วงไวเคิลดิงลิแกนด์ (chelating ligand) หรือมีลติเดนเทตลิแกนด์ (multidentate ligand) เชื่อมต่อกับโครงสร้างด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งความสามารถในการใช้งานของไคโตแซนจะขึ้นอยู่กับหมู่เอมีน เมื่อสารนี้ละลายในกรดหมู้นี้จะจับโปรตอนกลายเป็น $(-NH_3^+)$ ซึ่งทำให้ไคโตแซนมีประจุไฟฟ้าและมีคุณสมบัติเป็นกรดหมู้นี้ $(-NH_3^+)$ เป็นโมเลกุลที่มีประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคที่มีประจุลบซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยจับกับโมเลกุลเหล่านี้ทำให้สารแขวนลอยไม่เสถียร และตกตะกอนออกมาเป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของสารเชิงซ้อน Cu^{2+} - Chitosan

2.3 ความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity)

เนื่องจากการศึกษาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนที่เป็นมาตรฐานนั้น ทำในเรซิน การศึกษาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโคแซนจึงเทียบเคียงจากวิธีดังกล่าว ด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การที่เรซินสามารถแสดงความประพฤติต่าง ๆ ได้มากมาย จึงจำเป็นต้องมีสิ่งที่สามารถแสดงคุณลักษณะของเรซินคือขนาดของความจุและความแรงของหมู่กรดและเบส การหาความจุจำเพาะของเรซินตามทฤษฎีคือ หาจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลของกรดและเบสที่มีอยู่ใน 1 กรัมของเรซินที่แห้ง การหาความจุจำเพาะในทางปฏิบัติคือหาจำนวนหมู่ฟังก์ชันนอลที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้จริง ๆ ในสภาวะของการทดลองนั้น ๆ หรือหาจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของไอออนของเรซินใน 1 กรัมของเรซินที่แห้งในทางปฏิบัติ ตามปกติค่าความจุในทางปฏิบัติจะน้อยกว่าค่าความจุทางทฤษฎี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและส่วนประกอบของเรซินของสารละลายที่ต้องการแลกเปลี่ยนไอออน

สำหรับการหาความจุแคทไอออนและแอนไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน ต้องคำนึงถึง pH ของสารละลายด้วยเพราะ เรซินชนิดนี้จะแลกเปลี่ยนได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ pH ในกรณีของแคทไอออนชนิดอ่อนต้องหาความจุเมื่อสารละลายมี pH สูงกว่า 9 และในกรณีของแอนไอออนเรซินชนิดอ่อน ต้องหาความจุเมื่อสารละลายมี pH ต่ำกว่า 5

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
- 3.1.2 เครื่อง Infrared Spectroscopy
- 3.1.3 เครื่องเหวี่ยงตะกอน
- 3.1.4 เครื่องแยกขนาดอนุภาค
- 3.1.5 เครื่องบดสาร
- 3.1.6 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 3.1.7 ตู้อบชนิดพ่นอากาศ

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 สารโคตินมาตรฐาน
- 3.2.2 สารโคโคเซนมาตรฐาน
- 3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.2.4 กรดไฮโดรคลอริก
- 3.2.5 เปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ
- 3.2.6 อะซิโตน
- 3.2.7 เอทิลอะซิเตต
- 3.2.8 โซเดียมไฮโดรคลอไรด์
- 3.2.9 สารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น
 - FeCl_3 หรือ FeNO_3
 - CuSO_4
 - CdO_2
 - PbCl_2 และสารละลายโลหะหนักอื่น ๆ

3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายโลหะหนัก

- สารละลายของเหล็กไอออน (Fe^{3+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานของเหล็กไอออนเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppm ปริมาตร 100 ml (สำหรับสารละลายทองแดง (Cu^{2+}) และตะกั่ว (Pb^{2+}) ทำเหมือนกับสารละลายของเหล็ก)

เตรียมสารละลายเหล็กไอออน (Fe^{3+}) เข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 ml ใช้ในการทดสอบหาสามารถของการดูดซับไอออนของโลหะหนักของไคโตแซน

- สารละลายของสังกะสีไอออน (Zn^{2+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานของสังกะสีไอออนเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 ppm ปริมาตร 100 ml

เตรียมสารละลายสังกะสีไอออนเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 ml ในขวดวัดปริมาตร

- สารละลายของแคดเมียมไอออน (Cd^{2+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมไอออนเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm จำนวน 100 ml จากสารละลายมาตรฐานแคดเมียมไอออนเข้มข้น 1000 ppm

เตรียมสารละลายแคดเมียมไอออนเข้มข้น 20 ppm ปริมาตร 100 ml ในขวดวัดปริมาตร

2. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการสกัดไคตินและไคโตแซน

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เข้มข้น 50 %

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ ปริมาตร 100 ml

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) เข้มข้น 2 %

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ทำปริมาตรเป็น 250 ml

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 1.25 N

เตรียมได้โดยการปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37.3% w/w มา 25.71 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 250 ml

- สารละลายโซเดียมไฮโดรคลอไรด์ (NaOCl) เข้มข้น 0.315%

เตรียมได้โดยบีเบตสารละลายโซเดียมไฮโดรคลอไรด์มาปริมาตร 14.86 ml
เจือจางด้วยน้ำกลั่น 250 ml ในขวดวัดปริมาตร

- สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 3%

เตรียมโดยบีเบตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาปริมาตร 21.42 ml ทำ
การเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรจนมีปริมาตร 250 ml

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

3.4.1 การสกัดสารโคติน

1. นำเปลือกกุ้งสดมาล้างให้สะอาด
2. อบเปลือกกุ้งที่ $65^{\circ}C$ นาน 6 ชั่วโมง
3. บดเปลือกกุ้งด้วยเครื่องบดสาร จนละเอียดแล้วทำการแยกเอาขนาดอนุภาคด้วย
เครื่องแยกขนาด เก็บไว้ในถุงดำในตู้เย็น
4. ทำการกำจัดโปรตีน
นำเปลือกกุ้งผงแช่ใน 2% w/v ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อัตรา
ส่วนน้ำหนักเปลือกต่อปริมาณสารละลาย 1:15 ที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ นาน 2 ชั่วโมง ทำการ
ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH เป็นกลาง
5. ทำการกำจัดแร่ธาตุ
แช่ตะกอนจากขั้นการกำจัดโปรตีนใน 1.25 N ของสารละลายกรดไฮโดร
คลอริก อัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร 1:15 นาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทำการล้างด้วยน้ำ
ปราศจากไอออนจน pH เป็นกลาง
6. ทำการฟอกสี
นำตะกอนที่ได้จากการกำจัดแร่ธาตุมาแช่ใน 0.315% ของโซเดียมไฮโดร
คลอไรด์ นาน 10 นาที อัตราส่วน 1:15 ล้างด้วยอะซิโตน อัตราส่วน 1:15 ตามด้วย 3% ของ
สารละลาย hydrogen peroxide อัตราส่วน 1:15 แล้วล้างด้วยสารละลายเอทิลอะซิเตทด้วย
อัตราส่วน 1:15
7. นำโคตินที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ $65^{\circ}C$ จนแห้ง
8. นำโคตินที่ได้ไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องอินฟราเรด
สเปกโตรสโคปี

3.4.2 การสกัดโคโคแซน

ซึ่งโคตินให้ให้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง เติม 50% w/v ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตราส่วนโคตินต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม : 20 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 120°C นาน 1 ชั่วโมงในนิกเกิลครุชชีบิลภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เทสารลงในอ่างน้ำเย็นจัดอย่างรวดเร็ว แล้วล้างจนเป็นกลางด้วยน้ำปราศจากไอออนทำการกรองตะกอนโคโคแซน นำตะกอนไปอบที่ 65°C จนแห้ง ซึ่งน้ำหนักโคโคแซนที่ได้ นำโคโคแซนที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Infrared Spectroscopy ทำซ้ำอีกครั้งโดยใช้เวลาในการสกัดโคโคแซนนาน 2 ชั่วโมง

3.4.3 การทดสอบหาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะของโคโคแซน

จะทดสอบโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งโคโคแซน 0.5 กรัม (ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง) แฉลงในสารละลายมาตรฐานของเหล็กไอออน (Fe^{3+}) จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการแช่ที่แตกต่างกัน เช่น 10, 20, 30 และ 60 นาที

2. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองสารละลายผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำที่ผ่านการ deionize นำสารละลายที่ได้ไปหาปริมาตรที่แน่นอนแล้วนำไปวัดความเข้มข้นของโลหะไอออนด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)

3. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-2 โดยเปลี่ยนสารละลายไอออนของโลหะที่ใช้ดังนี้

- สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)
- สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)
- สารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$)
- สารละลายเลดไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$)
- สารละลายแคดเมียมซัลไฟด์ ($CdSO_4$)
- สารละลายไอออนของโลหะผสม

4. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดจับ ไอออนโลหะด้วยโคโคแซนและหา

ค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange capacity)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณไคตินในเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งจำนวน 7 ชนิด พบว่า ไคตินที่ได้มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวสะอาด กุ้งแต่ละชนิดมีปริมาณไคตินที่ต่างกันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้ง

ชนิดของเปลือกกุ้ง	% chitin	หมายเหตุ
กุ้งกุลาดำ (<i>Penaeus monodon</i> Fabricius)	33.79	-
กุ้งลายน้ำตาล (<i>Penaeus Semisutcatus</i>)	28.48	-
กุ้งขาว (<i>Penaeus Mrguiensis</i>)	27.71	-
กุ้งก้ามกราม (<i>Penaeus giant freshwater prawn</i>)	26.46	-
กุ้งโอคัก (<i>Metapenaeus</i> Sp.)	25.51	-
กุ้งลายหิน (<i>Penaeus Tatisucatus</i>)	24.77	-
กุ้งแชบ๊วย (<i>Penaeus Sea lobster</i>)	16.59	-

จากตารางที่ 1 พบว่ากุ้งกุลาดำจะมีปริมาณไคตินมากที่สุด คือ 33.79% รองลงมาคือ กุ้งลายน้ำตาล 28.48% และน้อยที่สุดคือ กุ้งแชบ๊วย 16.59% ซึ่งเปลือกกุ้งแต่ละชนิดที่ได้นำมาทดลองนั้นมีความหนาและสีของเปลือกแตกต่างกันรวมถึงเปลือกกุ้งที่ผ่านการบดแล้วจะมีลักษณะต่างกันบางชนิดมีลักษณะคล้ายเข็ม (แชบ๊วย), บางชนิดเป็นผง

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณไคโตแซนที่สกัดจากไคตินของเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไคโตแซนจากไคตินที่ได้จากเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ จำนวน 7 ชนิด พบว่าไคโตแซนมีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวเหมือนไคติน แต่จะมีน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบ

โดยปริมาณและเมื่อทำการเทียบปริมาณ ไคโตแซนที่ได้พบว่าความแตกต่างของปริมาณที่สกัดได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณไคโตแซนจากไคตินของกุ้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเปลือกกุ้ง	%chitosan	หมายเหตุ
กุ้งกุลาดำ (Penaeus Monodon Fabricius)	83.30	-
กุ้งลายน้ำตาล (Penaeus Semisucatus)	83.11	-
กุ้งขาว (Penaeus Merguiensis)	81.96	-
กุ้งกรามกราม (Penaeus giant freshwater prawn)	78.12	-
กุ้งโอคัก (Metapenaeus Sp.)	77.26	-
กุ้งลายหิน (Penaeus Tatisucatus)	75.71	-
กุ้งแชบ๊วย (Penaeus Sea Lobster)	44.49	เป็นเจล
กุ้งผสม	56.33	สกัดนาน 2 ชม.

