สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* TISTR 8261 เพื่อดูดซับโครเมียม (+6)

นางสาวรินดา คันธวร
นางสาวอำภา เริงปรีดารมย์
นายอุดมฤทธิ์ วิทูรชวลิตวงษ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33516
วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Absorption Cromium(+6) by *Chlorella vulgaris* Immobilized with Chitosan

Miss Rinda Kanthaworn

Miss Ampa Reangpredarom

Mr. Udomrit Witoonchawalitwong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การใช้ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* TISTR 8261 เพื่อดูดซับโครเมียม (+6)	
โดย	นางสาวรินดา	คันธวร
	นางสาวอำภา	เริงปรีดารมย์
	นายอุดมฤทธิ์	วิทูรชวลิตวงษ์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ วีนา	ชูโชติ
	อาจารย์มงคล	เพ็ญสายใจ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

_____ หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
(รศ. ดร. พรรณี ฐิตาภิชิต)

คณะกรรมการโครงงานพิเศษ

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ วีนา ชูโชติ)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ มงคล เพ็ญสายใจ)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การใช้ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* TISTR 8261 เพื่อดูดซับโครเมียม (+6)	
โดย	นางสาวรินดา	คันธวร
	นางสาวอำภา	เริงปรีดารมย์
	นายอุดมฤทธิ์	วิทูรชวลิตวงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ วีนา	ชูโชติ
	อาจารย์ มงคล	เพ็ญสายใจ
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	
ปีการศึกษา	2541	

บทคัดย่อ

จากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุด โดยมีอัตราเร็วเริ่มต้นเท่ากับ 5.47 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6)และพีเอชเริ่มต้น ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป พบว่า การดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดีที่สุด โดยมีอัตราเร็วเริ่มต้นเท่ากับ 6.01 พีพีเอ็มต่อชั่วโมงและพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม(+6)ได้ดีที่สุด คือ พีเอช 7 มีอัตราเร็วในการดูดซับ เท่ากับ 7.19 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง เมื่อใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	The Absorption Cromium(+6) by *Chlorella vulgaris* Immobilized with Chitosan	
Name	Miss Rinda	Kanthaworn
	Miss Ampa	Reangpreedarom
	Mr. Udomrit	Witoonchawalitwong
Special Project Advisor	Mrs.Weena	Choochote
	Mr.Mongkol	Phensaijai
Department	Applied Biology	
Academic Year	1998	