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าไคโตแซนที่สกัดได้จากไคตินที่เวลาการสกัดนาน 60 นาที จะมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของเปลือกกุ้งที่ใช้สกัดไคตินโดยกุ้งกุลาดำจะให้ไคโตแซนมากที่สุดคือ 83.30% เทียบกับน้ำหนักไคตินที่ใช้ รองลงมาได้แก่ กุ้งลายน้ำตาล 83.11%, กุ้งขาว 81.96%, กุ้งกรามกราม 78.12%, กุ้งโอคัก 77.26%, กุ้งลายหิน 75.71%, และน้อยที่สุดคือ กุ้งแชบ๊วย 44.49% เป็นที่สังเกตว่าที่สภาวะการวิจัยเดียวกัน ไคโตแซนจากกุ้งแชบ๊วย จะมีลักษณะเป็นเจลใสจับแล้วลื่นมือทุกครั้งที่ทำกรวิจัย และในการสกัดไคโตแซนนาน 2 ชั่วโมง จะให้ปริมาณไคโตแซนต่ำกว่าที่ใช้เวลาในการสกัดนาน 1 ชั่วโมงโดยจะสกัดได้ 56.33 %

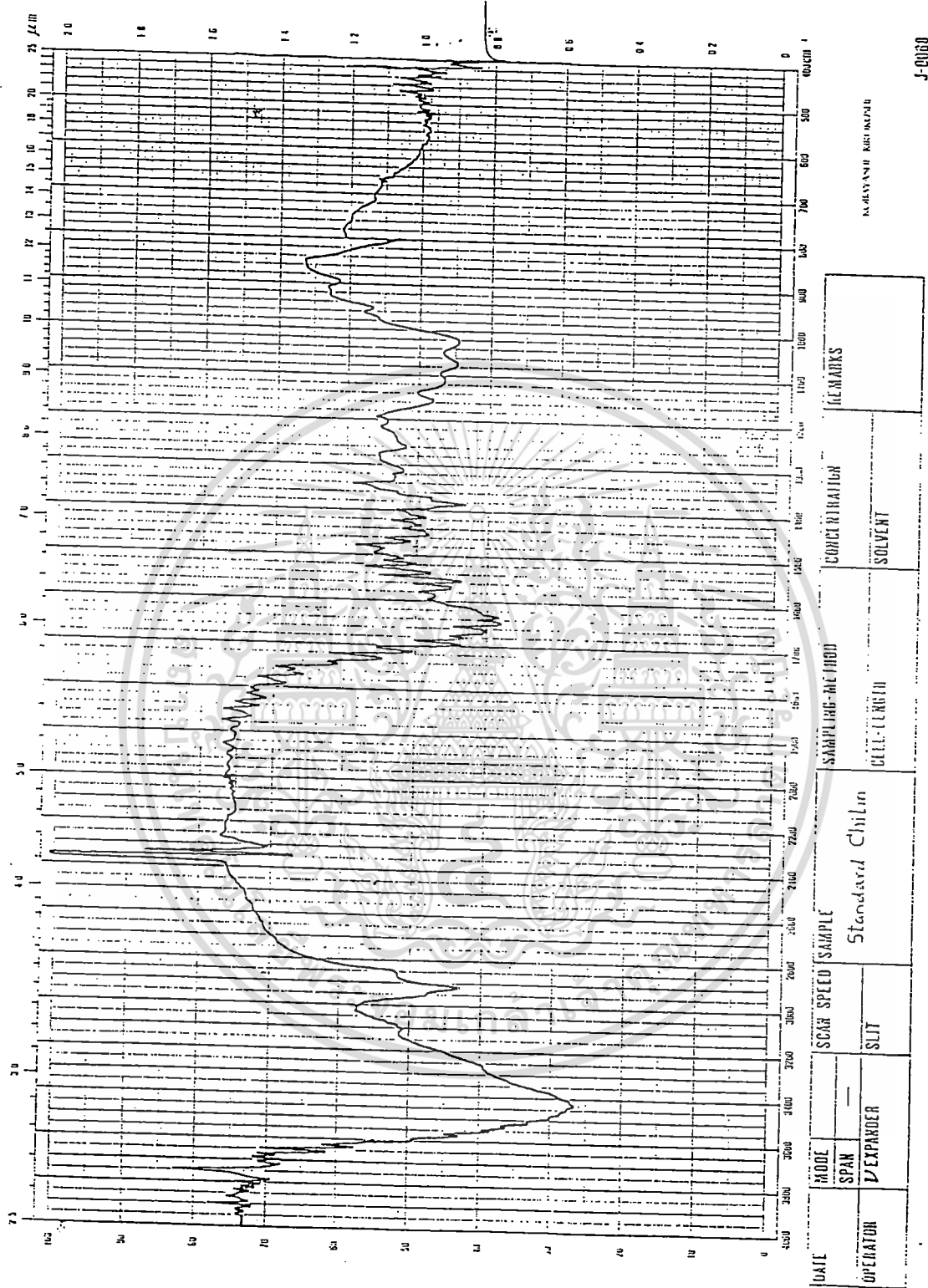
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคตินและไคโตแซนด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

ในการวิจัยเพื่อพิสูจน์ว่าสารที่สกัดได้คือ ไคตินและไคโตแซนทำโดยการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารไคตินและไคโตแซนที่สกัดได้เทียบกับไคตินและไคโตแซนที่สั่งซื้อจากบริษัท Fluka ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งในอินฟราเรดสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันที่สนใจศึกษา ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมที่สนใจ

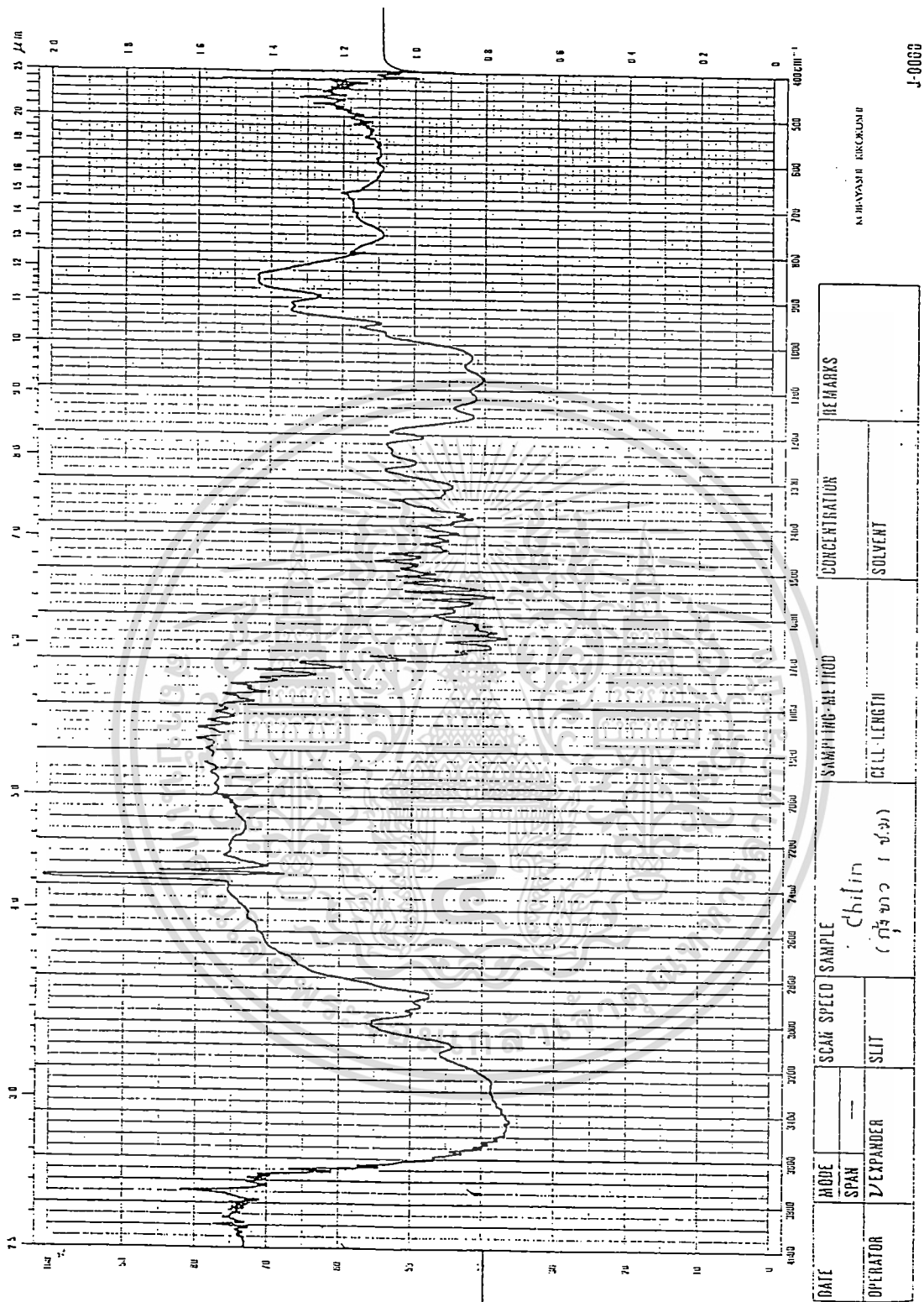
ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H Stretching O-H Stretching N-H ของ NH_2	แถบกว้าง, แถบเดี่ยว และต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
3100, 3255	CH-NH (C-2 amide)	
2940, 2970	O CH ₃ -C- (C-2 amide)	
1680	O Stretching -C- (acetyl carbonyl)	แถบกว้าง
1550	N-H bending	

สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมของโคตินจากบริษัท Fluka และโคตินที่สังเคราะห์ได้
จากเปลือกกุ้งแสดงดังรูปที่ 4.1-4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ ไคตินจากบริษัท Fluka

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินจากเปลือกกุ้ง

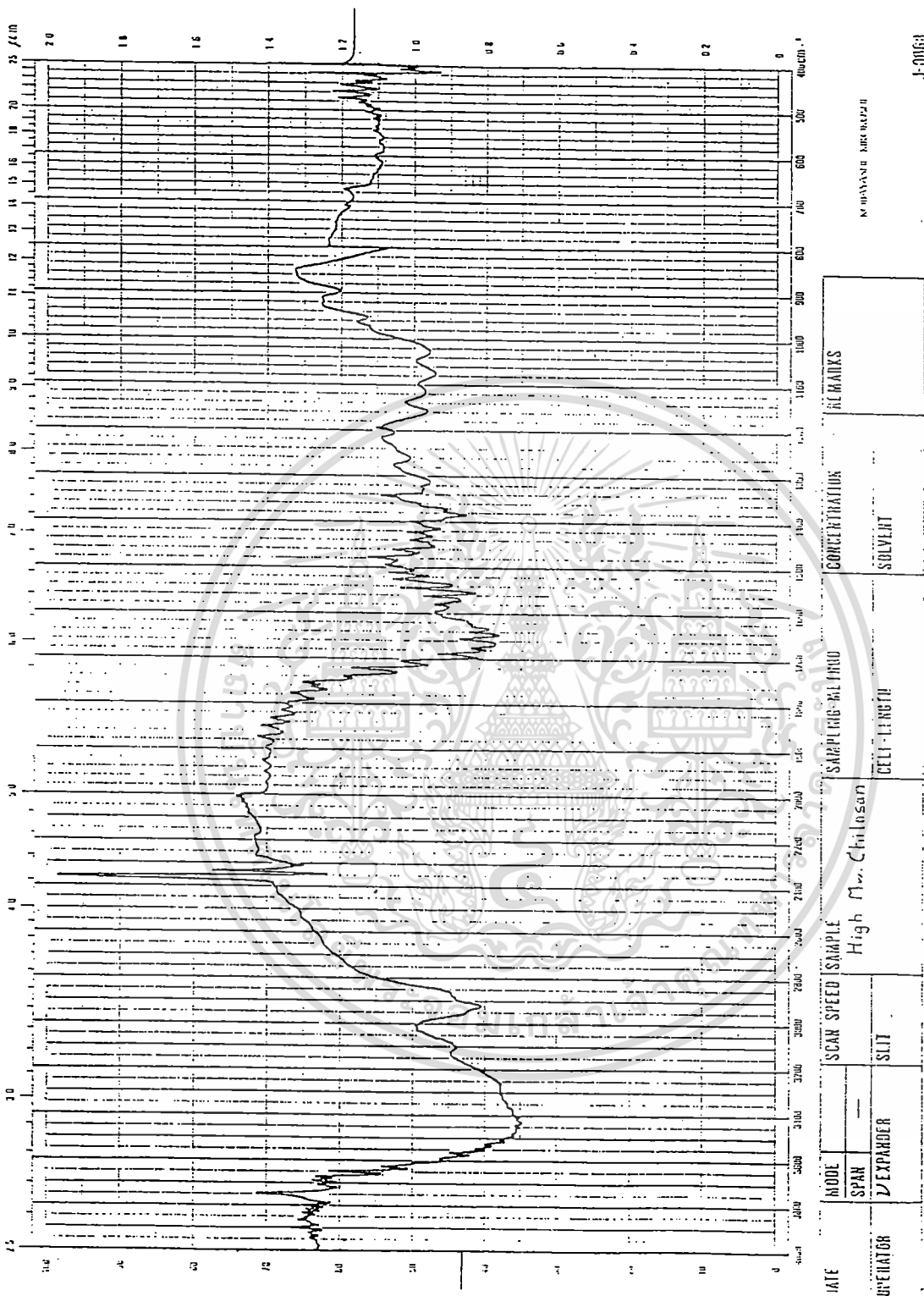
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ่มกับโคตินจากบริษัท Fluka พบว่ามีโครงสร้างทาง infrared spectroscopy เหมือนกันทุกประการโดยมีตำแหน่งและลักษณะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมเป็นไปตามตารางที่ 3

นอกจากนี้การที่ไม่สามารถสังเกตแถบ -NH_2 ที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากมีอินฟราเรดสเปกตรัมขึ้นในย่านเดียวกับ -OH ซึ่งออกซิเจนอะตอมมีสภาพไฟฟ้าลบสูงกว่าไนโตรเจนอะตอม ทำให้การเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ของพันธะมีมากกว่าของพันธะ N-H แถบการดักคลื่นรังสีอินฟราเรดของ O-H Stretching จึงเข้มกว่าของ N-H Stretching ทำให้มองไม่เห็นแถบของ N-H ใน RNH_2 ซึ่งปกติจะเห็นเป็นแถบคู่

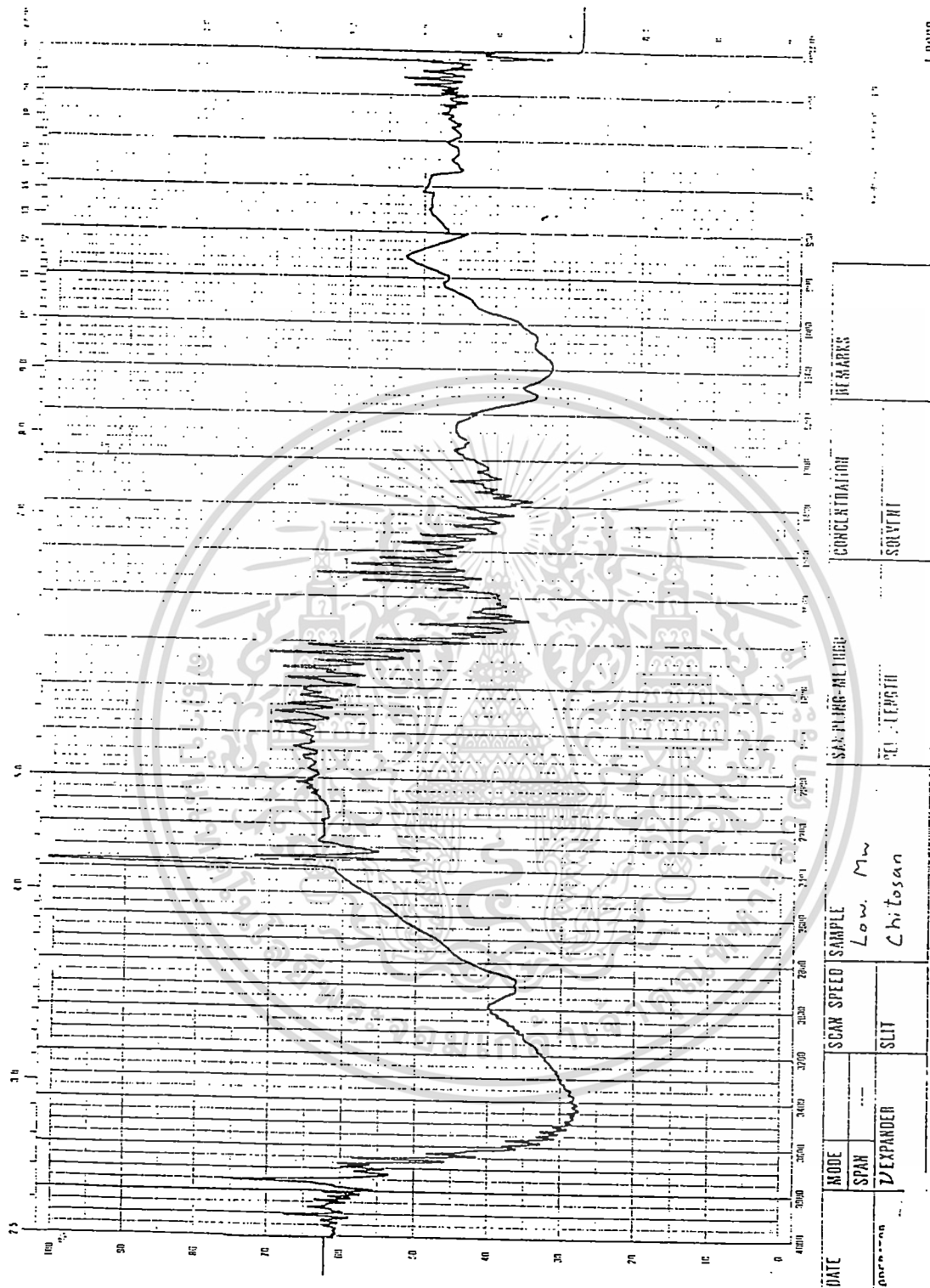
สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนจะทำการวิเคราะห์โคโคแซนชนิด High MW และ Low MW จากบริษัท Fluka และโคโคแซนที่สังเคราะห์จากโคตินซึ่งสกัดได้จากเปลือกกุ่มที่เวลาในการสังเคราะห์นาน 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมงเป็นดังรูป 4.3-4.6

จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้พบว่าโคโคแซนที่ใช้เวลาสังเคราะห์นาน 1 ชั่วโมง มีลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมเหมือนกับโคโคแซนของบริษัท Fluka ทุกประการ และพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่ acetyl carbonyl (C=O) ที่ 1680 cm^{-1} ยังคงมีอยู่ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมู่อะเซทิลทำได้ไม่สมบูรณ์ สำหรับโคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน 2 ชั่วโมง จะมีปรากฏแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ N-H bending ได้ชัดเจน ในขณะที่แถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ acetyl carbonyl ลดลง แสดงว่าการ deacetyl ทำได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาการ deacetyl



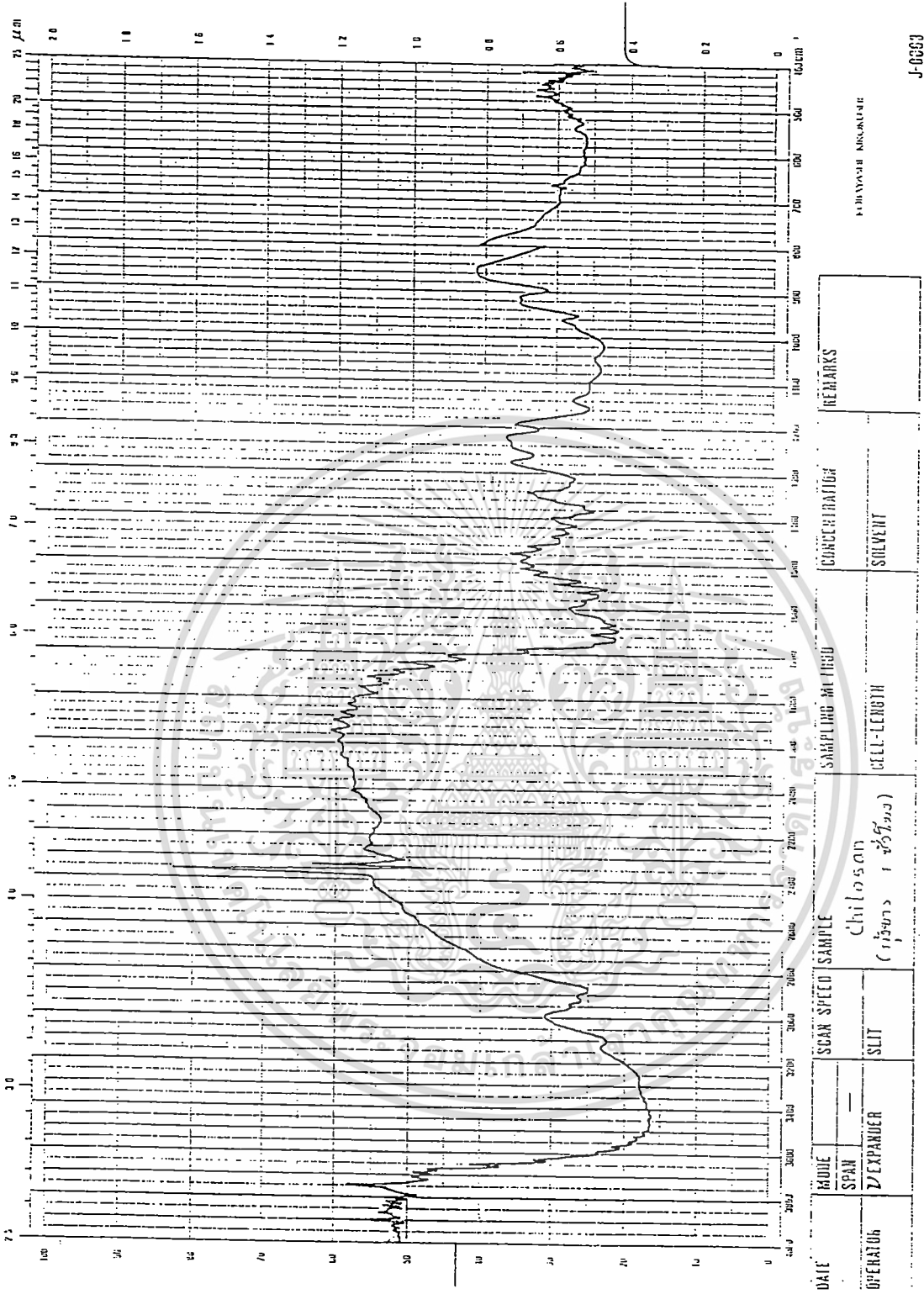
รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตนเซนชนิด High MW ของบริษัท Fluka

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนชนิด Low Mw ของบริษัท Fluka

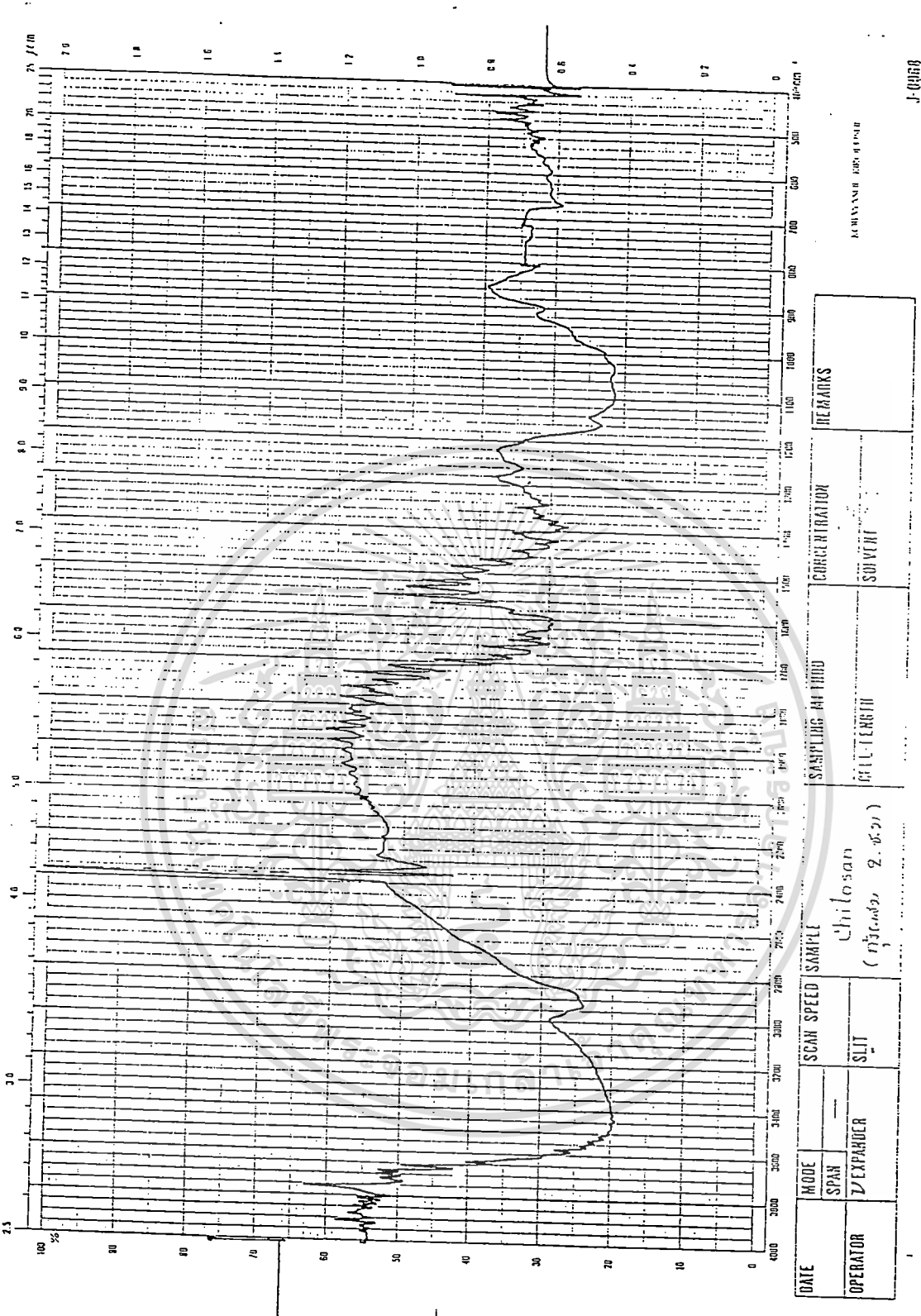
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