Abstract

Chitosan beads, free livivng cell of *Chlorella vulgaris* (2.05 , 4.00 , 6.28 gram wet weight) and immobilized *C. vulgaris* chitosan beads , using the same wet weight as free living cells , were studied. The best efficiency of chromium(+6) absorption was obtained from immobilized *C. vulgaris* with 6.28 gram (wet weight) in chitosan beads and an initial rate of chromium absorption was 5.47 ppm per hours. The effects of initial concentration of chromium (18 , 30 , 60 mg/l) and initial pH of the solution were also determined by chitosan beads and the immobilized *C. vulgaris* chitosan beads. The optimal conditions for chromium absorption by the immobilized *C. vulgaris* chitosan beads were the initial chromium concentration of 30 mg/l and the initial pH of 7.0 with the chromium absorption rates of 6.01 and 7.09 ppm per hours respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์วีนา ชูโชติ และ อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการทำโครงงานพิเศษ และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานพิเศษนี้ รวมถึงประธานกรรมการสอบและคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อนึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณวิทยา เขียวเขิน คุณประเสริฐวิทย์ แพงคำ ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ เจ้าหน้าที่ธุรการรวมทั้งพี่ปริญญาโท เพื่อน ๆ นักศึกษา รุ่นน้องภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ และมีผู้อุปการะคุณที่มิอาจกล่าวนามไว้ครบถ้วนอีกหลายท่านที่ได้ช่วยเหลือ ทั้งกำลังกาย กำลังใจ กำลังความคิด ซึ่งส่งผลให้โครงงานพิเศษนี้ดำเนินไปได้อย่างราบรื่น และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
- วัตถุประสงค์	3
- ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	3
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	4
2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา (โครเมียม)	4
- บุคคลที่อาจได้รับอันตรายจากโครเมียม	6
- การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้ง	7
- การกำจัดโครเมียมโดยวิธีทางชีวภาพ	8
2.2 สาหร่าย *C. vulgaris*	10
- ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *C. vulgaris*	10
2.3 ไคตินหรือไคโตแซน	11
- กรรมวิธีการผลิตไคโตแซนจากไคติน	13
- การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนในด้านอุตสาหกรรมอาหาร	15
- ข้อจำกัดของการใช้ไคตินและไคโตแซนในอุตสาหกรรมอาหาร	16
- การนำไคโตแซนมาใช้ในการกำจัดสารพิษ	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
3.1 เชื้อจุลินทรีย์	19
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง	19
3.4 การเพิ่มปริมาณสาหร่าย *C. vulgaris*	19
3.5 การเตรียมสารละลายไคโตแซนและการเตรียมไคโตแซนขึ้นรูป	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบการดูดซับโครเมียม 21
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 29
4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) 29
4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป 32
4.3 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป 36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 39
เอกสารอ้างอิง 41
ภาคผนวก ก 45
- สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย 45
- การเตรียมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ 45
- การเตรียมสารละลายโครเมียม (+6) 46
- การเตรียมกราฟมาตรฐานโครเมียม (+6) 46
- การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม (+6) 46
ภาคผนวก ข แสดงข้อมูลดิบจากการทดลอง 48
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณการปล่อยโครเมียมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	5
2.2 แสดงความเข้มข้นของโครเมียม (+6) ในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ	6
2.3 แสดงปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคติน	13
4.1 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม	30
4.2 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป	34
4.3 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอช 5, 7 และ 9 โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป	37
ข-1 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด), ไคโตแซนขึ้นรูป และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม	48
ข-2 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับได้โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (+6) 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	49
ข-3 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับได้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) 30 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มี โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป โดยมีค่าพีเอช 5, 7 และ 9	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของสาหร่าย *C. vulgaris*	11
2.2 แสดงโครงสร้างลักษณะทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของไคติน, ไคโตแซนและเซลลูโลส	12
2.3 แผนผังแสดงการผลิตไคตินและไคโตแซน	14
3.1 สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงบนเครื่องเขย่า	20
3.2 สารละลายไคโตแซนที่ใช้ในการขึ้นรูป	24
3.3 วิธีการขึ้นรูปไคโตแซน	24
3.4 ไคโตแซนขึ้นรูปที่ใช้ในการดูดซับโครเมียม (+6)	25
3.5 วิธีการขึ้นรูปไคโตแซนกับสาหร่าย *C. vulgaris*	25
3.6 สาหร่าย *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่ใช้ในการดูดซับโครเมียม (+6)	26
3.7 การเก็บเกี่ยวสาหร่าย *C. vulgaris* โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง	26
3.8 สีของสารละลายโครเมียม (+6) ก่อนเติมไดฟีนิลคาร์บาไซด์ และหลังเติมไดฟีนิลคาร์บาไซด์	27
3.9 สีของสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเติมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์	28
4.1 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้น 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม	31
4.2 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม	35
4.3 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอช 5, 7 และ 9 โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม	38
ก-1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (+6)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาในด้านอุตสาหกรรมอย่างมาก ซึ่งจากการพัฒนาและความเจริญด้านอุตสาหกรรมนี้เองก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมาย ทั้งมลพิษทางน้ำและมลพิษทางอากาศ (รัชยาภรณ์, 2540) การปนเปื้อนโลหะหนักในสภาพแวดล้อม ไม่ว่าจะโดยธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ซึ่งเห็นผลในระยะยาว โลหะหนักเป็นแร่ธาตุในกลุ่มทรานสิชัน (transition) และโพสทรานสิชัน (post transition) ซึ่งรวมถึง Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb และ Zn รวมทั้งสารเมทัลลอยด์ (metalloids) เช่น As และ Se (Lester, 1987) นอกจากนี้ยังหมายถึงแร่ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 โลหะหนักที่พบในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ เกิดจากปรากฏการณ์ตามธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ ได้แก่ การกัดกร่อนของดินและหิน และการระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น ส่วนการกระทำของมนุษย์ได้แก่ การทำเหมืองแร่และน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น แผงวงจรไฟฟ้า อุตสาหกรรมโลหะอัลลอยด์ แบตเตอรี อุตสาหกรรมสี และอุตสาหกรรมผลิตสารอนินทรีย์ เป็นต้น (Lester, 1987) โลหะหนักไม่สลายตัวตามธรรมชาติและมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์เมื่อสะสมในร่างกาย โลหะหนักบางชนิดยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วย เช่น ในระบบการจ่ายน้ำที่มีปริมาณแมงกานีสสูง ทำให้เกิดการสะสมของแมงกานีสออกไซด์ในท่อส่งน้ำ ทำให้เกิดการอุดตันและมีผลต่อสี กลิ่น และรสของน้ำ (Sly, 1990) ตัวอย่างการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ในสภาพธรรมชาติปริมาณแคดเมียมที่พบในหินและดินค่อนข้างต่ำ คือ 100-300 ส่วนในพันล้านส่วนและ 200-800 ส่วนในพันล้านส่วนตามลำดับ แต่พบในปริมาณมากคือ 100 ส่วนในล้านส่วนในหินฟอสฟาติก (phosphatic rock) ตามธรรมชาติมักพบแคดเมียมในปริมาณสูงร่วมกับแร่สังกะสีเสมอ ส่วนในแร่ตะกั่วและทองแดงจะพบแคดเมียมร่วมด้วยค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจพบในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอัลลอยด์ การผลิตแบตเตอรี อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมเซรามิค แผงวงจรไฟฟ้า อุตสาหกรรมสี การผลิตสารอนินทรีย์และน้ำทิ้งจากการทำเหมืองแร่สังกะสี เป็นต้น (Eckenfelder, 1989) ส่วนนิเกิลในแหล่งน้ำธรรมชาติพบในปริมาณค่อนข้างต่ำ เช่น ในมหาสมุทรเปิดจะตรวจพบนิเกิล 0.2-0.7 ไมโครกรัมต่อลิตร (Lester, 1987) นอกจากนี้ยังพบนิเกิลร่วมกับแร่ซัลไฟด์ (sulphide ores) และแร่เลเทอร์ไรท์ (laterite ores) ซึ่งประกอบด้วยนิเกิล 1-4 และ 1-3 % ตามลำดับ (Kelly, 1988) ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมที่มีนิเกิลปนเปื้อนในน้ำทิ้งได้แก่ แผงวงจรไฟฟ้า แบตเตอรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมต่อเครื่องบิน อุตสาหกรรมโลหะหนัก การผลิตเหล็กกล้า อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ และอุตสาหกรรมการพิมพ์ เป็นต้น (Eckenfelder, 1989) ในทางชีวภาพสามารถจำแนกโลหะหนักตามระดับความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (Madgwick, 1994) กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่มีความเป็นพิษต่ำและพบในปริมาณสูงตามธรรมชาติ เช่น Na, K, Mg, Ca, Fe, Li, Rb และ Sr กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงแม้จะใช้ในความเข้มข้นต่ำๆ เช่น Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Sn, As, Se, Au, Ag, Hg, Pt, Pd, Cd และ Be กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่มีความเป็นพิษแต่พบในปริมาณน้อยตามธรรมชาติ เช่น Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Ga, La และ Ru