J-0003

รูปที่ 4.5 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจากไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งโดยเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจากไคตินที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งโดยเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ความสามารถดูดซับไอออนโลหะหนักของโคโตแซน

การหาความสามารถในการดูดซับโลหะไอออนแต่ละชนิดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชัน (Atomic Absorbion Spectroscopy) จะต้องทำกราฟมาตรฐานของโลหะไอออนแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.11



== ELEMENT : CU ==

== ELEMENT : CU ==

ANALYTICAL LINE SEARCH

324.81 NM

38-FINISHED

38-FINISHED

CONC CAL: METHOD 3 ? NORMAL

STD 81 82 83 84 85 86

CONC

2 4 6 8 10

SPL# ABS CONC BG CU

BLANK .002

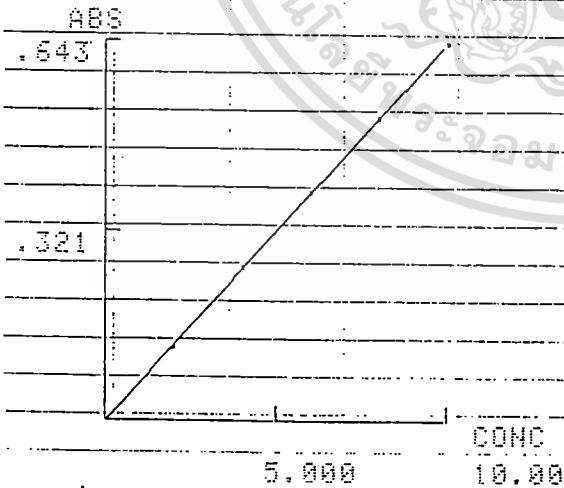
STD1 .128 2.000

STD2 .254 4.000

STD3 .392 6.000

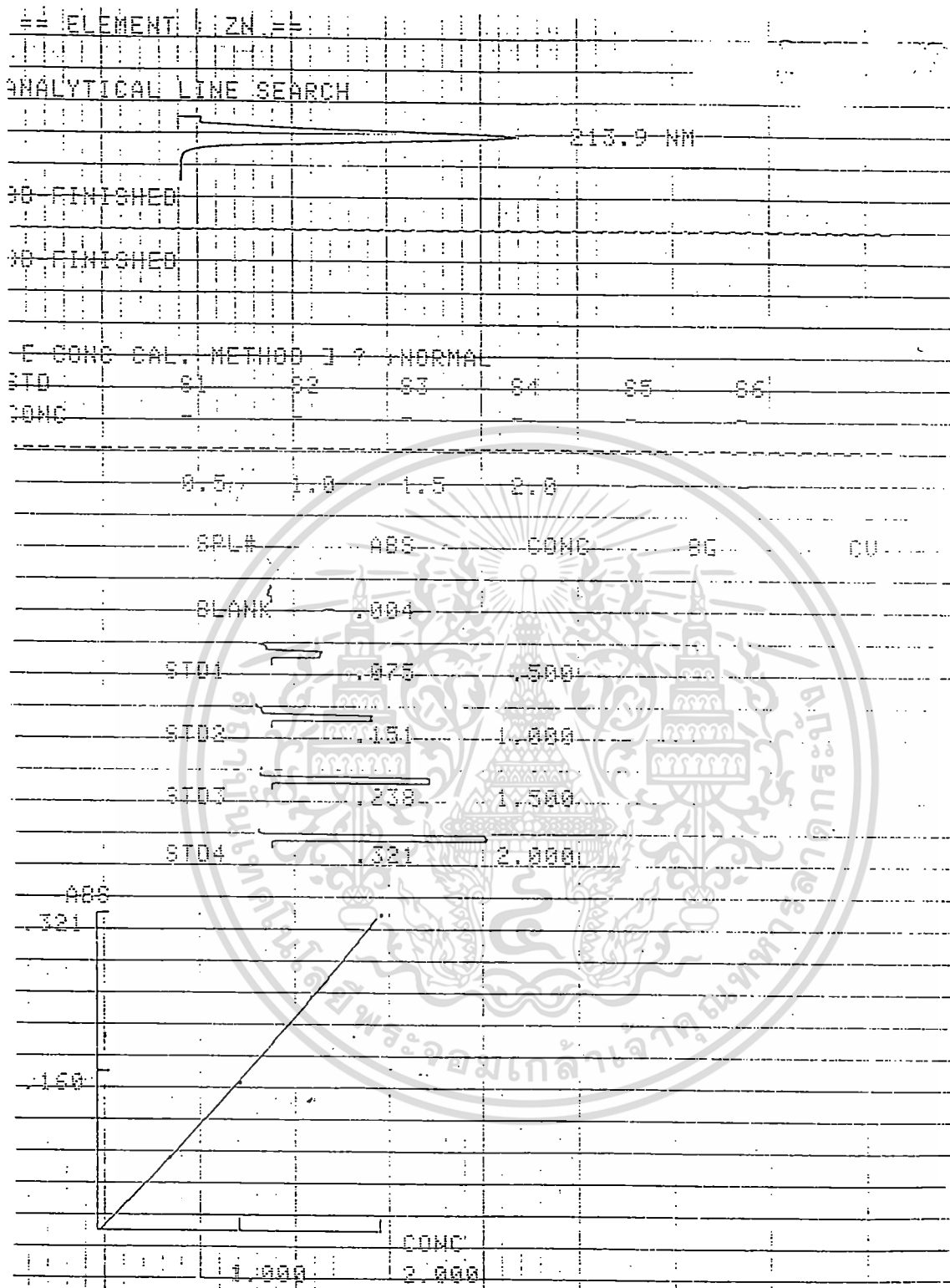
STD4 .518 8.000

STD5 .643 10.000



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของทองแดง (Cu²⁺) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบซัน (Atomic Absorption Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของสังกะสี (Zn^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอบซัน (Atomic Absorption Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

== ELEMENTAL MICRO ==

ANALYTICAL LINE SEARCH

228.8 NM

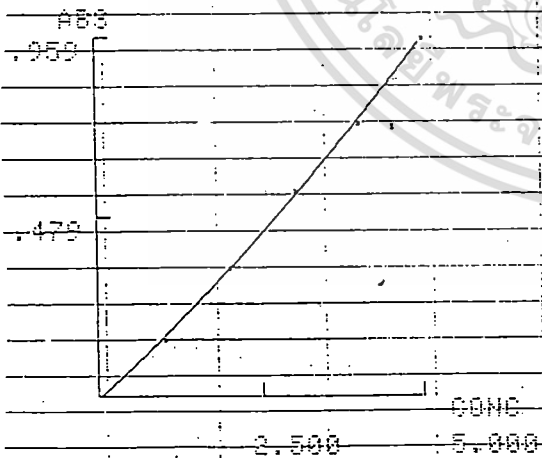
8-FINISHED

8-FINISHED

E CONC CAL. METHOD J T. NORMAL

STD	81	82	83	84	85	86
CONC						

SPL#	ABS	CONC	86	CV
BLANK	.001			
ST01	.157	1.000		
ST02	.350	2.000		
ST03	.552	3.000		
ST04	.732	4.000		
ST05	.959	5.000		



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอซัน (Atomic Absorption Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิตยสารใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

== ELEMENTS: PB ==

ANALYTICAL LINE SEARCH

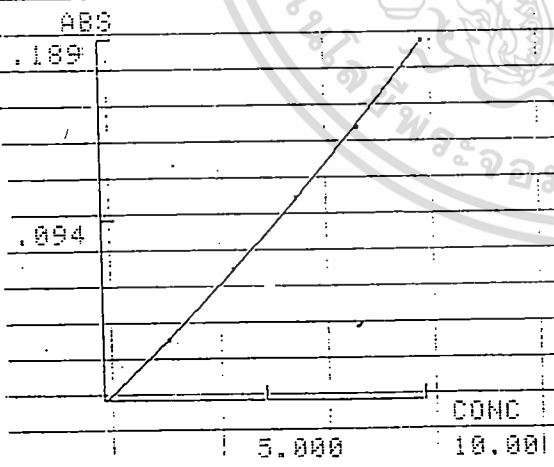
217.9 nm

38-FINISHED

38-FINISHED

STO	CONC	CAL. METHOD	1	2	3	4	5	6
ST01	2.000	NORMAL	51	52	53	54	55	56
ST02	4.000							
ST03	5.000							
ST04	8.000							
ST05	10.000							

SPL#	ABS	CONC	BG	CV
BLANK	.002			
ST01	.033	2.000		
ST02	.070	4.000		
ST03	.107	5.000		
ST04	.144	8.000		
ST05	.189	10.000		



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ซึ่งวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบซัน (Atomic Absorption Spectroscopy)

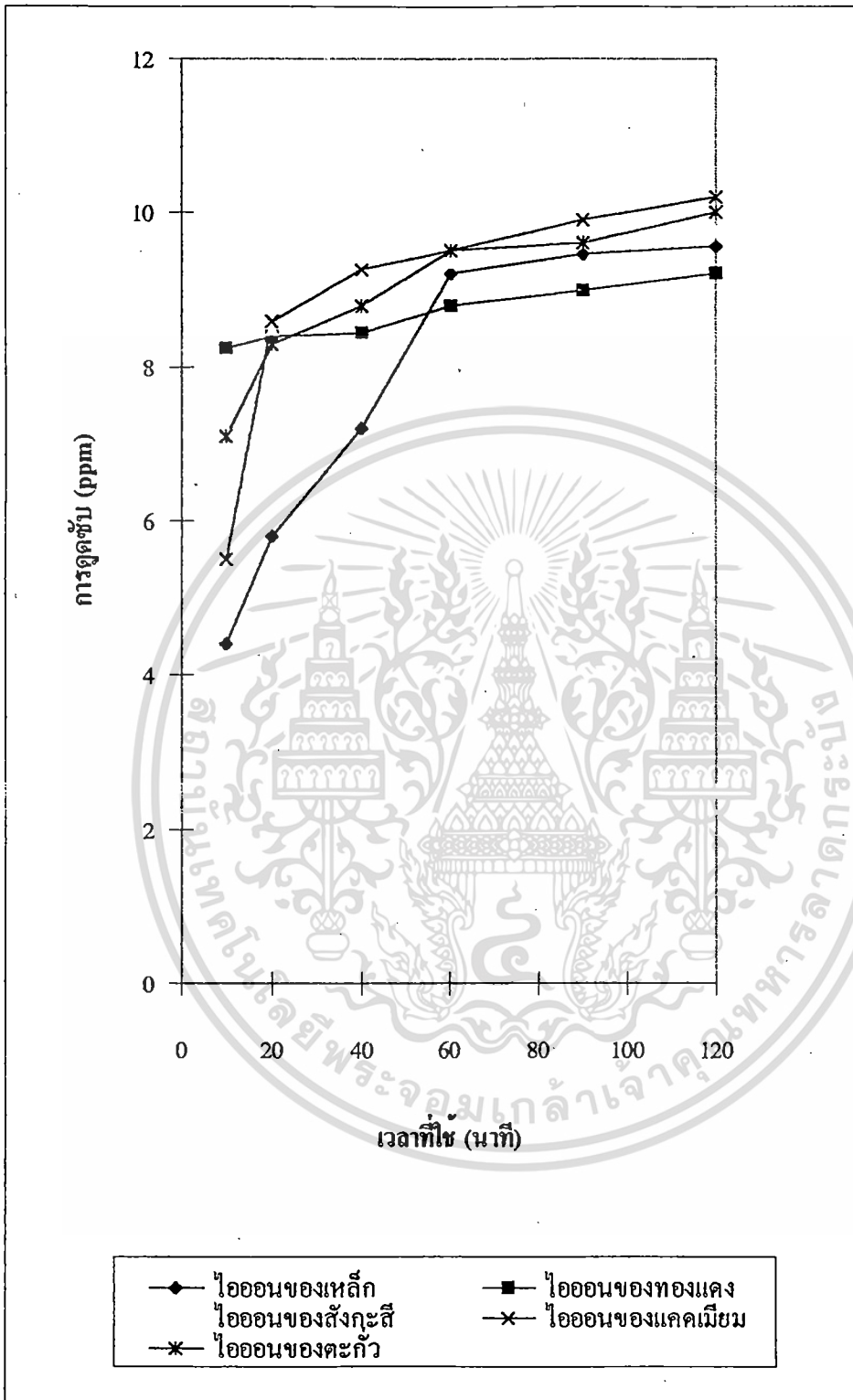
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การวิเคราะห์หาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะของไคโตแซน

ในการหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนโลหะของไคโตแซน โดยทำการทดสอบการดูดซับไอออนที่เวลา 10, 20, 40, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ เมื่อนำมาเขียนกราฟจะเป็นดังรูปที่ 4.12

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เมื่อเวลาในการดูดซับโลหะไอออนมากขึ้น ปริมาณการดูดซับโลหะไอออนของไคโตแซนจะเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว ในช่วง 40 นาทีแรกและจะเริ่มอืดตัวที่เวลา 60 นาที





รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะด้วยไอโตแซนที่เวลา 10, 20, 40, 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะหนักของโคโคแซน

- การวิเคราะห์ในสารละลายโลหะไอออนแต่ละชนิด

ในการวิจัยได้นำโคโคแซน 4 ชนิดได้แก่ โคโคแซนชนิด High MW ที่สั่งซื้อจากบริษัท Fluka (H), โคโคแซนชนิด Low MW ที่สั่งซื้อจากบริษัท Fluka (L), โคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์จากโคติน 1 ชั่วโมง (S₁) และโคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์จากโคติน 2 ชั่วโมง (S₂) มาใช้ในสารละลายไอออนโลหะจำนวน 5 ชนิดคือไอออนของเหล็ก (Fe³⁺), ไอออนของสังกะสี (Zn²⁺), ไอออนของทองแดง (Cu²⁺), ไอออนของตะกั่ว (Pb²⁺) และไอออนของแคดเมียม (Cd²⁺) ที่เข้มข้น 20 ppm ที่เวลา 60 นาที ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักของโคโคแซนทั้ง 4 ชนิดที่เวลา 60 นาที

ชนิดของโลหะ	H		L		S ₁		S ₂	
	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%
เหล็ก (Fe ³⁺)	6.74	33.70	3.50	17.50	2.76	13.80	4.09	20.43
ทองแดง (Cu ²⁺)	17.31	86.60	15.52	77.60	13.12	65.60	14.00	70.02
สังกะสี (Zn ²⁺)	11.18	55.90	6.32	31.60	15.32	26.60	12.66	63.30
แคดเมียม (Cd ²⁺)	7.52	37.60	4.44	22.20	3.94	19.70	11.06	55.28
ตะกั่ว (Pb ²⁺)	15.98	79.90	14.84	74.20	8.43	42.20	11.27	56.32

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าโคโคแซนแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับโลหะไอออนไม่เท่ากัน โดยโคโคแซนชนิด High MW ดูดซับได้ดีที่สุด รองลงมาคือ โคโคแซนชนิด Low MW, โคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน 2 ชั่วโมง และน้อยที่สุดคือโคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน 1 ชั่วโมง นอกจากนี้โลหะไอออนแต่ละชนิดก็ถูกดูดซับโดยโคโคแซนได้ไม่เท่ากันโดยมีลำดับของเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือสามารถดูดซับไอออนของทองแดง(Cu²⁺) ได้มากที่สุด รองลงมาคือไอออนของตะกั่ว (Pb²⁺) และสุดท้ายจะเป็นไอออนของเหล็ก (Fe³⁺)

สำหรับโคโคแซนที่สังเคราะห์ด้วยเวลานาน 2 ชั่วโมง (S_2) ซึ่งสามารถทำการกำจัดหมู่อะเซทิล (deacetyl) ได้มากกว่าโคโคแซนที่ใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน 1 ชั่วโมง (S_1) และลำดับความสามารถในการดูดซับไอออนแต่ละชนิดก็เหมือนกันกับโคโคแซนชนิดอื่น ๆ

สำหรับสาเหตุที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักของโคโคแซนแต่ละชนิดไม่เท่ากันก็เนื่องมาจากการกำจัดหมู่อะเซทิล (deacetyl) ไม่เท่ากัน โดยโคโคแซนที่มีการกำจัดหมู่อะเซทิลสูงจะดูดซับโลหะได้ดีกว่า ส่วนการที่ไอออนโลหะแต่ละชนิดถูกดูดซับไม่เท่ากันนั้นมีสาเหตุมาจากขนาดของไอออนในสารละลายและความหนาแน่นของประจุ (charge density) คือ ประจุ / รัศมีไอออน (ดูได้จากตารางที่ 5) โดยพบว่าโลหะไอออนที่มีความหนาแน่นประจุสูงจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูดทางไฟฟ้ากับประจุลบบนลิแกนด์ได้ดีทำให้โมเลกุลเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีความเสถียรมากขึ้นโดยไม่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของโลหะไอออนซึ่งได้แก่ การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

ตารางที่ 5 แสดงรัศมีโลหะไอออนและความหนาแน่นประจุ

ชนิดของโลหะ	รัศมีไอออน (pm)	charge density $\times 10^{10}$
เหล็ก (Fe^{3+})	65	4.62
ทองแดง (Cu^{2+})	73	2.74
ตะกั่ว (Pb^{2+})	86	2.33
สังกะสี (Zn^{2+})	75	2.67
แคดเมียม (Cd^{2+})	65	2.11

- การวิเคราะห์ในสารละลายผสมของไอออนโลหะหนัก

ในการวิจัยได้ทำการทดสอบผสมสารละลายไอออนของโลหะหนัก (Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} และ Pb^{2+}) ขึ้น โดยไอออนโลหะแต่ละชนิดเข้มข้น 20 ppm แล้วนำโคโคแซนชนิดต่าง ๆ มาทดสอบการดูดซับไอออนโลหะซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักของไคโตแซนทั้ง 4 ชนิดในสารละลายโลหะหนักผสมที่เวลา 60 นาที

ชนิดของโลหะ	H		L		S ₁		S ₂	
	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%	ดูดซับ	%
เหล็ก (Fe ³⁺)	5.49	29.71	2.36	13.68	1.74	8.70	3.23	16.14
ทองแดง (Cu ²⁺)	12.69	63.45	12.16	60.80	8.57	42.55	8.70	43.52
สังกะสี (Zn ²⁺)	6.63	33.15	5.90	29.50	5.10	25.50	6.25	31.29
แคดเมียม (Cd ²⁺)	3.88	19.40	2.02	10.10	2.60	13.00	5.45	27.27
ตะกั่ว (Pb ²⁺)	8.26	41.30	5.78	28.90	5.93	29.65	5.82	29.08

ไคโตแซนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงเมื่ออยู่ในสารละลายผสมของไอออนโลหะทั้ง 5 ชนิดพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะทุกชนิดจะลดลงซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าในสารละลายผสมของไอออน Fe³⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ และ Pb²⁺ เปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะของไคโตแซนทุกชนิดจะลดลง แต่ลำดับเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะแต่ละชนิดยังคงเหมือนเดิม ซึ่งก็คือ Cu²⁺ > Pb²⁺, Zn²⁺ > Cd²⁺, Fe³⁺

4.4.3 การวิเคราะห์หาค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity) ของไคโตแซน

การหาค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Cation Exchange Capacity) สามารถหาได้จากค่าการดูดซับโลหะไอออนของไคโตแซน โดยมีหน่วยเป็น ppm ต่อ 1 กรัมของน้ำหนักไคโตแซน โดยผลการคำนวณค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน แสดงตามตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7 แสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโคแซนทั้ง 4 ชนิดในสารละลายโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่เวลา 60 นาที

ชนิดของโลหะ	Cation Exchange Capacity			
	H	L	S ₁	S ₂
เหล็ก (Fe ³⁺)	13.74	7.00	5.52	8.18
ทองแดง (Cu ²⁺)	34.62	31.04	26.24	28.00
สังกะสี (Zn ²⁺)	22.36	12.64	10.64	25.32
แคดเมียม (Cd ²⁺)	15.04	8.88	7.88	22.12
ตะกั่ว (Pb ²⁺)	31.96	29.68	16.86	22.54

ตารางที่ 8 แสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของโคโคแซนทั้ง 4 ชนิดในสารละลายโลหะผสมที่เวลา 60 นาที

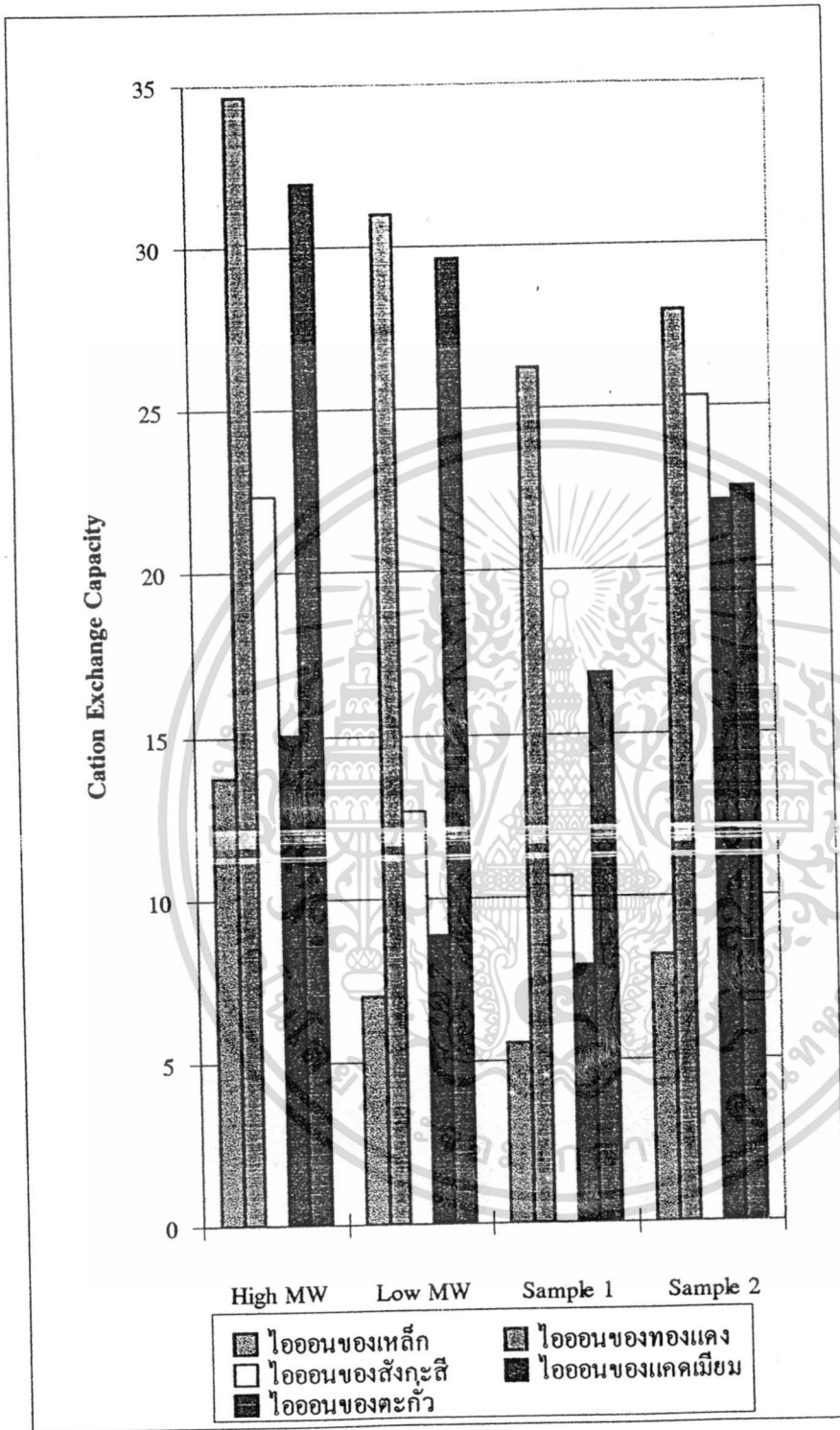
ชนิดของโลหะ	Cation Exchange Capacity			
	H	L	S ₁	S ₂
เหล็ก (Fe ³⁺)	10.98	4.72	3.48	6.46
ทองแดง (Cu ²⁺)	25.38	24.32	17.02	17.40
สังกะสี (Zn ²⁺)	13.26	11.80	10.20	12.50
แคดเมียม (Cd ²⁺)	7.76	4.04	5.20	10.90
ตะกั่ว (Pb ²⁺)	16.52	11.56	11.86	11.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 7-8 พบว่าค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity) ในไคโตแซนชนิด High MW มีค่ามาก ส่วนในไคโตแซนที่สังเคราะห์นาน 2 ชั่วโมงมีค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากกว่าไคโตแซนที่สังเคราะห์นาน 1 ชั่วโมง