วิธีการบำบัดเพื่อลดปริมาณโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานก่อนที่จะทำการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ วิธีที่นิยมใช้จะเป็นวิธีทางเคมีแต่จะเป็นสิ่งที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งมีปริมาณที่ไม่สูงนักก็จะยิ่งเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาวิธีทางชีวภาพมาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งแทน การดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีทางชีวภาพในธรรมชาติเกิดจากจุลินทรีย์ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักนั้น ซึ่งกลไกต่างๆในการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ การดูดซับโดยผนังเซลล์ การตกตะกอนภายนอกเซลล์โดยสารเมตาบอไลท์ที่เซลล์สร้างขึ้น การส่งผ่านเข้าสู่เซลล์โดยการเมตาบอลิซึมของเซลล์ และการดูดซับโดยโพลีเมอร์ที่เซลล์สร้างขึ้นเป็นต้น (Brierley, 1990) ปัจจุบันจึงมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดแหล่งน้ำธรรมชาติที่ปนเปื้อนโลหะหนักและน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งข้อดีของการใช้จุลินทรีย์เพื่อดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ เป็นการบำบัดทางชีวภาพที่เลียนแบบธรรมชาติ ไม่มีจุดอิ่มตัวในการดูดซับเนื่องจากเซลล์จะมีการเพิ่มปริมาณตลอดเวลา เป็นการกำจัดโดยใช้เอนไซม์จากเซลล์ จึงเป็นกระบวนการที่ประหยัดกว่าการบำบัดโดยใช้สารเคมี ซึ่งมีขั้นตอนมากมายและอาจเกิดปัญหาสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม และเป็นการปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ทนต่อพิษของโลหะหนักโดยวิธีธรรมชาติ นอกจากนี้ในการดูดซับโลหะหนักอาจใช้จุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งชนิดในการบำบัด เพื่อเป็นการกระตุ้นการดูดซับโลหะหนักให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (Macaskie, 1990) การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์เป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทยวิธีนี้ซึ่งกำลังได้รับความนิยมและศึกษาค้นคว้าวิจัยในหลายประเทศ การใช้จุลินทรีย์ดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงการดูดซับโลหะหนักโดยใช้ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่าย *C. vulgaris* โดยการนำเอาไคโตแซนซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงเซลล์และเอนไซม์ที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้ โดยที่เซลล์สาหร่ายจะยังคงมีชีวิตอยู่และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเจริญเติบโตได้ในเม็ดไคโตแซน ซึ่งมีคุณสมบัติในการสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณสูงและยังสามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่เหมาะสมในการตรึงรูปกับไคโตแซน
2. เพื่อเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียมระหว่างไคโตแซนขึ้นรูป, ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่าย *C. vulgaris* และ สาหร่าย *C. vulgaris*
3. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของโครเมียม (+6), ค่า pH ของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) ของสาหร่าย *C. vulgaris*

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. หาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่าย *C. vulgaris* ในการตรึงรูปกับไคโตแซน
2. หาวิธีการที่สามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่าย *C. vulgaris* ที่สามารถตรึงรูปกับไคโตแซนเพื่อช่วยให้การดูดซับโครเมียมมีประสิทธิภาพดีที่สุด
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (+6) โดยสาหร่าย *C. vulgaris*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา

โครเมียม

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron ($FeOCr_2O_3$) มีอยู่ประมาณ 0.037 % ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมากๆ จนถึง 2.4 % ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001-0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ –2 ถึง +6 (Hamilton และ Wetterhahn, 1988)

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium (0) ($Cr(CO)_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดส์เป็นโครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นเวเลนซีที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสภาวะกรด $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง $[Cr(OH)(H_2O)_5]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอๆกับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
  - โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
  - โครมิลคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)
  - คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)
  - โครเมต $(CrO_4)^{2-}$
  - ไดโครเมต $(Cr_2O_7)^{2-}$

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมต ดังสมการ

$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + 2H^+$$

โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รงควัตถุ สีทา สีย้อม สารยืดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น (Papp, 1985)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณการปล่อยโครเมียมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2535)

แหล่งกำเนิด	ปริมาณโครเมียม (ตัน)	ปริมาณโครเมียม (%)
Asbestos mining	8	0.07
Kraft pulp mill recovery furnace	Neg	Neg
Sulfite pulp mill	Neg	Neg
Primary chromium production	4,200	34.98
Asbestos product	Neg	Neg
Refractory brick production	7	0.06
Installation of asbestos material	Neg	Neg
Spray-on fire proofing	Neg	Neg
Use of insulating cement	Neg	Neg
Power plant boilers		
Pulverized coal	5,571	46.40
Stoker coal	640	5.33
Cyclone coal	192	1.60
All oil	22	0.18
Industrial boilers		
Pulverized coal	247	2.06
Stoker coal	864	7.20
Cyclone coal	123	1.02
All oil	17	0.14
Residential/commercial boilers		
Coal	77	0.64
Oil	38	0.32
Total	12,006	

หมายเหตุ : Neg = ไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นของโครเมียม (+6) ในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2535)

แหล่งกำเนิด	ความเข้มข้นเฉลี่ยของโครเมียม	
	ความเข้มข้นเฉลี่ย	ช่วงของความเข้มข้น
Leather tanning	40	
Wood preserving		0.23-1.5
Cooling tower blowdown	31.4	
Cooling tower blowdown		8-10.7
Cooling tower blowdown		10-60
Bright dip bath		1-6
Bright dip bath		10,000-50,000
Bright dip bath		20,000-25,000
Bright dip bath		200-600
Anodizing bath	173	
Anodizing bath		15,000-52,000
Anodizing rinse	49	
Anodizing rinse		30-100
Plating	1,300	
Plating	600	
Plating		100,000-270,000
Plating		60-80
Electroplating	140	
Electroplating	41	15-70

<u>บุคคลที่อาจได้รับอันตรายจากโครเมียม</u>

ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการชุบโครเมียมและการขัดเงาโลหะที่ชุบโครเมียม, สีที่มีส่วนประกอบของโครเมียม, โรงงานฟอกหนังซึ่งมีการใช้สารประกอบของโครเมียม, การล้างอัดรูปซึ่งมีการใช้สารประกอบโครเมียมและประชาชนที่อยู่ใกล้โรงงานดังกล่าวจะได้รับผลกระทบ เนื่องจากน้ำทิ้งจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานเหล่านี้จะมีส่วนผสมของโครเมียมซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ และถ้าประชาชนใช้น้ำจากแหล่งน้ำเหล่านั้นก็จะเป็นอันตรายต่อร่างกายได้

<u>บุคคลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมอาจเกิดอันตรายได้ดังนี้</u> (Koren, 1996)

1. แผลจากโครเมียมเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมขอบค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลอาจเกิดการติดเชื้อขึ้นและอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจจะเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้าและหน้าอก อาจเกิดเมื่อมีคนงานมาทำงานมาแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย

3. ผนังกั้นในจมูกถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมจะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองของโครเมียมเป็นประจำจะทำให้ผนังกั้นในรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้คนงานจะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้ตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงฮู้อี้หรือดั้งจมูกแบนลง

4. มะเร็งปอดอาจเกิดกับคนงานที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำและเป็นเวลานาน ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างมากแก่ชีวิต

<u>การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ</u>

การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำโดยวิธีทางเคมีและทางฟิสิกส์มีหลายเทคนิคที่นำมาประยุกต์เพื่อใช้กำจัดโครเมียมออกจากน้ำดังนี้ (กิ่งฟ้า, 2535)

1. <u>การรีดักชั่น</u>

วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดซึ่งเทคนิคการบำบัดโดยวิธีนี้คือ จะต้องปรับพีเอชของน้ำเสียให้เป็น 3.0 หรือต่ำกว่าด้วยกรดซัลฟิวริกแล้วเปลี่ยนโครเมียม (+6) ไปเป็นโครเมียม (+3) โดยใช้สารเคมี (Reducing Agent) ยกตัวอย่าง เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์หรือ เฟอรัสซัลเฟต แล้วกำจัดโครเมียม (+3) ออกไปโดยทำให้ตกตะกอนด้วยปูนขาว

การรีดิวส์โครเมียม (+6) นี้จะไม่ได้ผล 100 % โดยจำนวนของโครเมียม (+6) ที่ไม่ถูกรีดิวส์จะขึ้นกับเวลาที่ทำปฏิกิริยา, pH ของของผสม, ความเข้มข้นและชนิดของสารเคมีที่ใช้ ปกติสารที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแลกเปลี่ยนประจุ

จะใช้การแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange) ในการกำจัดโครเมียม (+3) และจะใช้การแลกเปลี่ยนประจุลบ (Anion Exchange) ในการกำจัดโครเมียม (+6) เพราะน้ำเสียในอุตสาหกรรมมักจะพบโครเมียม (+6) ในรูปของโครเมต เมื่อเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุลบอิ่มตัวก็จะทำการรีเจนเนอเรท (ปกติใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์) เพื่อชะเอาโครเมตออกมา โซเดียมโครเมตอาจนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำกรดโครมิกกลับมาใช้ใหม่หรือไม่ก็นำไปกำจัดโดยรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียม (+3) แล้วตกตะกอนด้วยปูนขาว วิธีบำบัดวิธีนี้ทำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้ได้ใหม่ซึ่งเป็นการลดต้นทุนทางเศรษฐกิจ

3. การระเหย

นำน้ำที่มีโครเมียมปนเปื้อนมาผ่านกระบวนการระเหยเอาน้ำออก จากนั้นก็นำไอน้ำไปผ่านการหล่อเย็นเพื่อนำไปใช้ได้อีก วิธีนี้นิยมใช้กับการบำบัดน้ำหล่อเย็น

4. การตกตะกอนด้วยสารเคมี

ตกตะกอนโครเมียม (+3) โดยใช้สารเคมี เช่น แบเรียมคาร์บอเนต ปูนขาว และโซดาไฟ ตะกอนที่ได้จะถูกนำไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

5. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

นำสารกัดแม่พิมพ์ที่ใช้แล้ว (มีกรดโครมิกเป็นองค์ประกอบ) มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อแยกเอากรดโครมิกออกจากสารอื่นและสามารถนำกลับไปใช้ได้อีก ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ อะซีโตน

6. รีเวิร์สออสโมซิส

นำน้ำเสียที่มีโครเมียม (+6) มาผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นขึ้นก่อน แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส ทำให้ได้น้ำอ่อนที่มีไอออนของไดโครเมตซึ่งสามารถนำไปหมุนเวียนใช้ใหม่ได้