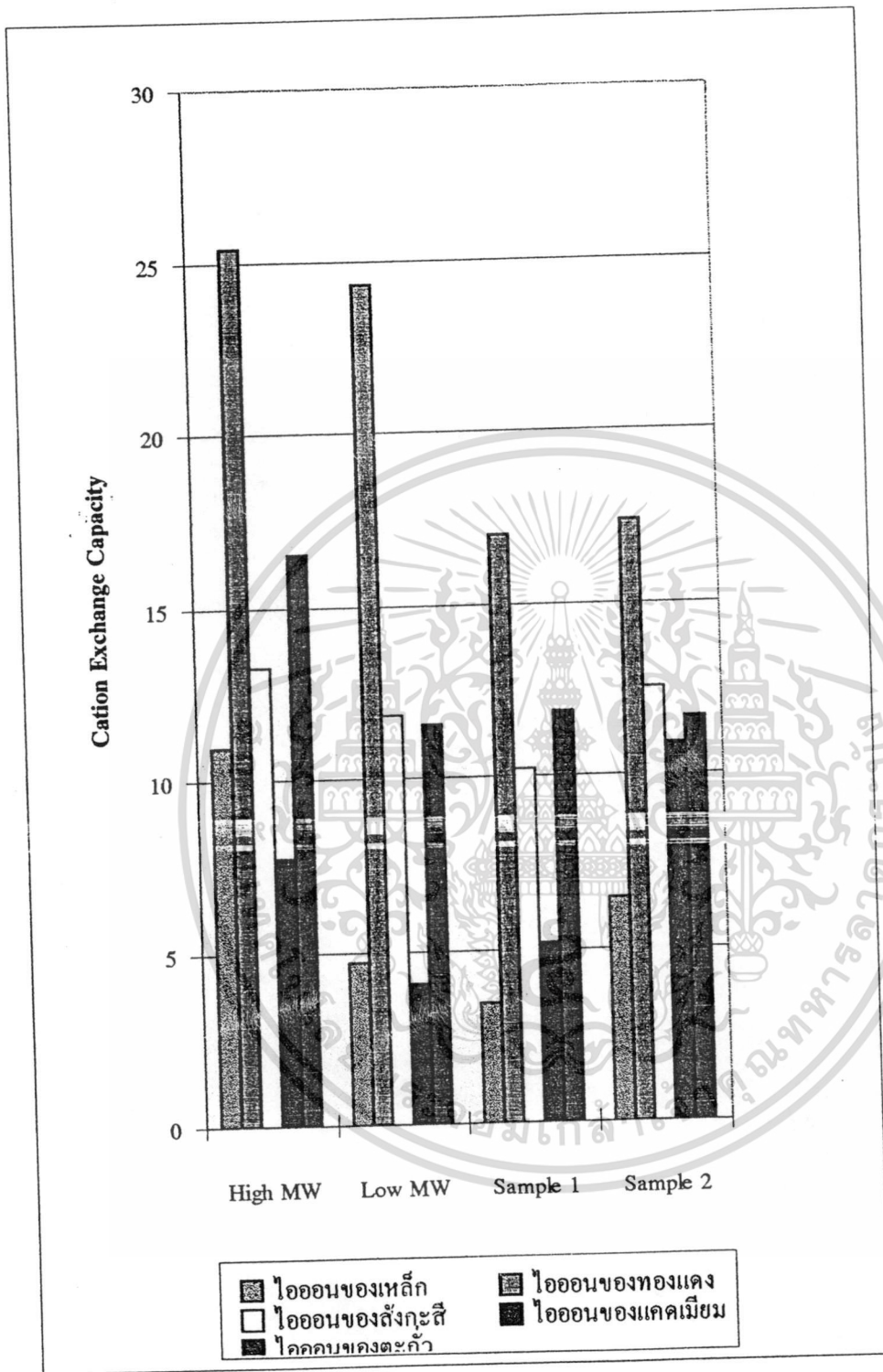
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าในสารละลายผสมของ Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} และ Cd^{2+} ไคโตแซนจะมีค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำลงเมื่อเทียบกับค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะของไคโตแซนในสารละลายไอออนโลหะชนิดเดียว สำหรับลำดับของค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะทั้ง 5 ชนิดในไคโตแซนที่อยู่ในสารละลายโลหะเพียงชนิดเดียวเป็นดังนี้ $Cu^{2+} > Pb^{2+}$, $Zn^{2+} > Cd^{2+}$, Fe^{3+} ในสารละลายไอออนโลหะผสมเป็นดังนี้ $Cu^{2+} > Zn^{2+}$, $Pb^{2+} > Cd^{2+}$, Fe^{3+}





รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโคโคแซนที่เวลาการดูดซับ ไอออนของโลหะนาน 60 นาทีในสารละลายแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Capacity) ของโคโคแซนในสารละลายโลหะผสมนาน 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ

5.1 ไคตินและไคโตแซนที่สกัดจากเปลือกกุ้ง

การสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งโดยนำเปลือกกุ้งมากำจัดโปรตีน, แร่ธาตุและสี จะได้ไคตินที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ซึ่งปริมาณไคตินจากเปลือกกุ้งชนิดต่าง ๆ จะไม่เท่ากัน เรียงลำดับดังนี้ กุ้งกุลาดำ > กุ้งลายน้ำตาล > กุ้งขาว > กุ้งก้ามกราม > กุ้งโอคัก > กุ้งลายหิน > กุ้งแชบ๊วย และเมื่อนำไคตินที่ได้ไปสังเคราะห์เป็นไคโตซานโดยทำการกำจัดหมู่อะเซทิลด้วยปฏิกิริยา deacetylation ด้วย 50% ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะได้ไคโตแซนในปริมาณที่ต่าง ๆ กันตามแต่ชนิดของกุ้งดังนี้คือ กุ้งกุลาดำ > กุ้งลายน้ำตาล > กุ้งขาว > กุ้งก้ามกราม > กุ้งโอคัก > กุ้งลายหิน > กุ้งแชบ๊วย และเมื่อใช้เวลาในการสังเคราะห์นานขึ้นจาก 1 ชั่วโมงเป็น 2 ชั่วโมงจะได้ไคโตแซนที่มีเปอร์เซ็นต์ deacetylation สูงขึ้นแต่เปอร์เซ็นต์ของไคโตแซนที่ผลิตได้จะลดลง นอกจากนี้เมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (IR) จะพบว่าไคตินจะมีอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่อะเซทิลที่ $1,650\text{ cm}^{-1}$ ในขณะที่พีคของ N-H bending จะมีความชัดเจนน้อยกว่ามาก แต่ในทางตรงกันข้ามไคโตแซนจะมีอินฟราเรดสเปกตรัมของหมู่อะเซทิล (acetyl) ลดลง แต่ N-H bending เพิ่มขึ้น โดยผลนี้จะต้องชัดเจนในไคโตแซนที่ทำปฏิกิริยา deacetylation นาน 2 ชั่วโมง จะมี N-H bending ชัดเจนมาก

5.2 การดูดซับไอออนโลหะของไคโตแซน

ความสามารถในการดูดซับโลหะไอออนของไคโตแซนจะขึ้นกับชนิดของไอออนโลหะและชนิดของไคโตแซน โดยไคโตแซนที่ใช้เวลาในการกำจัดหมู่อะเซทิล (deacetyl) นานจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนมาก ซึ่งไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงก็จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออน (ion Exchange Capacity) สูงกว่าไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อเปรียบเทียบชนิดไอออนของโลหะพบว่าในสารละลายไอออนโลหะเพียงชนิดเดียวจะมีลำดับ

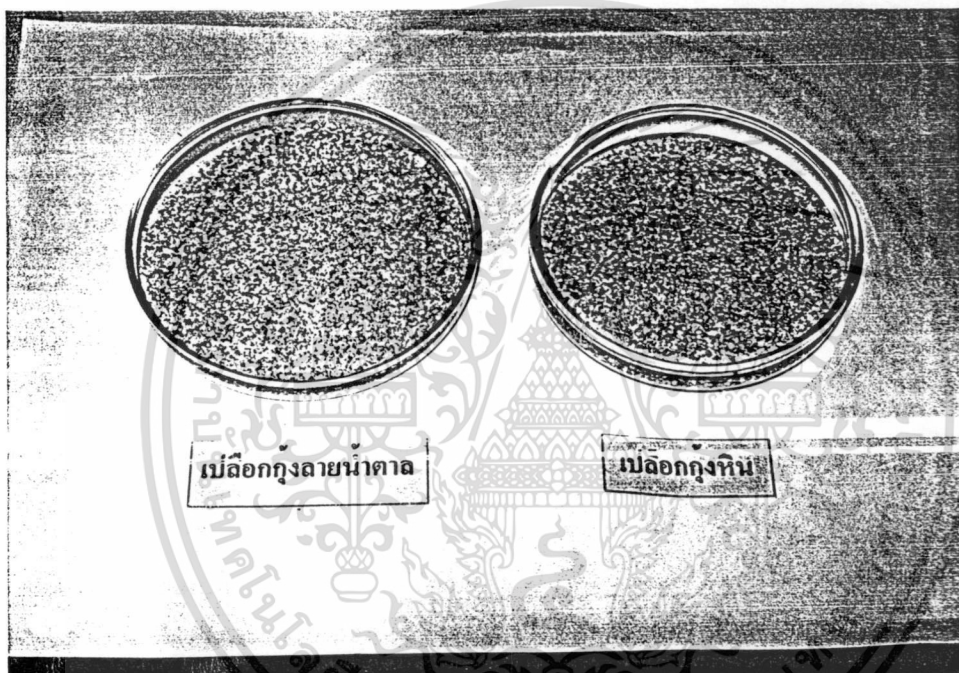
ความสามารถในการถูกดูดซับดังนี้ $Cu^{2+} > Pb^{2+}$, $Zn^{2+} > Cd^{2+}$, Fe^{3+} และในสารละลายไอออนของโลหะผสมนั้นจะมีเป็นดังนี้ $Cu^{2+} > Zn^{2+}$, $Pb^{2+} > Cd^{2+}$, Fe^{3+}

ข้อเสนอแนะ

1. การตั้งอุณหภูมิจากเครื่องให้ความร้อน (Hot plate) ในการสกัดโคคินและโคโตแซนจะได้อุณหภูมิที่ไม่แน่นอนทำให้ผลการทดลองผิดพลาดจึงควรมีการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์อีกครั้ง
2. ในการสกัดโคโตแซนได้ใช้ลুমินียมฟอสเฟตในการปิดนิกเกิลครุซิบิลแล้วทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนแต่ลুমินียมฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับเบสเข้มข้น ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนของแผ่นลুমินียมฟอสเฟตทำให้การทดลองผิดพลาดจึงควรเปลี่ยนจากการใช้แผ่นลুমินียมฟอสเฟตเป็นอย่างอื่นแทนเช่น กระดาษกรอง เป็นต้น
3. การสกัดโคโตแซนแต่ละครั้งทำให้ผลที่ได้แตกต่างกัน จึงควรสกัดในปริมาณมากเพียงครั้งเดียวแล้วนำไปทดลอง จะทำให้ได้ผลที่แน่นอนขึ้น
4. ในการดูดซับไอออนของโลหะหนักในสารละลายผสมของโลหะโดยใช้โคโตแซนนั้นเมื่อทำการดูดซับแล้วควรนำไปวัดค่าอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption) ทันทีไม่ควรทิ้งไว้นานเพราะจะเกิดการตกตะกอนและทำให้ผลการวัดผิดพลาดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 เปลือกกุ้งหิมกับเปลือกกุ้งลายน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



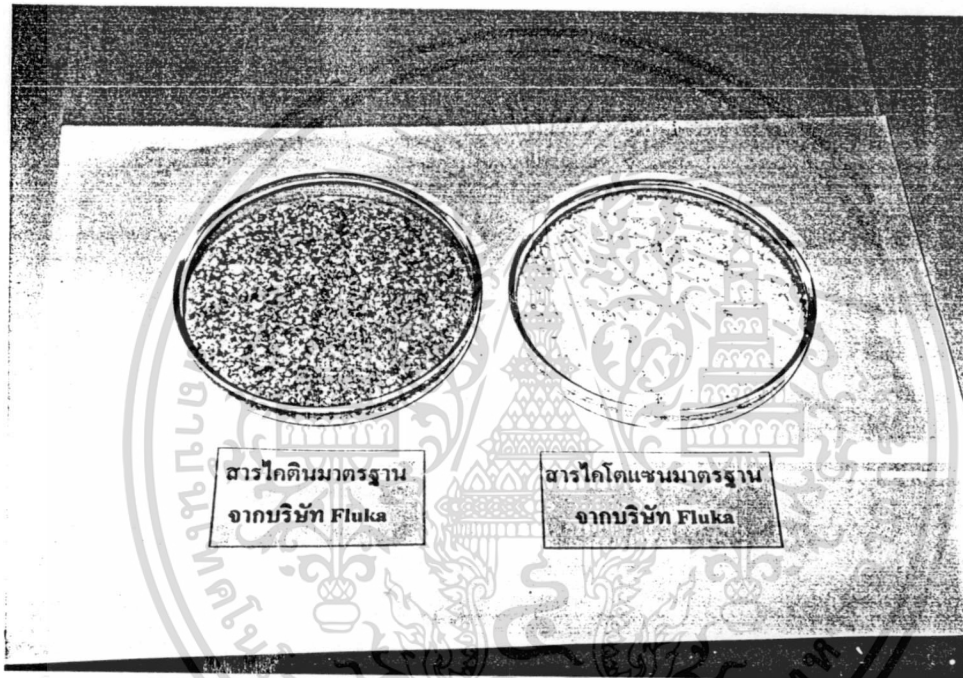
รูปที่ 3 เป็ลลือกกุงกรวมกรวมกับเป็ลลือกกุงแชนววย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 เปลือกกุ้งโอคัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 สาร โคตินและโคโตแซนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 สาร โคตินและโคโตเซนที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



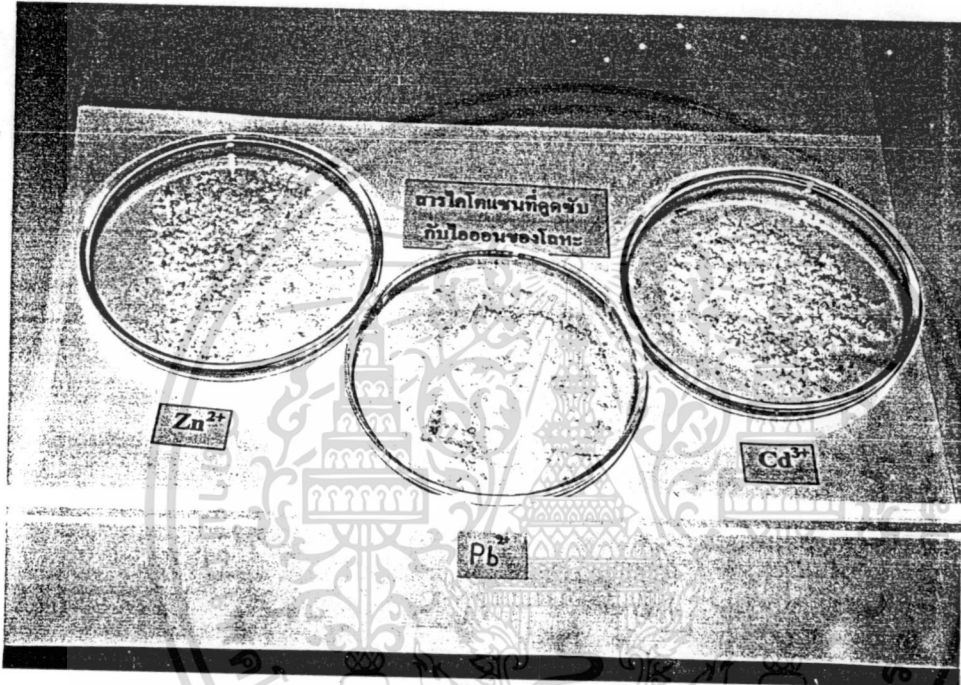
รูปที่ 7 โคโตเจนที่ดูดซับไอออนเหล็ก (Fe^{3+})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 โคโตเซนที่ดูดซับ ไอออนทองแดง (Cu²⁺)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 โคแชนที่ดูดจับไอออนสังกะสี (Zn^{2+}), ไอออนแคดเมียม (Cd^{2+}), และไอออนตะกั่ว (Pb^{2+})

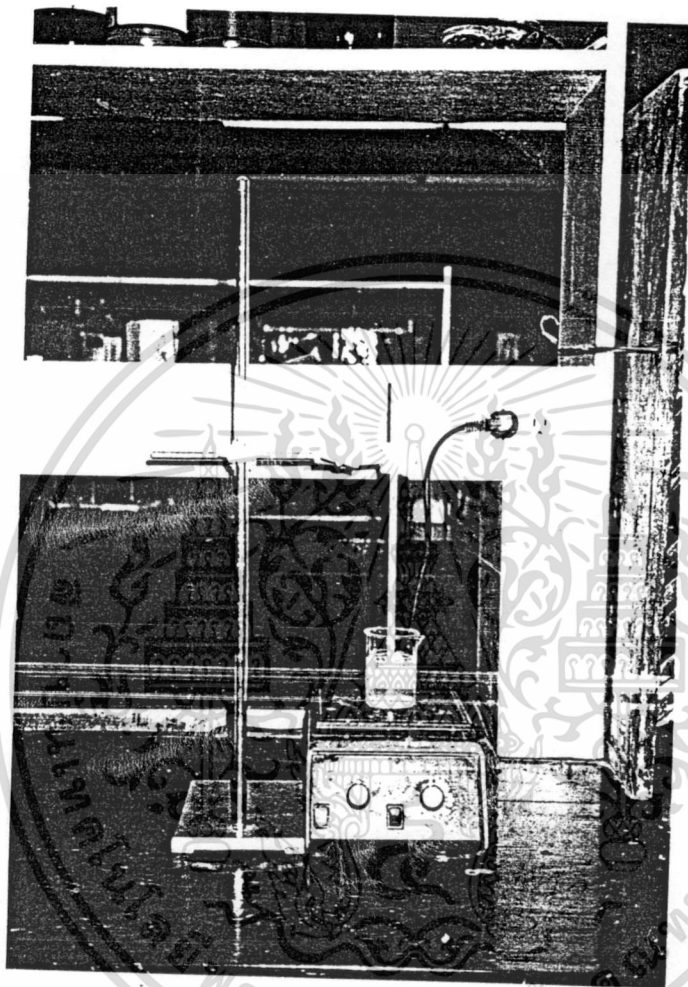
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โคโคแชนที่ดูดจับกับไอออนของ
สารละลายโลหะผสม

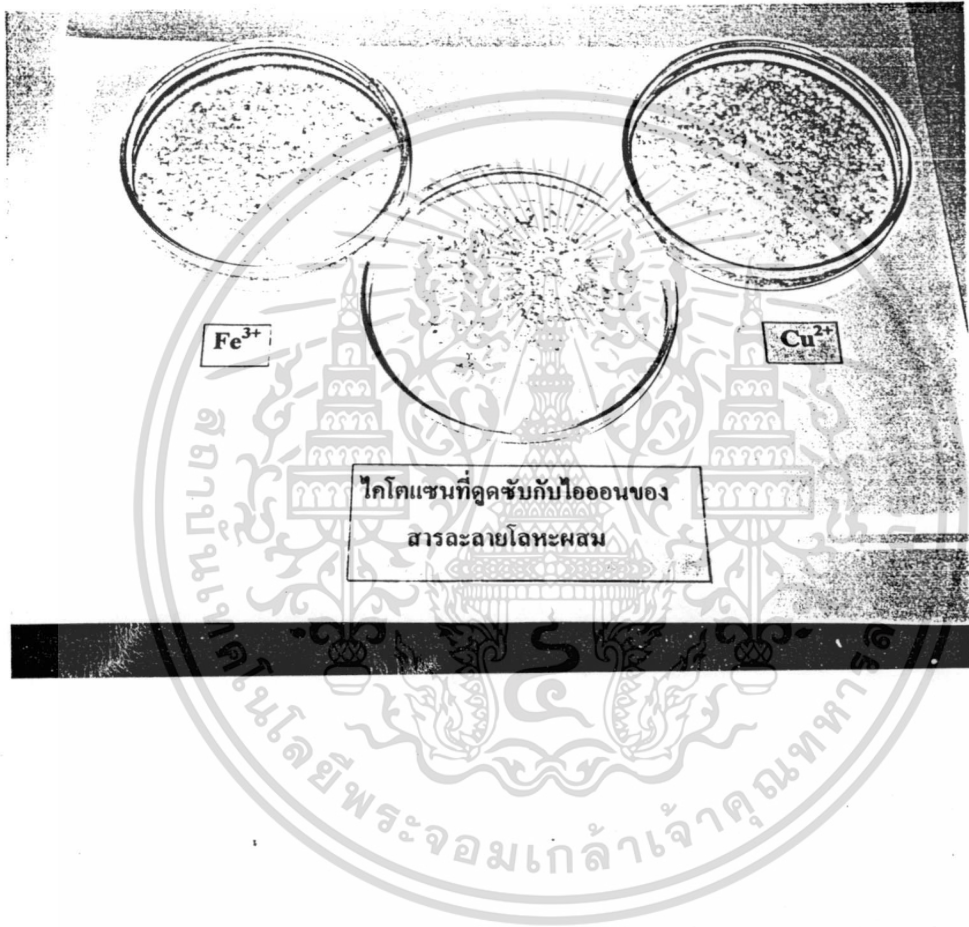
รูปที่ 10 โคโคแชนที่ดูดจับ ไอออนโลหะผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