การกำจัดโครเมียมโดยวิธีทางชีวภาพ

โครเมียม (+6) สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ หลังจากนั้นจะถูกรีดิวส์กลับไปเป็นโครเมียม (+3) อีกครั้งที่นิวเคลียส ไซโตพลาสซึมและไมโตคอนเดรีย โดยเกิดเป็นโครเมียมไฮดรอกไซด์ที่ pH 7.5 โครเมียม (+3) ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนและกรดนิวคลีอิก ทำให้ปริมาณโครเมียมที่แพร่เข้ามาในเซลล์ลดต่ำลง จึงสามารถเกิดการแพร่ของโครเมียม (+6) เข้ามาในเซลล์ได้อีก (วชิรัคณา, 2531) จากการศึกษาพบว่ามีจุลินทรีย์ที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้ ส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการสะสมแบบพาสซีฟ โดยที่โลหะหนักจะถูกดูดซับบนผิวเซลล์หรือพลาสมาเมมเบรน กระบวนการสะสมโลหะหนักของจุลินทรีย์มี 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดการสะสมโลหะหนักอย่างรวดเร็ว (rapid uptake) ภายในเวลาไม่กี่นาที ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาการดูดซับ (absorption) หรือปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน แต่บางสมมติฐานเสนอว่าอาจเกิดการแพร่ของไอออนเข้าไปในช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ ระยะต่อมาโลหะหนักจะเข้าสู่เซลล์อย่างช้าๆ (slow uptake) อาจเกิดจากการที่จุลินทรีย์เสียพลังงานส่วนหนึ่งไปในการนำโลหะหนักผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์ เรียกกระบวนการสะสมที่ต้องใช้พลังงานนี้ว่ากระบวนการสะสมแบบแอคทีฟ (สุเทพ, 2530) โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการศึกษาการสะสมโลหะหนัก คือ สาหร่าย *C. vulgaris* เนื่องจากสามารถสะสมโลหะหนักได้หลายชนิด (Khummonkol, 1982) เช่น ทองแดง, ยูเรเนียมและแมงกานีสเป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติและส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อสาหร่ายที่ใช้ในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นสารละลายของเกลืออนินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นๆได้ จากการศึกษากลไกการสะสมโลหะหนักโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอน (White and Gadd, 1987) ในขั้นตอนแรกการดูดซับโลหะหนักจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งคาดว่าเป็นกระบวนการแบบพาสซีฟ ส่วนขั้นตอนที่ 2 การดูดซับโลหะหนักจะเป็นไปอย่างช้าๆซึ่งคาดว่าเป็นกระบวนการแบบแอคทีฟ ได้มีการศึกษาการสะสมสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. (สุภาณีและคณะ, 2531) พบว่าการดูดซับสังกะสีเป็นกระบวนการดูดซับที่บริเวณผิวเซลล์ โดยสภาวะสมดุลระหว่างสังกะสีในสารละลายกับสังกะสีบนผิวเซลล์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายในเวลาไม่เกิน 10 นาทีขึ้นกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับดังต่อไปนี้

1. ชนิดและขนาดของสารดูดซับ

สารดูดซับแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าจะเป็นสารดูดซับชนิดเดียวกันแต่กรรมวิธีในการผลิตที่แตกต่างกันก็สามารถทำให้ความสามารถในการดูดซับแตกต่างกันได้

2. ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ

โดยทั่วไปเมื่อมีการเพิ่มความดันหรือความเข้มข้นของสาร จะมีผลทำให้ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับมีปริมาณที่เพิ่มด้วย

3. สภาวะของการดูดซับ เช่น pH, อุณหภูมิ เป็นต้น

ในกรณีของ pH นั้น จะมีผลต่อการแตกตัวของทั้งสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ ส่วนอุณหภูมินั้นจะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ โดยทั่วไปแล้วอัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พื้นที่ผิวของของแข็ง

ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ผิวของของแข็ง ถ้าของแข็งมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น จำนวนของสารที่ถูกดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นของแข็งที่จะถูกดูดซับได้ดี จึงควรมีขนาดเล็ก และอาจมีรูหรือรอยแยกที่ผิว

5. ชนิดของตัวทำละลาย

โมเลกุลของตัวทำละลายจะมีผลต่อการดูดซับ ในกรณีที่ตัวทำละลายมีสัมพรรคภาพต่อสารดูดซับ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายมีสัมพรรคภาพต่อตัวถูกละลาย จะทำให้มีการแข่งขันระหว่างสารดูดซับกับตัวทำละลายในการเกิดปฏิกิริยากับตัวถูกละลาย

ในโครงงานพิเศษนี้ใช้ไคโตแซนซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักนำมาตรึงเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้เช่นกัน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักให้ดียิ่งขึ้น