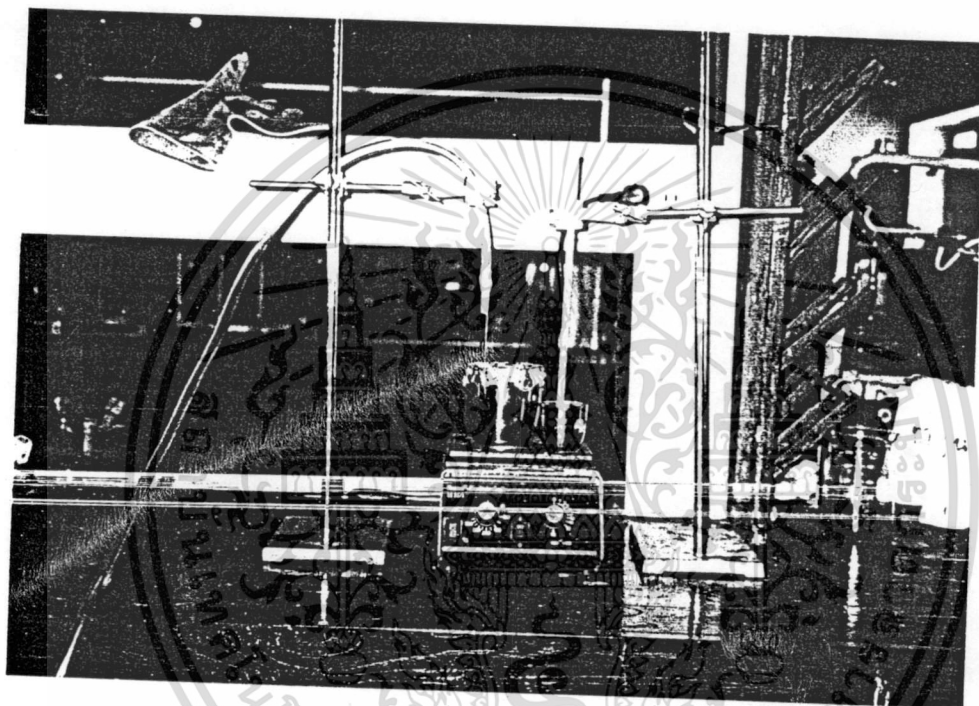
รูปที่ 12 ชุดสกัด ไคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



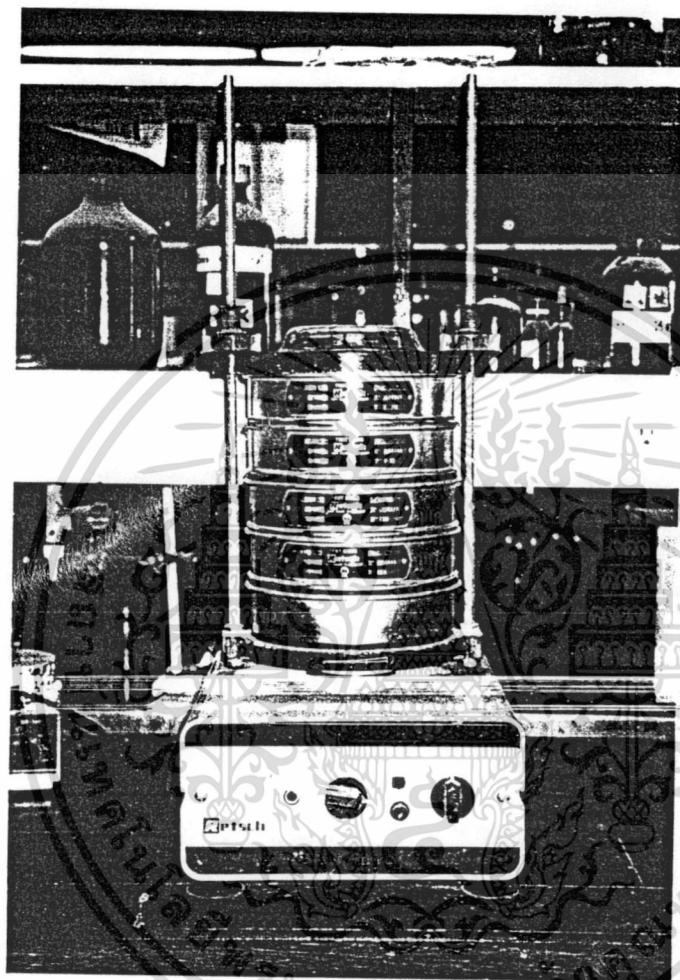
รูปที่ 11 เปรียบเทียบสีโคโคแชนที่ดูดจับโลหะผสมกับโลหะ Cu^{2+} กับ Fe^{3+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



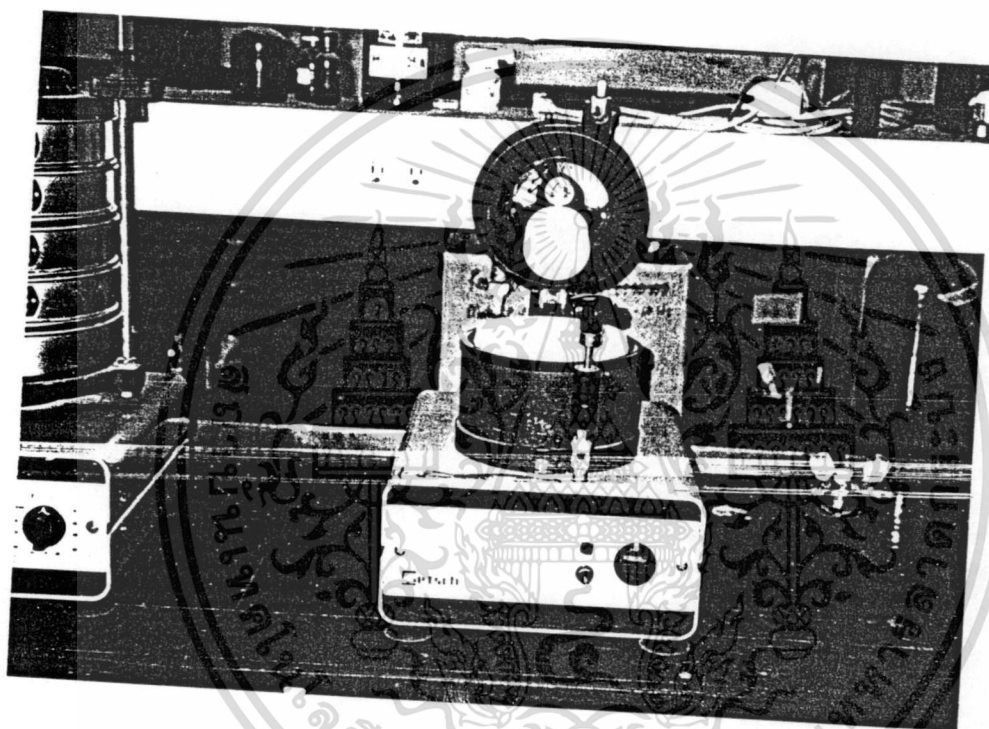
รูปที่ 13 ชุดสกัดโคโตแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



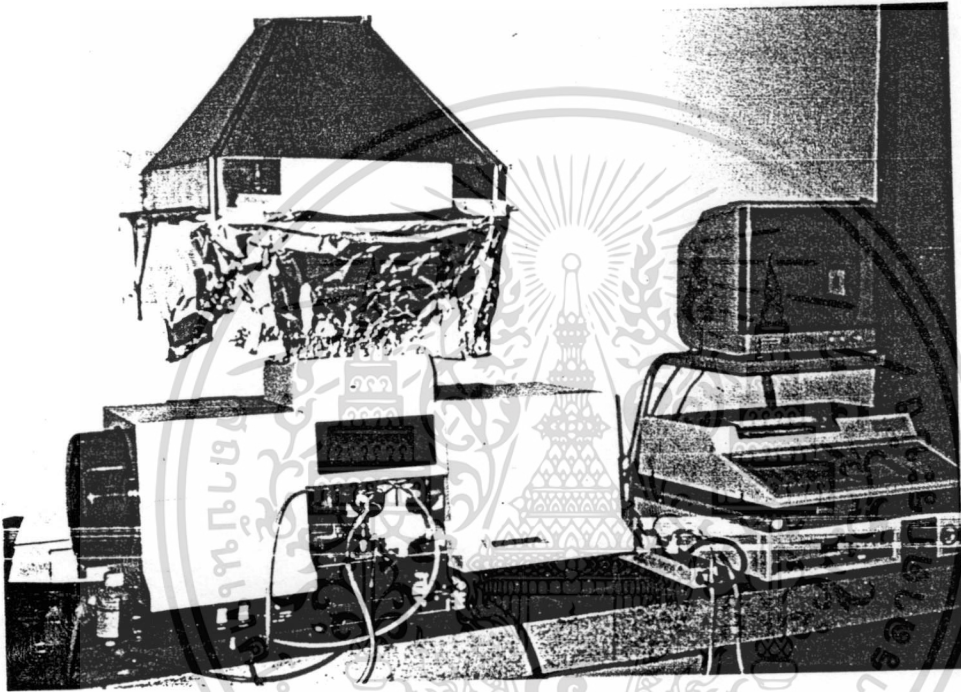
รูปที่ 14 เครื่องแยกขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



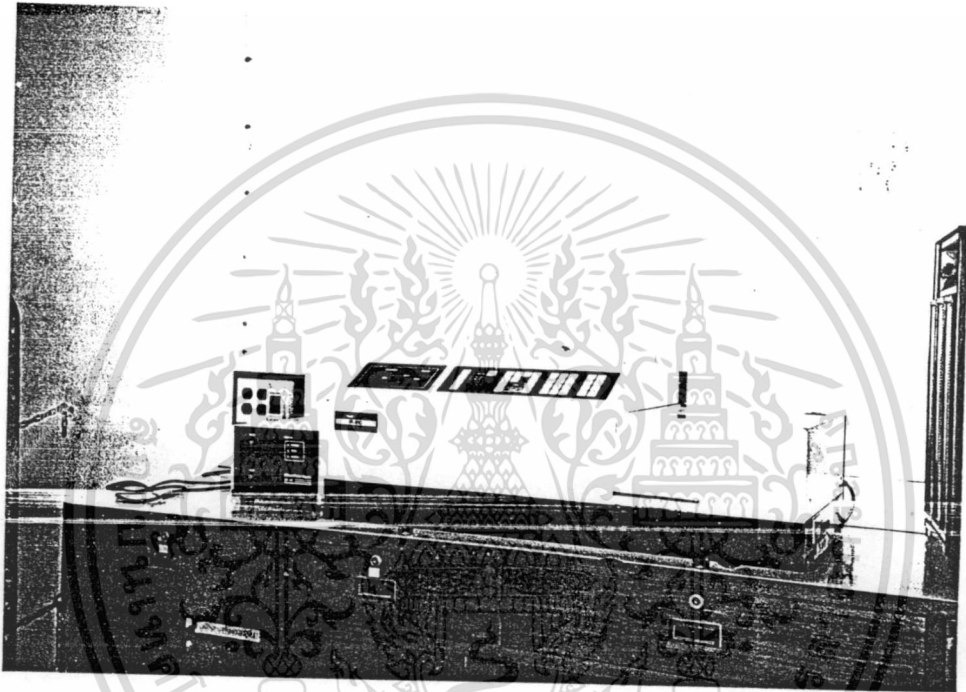
รูปที่ 15 เครื่องบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Encyclophedia of science and Technology , McGraw - Hill Inc. , (3) , 1971 , p 369-381
2. Yimin Qin, “ The Chelating Properties of Chitosan Fibers ” , *J. Appl. Poly. Sci.* , 49 , 727-731 (1993)
3. Y. Yang, *Ind. Water Eng.*, 21(4), 14 (1984)
4. D. Knorr, recovery and Utilization of chitin and chitosan in feed Processing Waste Management, *J. feed Technology*, 115-120 (1991)
5. NO, H.K., Meyers, S.P. and Les, K.S., Isolation and Characterization of chitin from crowfish waste, *J. Agri. Food Chem.*, 37, 575-579 (1989)
6. A.O.A.C., Official methods of analysis of the association of official chemidd. 14th ed. The Association of official Analytical Chemists Inc. (1984)
7. Poul A. Sandford. PhD., Chitosan Commercial Uses and Potential applications, *Chitin & Chitosan*, 51-69 (1993)
8. J. Lerivrer, J. Dubois, P. Decock, Formation of D-glucosamine complex with Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} Ions, *Inorganica Chimica Acta*, 125, 187-190 (1986)
9. N.B. Colthup, B.H. Daly and Stephen E.Wiberley, Introduction to Infared and Raman Spectroscopy press. Inc., 1964
10. D. Solpan and M. Dahan, Concentration and separation of aqueous solutions of Cu^{2+} and Fe^{3+} Bu Dextran, *J. App. Pol. Sci.*, 55, 383-386 (1995)
11. Seichi M., M. Miya, S. Yoshikawa, High deacetylated Chitosan and its properties , *J. Appl. Sci.*, 28, 1909-1917 (1983)
12. สุทธิวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภโณคร. 2534. บั๊จจัยที่มีผลต่อการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้งแช่บ๊วย ว.สงขลานครินทร์ 12(4): 431-437