2.2 สาหร่าย *Chlorella vulgaris*

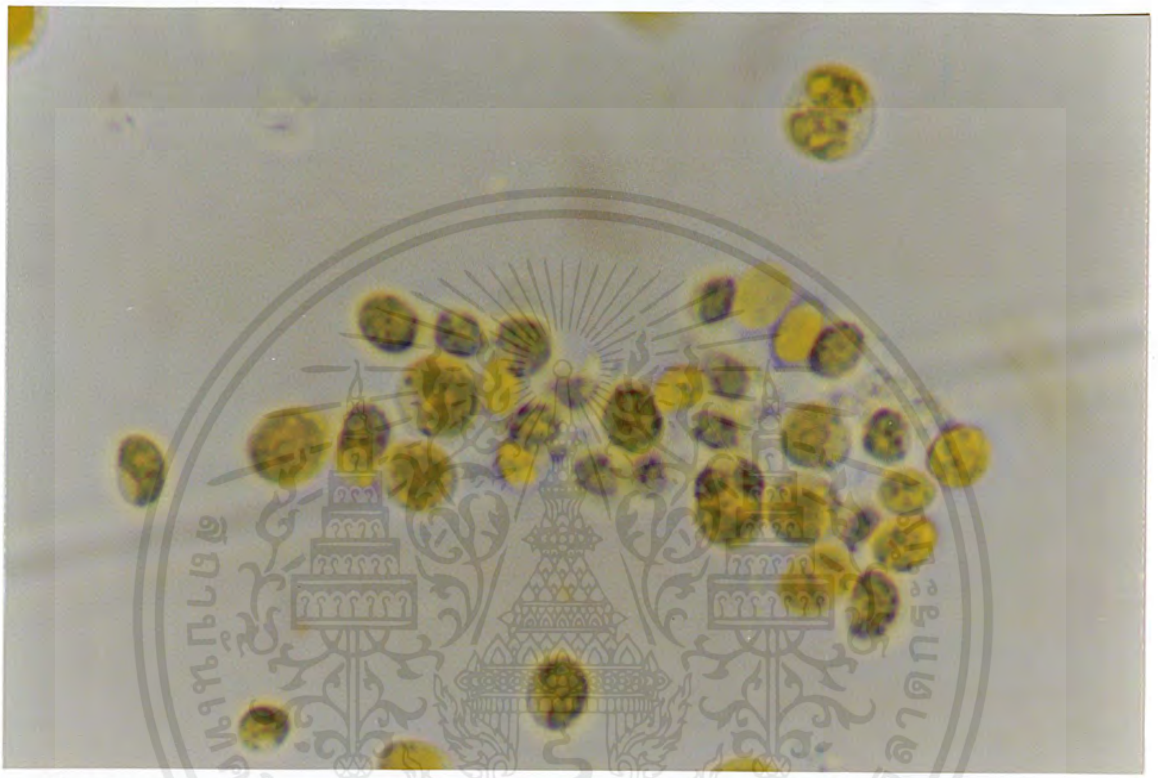
ปัจจุบันนี้ประเทศญี่ปุ่นได้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. เป็นการค้าโดยใช้เทคนิคแบบ open culture หรือ solar culture ซึ่งใช้แสงอาทิตย์และเพาะเลี้ยงในระบบเปิดและอีกแบบ คือ แบบ close culture หรือ axenic culture ซึ่งเพาะเลี้ยงในถังปิดไม่มีการให้อากาศและแสงอาทิตย์โดยใช้กรดอาร์เซนิกเป็นสารให้พลังงานแทน โดยสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม (สมภพ, 2539) สาหร่าย *Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวที่ถูกนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพเป็นชนิดแรก ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ ค.ศ. 1960 โดยผลิตเป็นสินค้าในรูปเม็ดหรือผงเช่นเดียวกับสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ราคาขายส่งประมาณกิโลกรัมละ 100 ดอลลาร์สหรัฐ (ทวี, 2540) นอกจากนั้นยังมีการใช้สาหร่าย *C. vulgaris* เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพในแหล่งน้ำได้อีกด้วย

ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *C. vulgaris*

C. vulgaris เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว (unicellular green algae) อยู่ในดิวิชันคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) เซลล์มีลักษณะคล้าย *Chlorococcum* เคลื่อนที่ไม่ได้ ลักษณะของเซลล์มีรูปร่างกลมหรือรูปร่างรี ขนาด 2-10 ไมครอน มีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) โค้งชิดกับผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์อาจจะมีรูปร่างแบนหรือโค้งไปตามผนังเซลล์ ตามปกติจะไม่มีไพรีนอยด์ (pyrenoid) และสติกมา (stigma) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สาหร่าย *C. vulgaris* มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างออโตสปอร์ (autospore) ภายในเซลล์แม่ แต่ละสปอร์จะมีลักษณะเหมือนเซลล์แม่ทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. คือ อุณหภูมิ, แสงสว่าง, pH, ความชื้นและสารอาหาร โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิห้อง pH เท่ากับ 6.8, ความเข้มแสงที่ทำให้มีการเจริญสูงสุด คือ 2,400 ลักส์ (ปาจารีย์และคณะ, 2540) อัตราการเจริญเท่ากับ 13.85 x10 ^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร

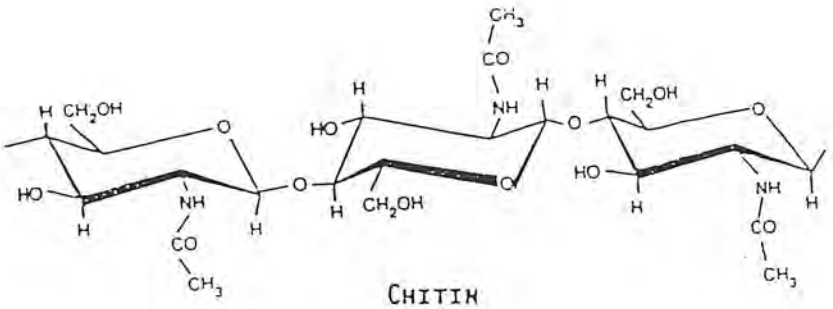


รูปที่ 2.1 ลักษณะของสาหร่าย *C. vulgaris*

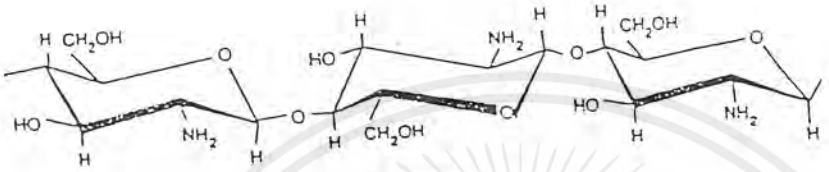
2.3 ไคตินหรือไคโตแซน

ไคตินหรือPoly-β(1->4)-N-acetyl-D-glucosamineเป็นพวกสารอินทรีย์โมเลกุลยาว (biopolymer) ที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลสต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็น NH-CO-CH_3 แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ดังภาพที่ 2.2

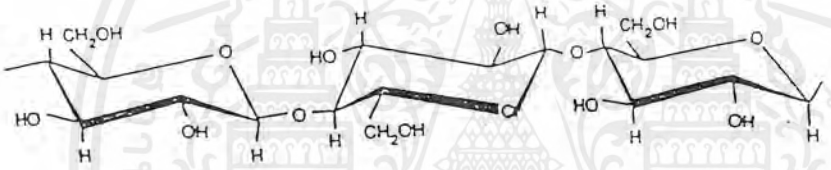
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CHITIN



CHITOSAN



CELLULOSE

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างลักษณะทางเคมีที่คล้ายคลึงกันของไคติน, ไคโตแซนและเซลลูโลส (Knorr, 1984)

ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากเป็นอันดับสองของโลก เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคตินจะพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (non–electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารละลายทั่วๆไปโดยง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลายนัก (วิสิฐ, 2533) วิธีดัดแปลงไคตินทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นก็ คือ การผลิตไคโตแซน (chitosan : Poly-β(1->4)2-deoxy-D-glucan) ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกเอาหมู่อะเซ็ทธิล (acetyl group) ออกจากไคติน เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตแซนแล้วจะเห็นว่าไคโตแซนสามารถมีประจุบวกบนหมู่อะมิโน (amino group) ได้ เป็นเหตุให้ไคโตแซนละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่มีช่วงที่เป็นกรด จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนมีสูงกว่าไคติน

ไคตินมักจะพบตามผนังเซลล์ของพืชและสัตว์ เช่น ในยีสต์ที่เราใช้ทำเบียร์และไวน์ก็จะพบในส่วนที่กำลังแตกหน่อ ในพืชบางชนิดอาจจะมีไคตินแทนเซลลูโลสก็ได้ ส่วนในสัตว์จะมีไคตินอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิวติเคิล (cuticle) ที่ผิวหนังของอีพิธีเลี่ยม (epithelium) ส่วนมากเราจะพบไคตินมากในเปลือกของสัตว์ทะลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แมลง เชื้อรา เชื้อยีสต์ (Austin, 1981 and Rudall, 1969) ได้มีผู้รายงานว่าหากนำเอาสิ่งเหลือทิ้งจากการแปรรูป กุ้ง ปู เคย (krill) ทั่วโลกมารวมกัน จะได้ไคตินถึง 150 ล้านกิโลกรัม (Allan, 1978) และจากผลที่เชื่อว่ามีไคตินอยู่ที่ผนังเซลล์นี้เอง ทำให้มีผู้เสนอการตรวจเชื้อราที่ปนเปื้อนในอาหารประเภทผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ข้าวโพด ถั่วเหลือง โดยการตรวจหาปริมาณไคตินเป็นตัวบ่งชี้

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคติน (Allan, 1978)

แหล่ง	ปริมาณที่จับได้	ปริมาณของเหลือ	น้ำหนักไคติน (น้ำหนักสด)	ปริมาณของแข็ง	น้ำหนักแห้ง
หอย	1,700	50-60	468	30-35	154
กุ้งเคย	18,200	40	3,640	22	801
หอย shell-fish*	1,390	65-85	521	90-95	482
ปลาหมึก	660	20-40	99	21	21
เชื้อรา**	790	100	790	20-26	182
แมลง	น้อยมาก	-	-	21-26	-

* หอย shell-fish นี้ รวมพวกปู กุ้งนาง กุ้งก้ามกราม lobster และ crayfish

** เชื้อราที่ได้เป็นผลิตผลพลอยได้ของการผลิตยาปฏิชีวนะ และกรดอินทรีย์

<u>กรรมวิธีการผลิตไคโตแซนจากไคติน</u>

ทั้งไคตินและไคโตแซนหรือเรียกได้ว่าเป็นไคตินที่ปราศจากอะเซ็ทธิล (deacetylated chitin) จะทำมาจากเปลือกกุ้งและปูที่เหลือทิ้ง ในประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นได้มีการผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและปูที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเป็นการค้าอย่างเป็นล่ำเป็นสัน (ตัวอย่าง เช่น Bioshell Product, Albany, Oregon; Kyowa Oil and Fat Tokyo, Japan ; Kyokuyo Co., Tokyo, Japan) กรรมวิธีการผลิตจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ ขั้นที่ 1 เป็นการแยกเอาโปรตีนออกจากเปลือกกุ้งและปู ขั้นที่ 2 แยกเอาแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกกุ้งและปู โดยจะนำเปลือกกุ้งและปูเหล่านั้นมาบดให้ละเอียด จากนั้นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อละลายเอาโปรตีนออกมา (ถ้าต้องการนำโปรตีนที่แยกออกนี้ไปใช้ประโยชน์อีก ก็จะทำได้โดยการลดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ให้เหลือ 4.0 ก็จะได้ตะกอนโปรตีน จากนั้นนำไปอบให้แห้ง) เมื่อละลายโปรตีนออกไปแล้ว นำกากที่เหลือมาล้างด้วยสารละลายกรดเกลือ (HCl) ที่เจือจาง (ประมาณ 10 %) เพื่อชะล้างเอาแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอเนตออกไปในรูปของแคลเซียมคลอไรด์ ในขั้นตอนนี้สารที่ได้คือ " ไคติน " จากนั้นนำไคตินที่ได้มาดึงหมู่อะเซ็ทธิลออก ซึ่งเรียกว่า deacetylation โดยใช้สารละลายด่างที่ร้อน (NaOH 40-50 %) จากนั้นล้างและทำให้แห้ง บดให้ละเอียดก็จะได้ไคโตแซนผง ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงการผลิตไคตินและไคโตแซน (Knorr, 1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนในด้านอุตสาหกรรมอาหาร

ไคโตแซนมีความแปลกกว่าสารโมเลกุลยาวตัวอื่นๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารโมเลกุลยาวชนิดที่มีประจุบวกและผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ ไคตินและไคโตแซนยังไม่ได้ถูกอนุญาตให้มีในอาหารมนุษย์ได้ อย่างไรก็ตามโอกาสที่ไคโตแซนจะได้รับการอนุญาตก็คงมีมาก เพราะตามปกติทั้งไคตินและไคโตแซนก็ได้อยู่ในอาหารที่เราบริโภคอยู่ทุกวันบ้างแล้ว

สรุปศักยภาพของไคโตแซนในอุตสาหกรรมอาหาร (Knorr, 1984) มี 3 อย่าง คือ

1. ใช้ในการผลิตหรือเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร (as a functional ingredient)
2. ใช้เป็นสารตกตะกอน (as a coagulation agent)
3. ใช้เป็นสารโมเลกุลยาวตัวใหม่ เพื่อประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีโพลีเมอร์ (as a new polymer for polymer technology application)

ก) ใช้ในการผลิตหรือเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร

ไคตินสามารถใช้เป็นสาร stabilizer และสารเพิ่มความหนักของอาหาร นอกจากนี้ไคตินที่อยู่ในรูปที่เรียกว่า Micro crystalline chitin จะมีคุณสมบัติดีกว่า Micro crystalline cellulose ตรงที่ทนต่ออุณหภูมิสำหรับฆ่าเชื้อและการแช่แข็งสลับกับการหลอมละลาย (freeze thaw) หลายครั้ง นอกจากนี้ไคโตแซนสามารถทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มได้ และแผ่นฟิล์มไคโตแซนนี้จะนำมาใช้ประโยชน์ในการใช้เคลือบผิวพืชเพื่อป้องกันเชื้อรา หรือใช้เคลือบผิวผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานออกไป และแผ่นฟิล์มนี้สามารถเป็นแผ่นฟิล์มที่บริโภคได้อีกด้วย ประโยชน์ทางด้านอาหารยังมีอีก เช่น การใช้ Micro crystalline chitin ใส่ในการทำขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาตรขนม เพราะความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังมีผู้ได้เสนอแนะให้ใช้ไคโตแซนเพื่อทดแทนกลูเต็น แต่ก็มีผู้ทักท้วงว่าไคโตแซนอาจจะทำให้เกิดผลเสียต่อการหมักกลูโคสของยีสต์ในขณะหมักขนมปัง

ข) ใช้เป็นสารตกตะกอน

ส่วนหนึ่งของการใช้ประโยชน์ในข้อนี้คือ การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึงการลดปริมาณ total solid, การตกตะกอนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ นอกจากนี้ไคโตแซนยังใช้ในการทำน้ำดื่มและน้ำใช้ให้บริสุทธิ์ ซึ่งขณะนี้ได้รับการยอมรับโดยสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (US EPA) แล้ว ไคโตแซนยังใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการบางอย่างออกจากเครื่องดื่ม เช่น สารแขวนลอย และกรดอินทรีย์บางประเภท

สารไคโตแซนเป็นสารโพลีอิเลคโตรไลท์ (polyelectrolyte) ที่เกิดโดยธรรมชาติ สารนี้สามารถนำมาตกตะกอนโปรตีนจากน้ำทิ้งของโรงงานแปรรูปอาหารต่างๆ โดยลดปริมาณสารแขวนลอยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70-98 % และแยกโปรตีนจากน้ำเสียได้ 13-68 % นอกจากนี้พบว่า หากใช้ไคโตแซนร่วมกับการใช้ Cationic polymer หรือพวกเกลือนินทรีย์ เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟตหรือเฟอริกซัลเฟตจะยิ่งมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีก จุดเด่นของไคโตแซนเมื่อเปรียบเทียบกับสารตกตะกอนชนิดอื่น ก็เห็นจะเป็นความได้เปรียบที่ไคโตแซนนั้นบริโภคได้ หากได้รับการยอมรับจากกองอาหารและยาแล้ว ตะกอนของเหลือที่เราได้จากอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีก นอกจากนี้ยังมีการใช้ไคโตแซนเพื่อสกัดกรดอินทรีย์หลายชนิดจากกาแฟ อาทิเช่น กรกคลอโรจีนิก, กรดซิตริก, กรดฟูมาลิก, กรดมาลิก, กรดไพรูวิก, กรดวินิกและกรดคาเฟอิก (Magnolato, 1978) งานวิจัยหลายชิ้นแสดงว่าไคโตแซนสามารถใช้ในการแยกโลหะหนักบางตัวได้ เช่น ปรอท, โครเมียม, ตะกั่ว, สังกะสี, ทองแดง, โครเมียม, พลูโตเนียมและแคดเมียม (Galun และคณะ, 1983, Jha and Leela, 1988) และยังมีการศึกษาพบว่าไคโตแซนสามารถแยก PCB (Polychorinate biphenyls) ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ (Van and Throme, 1986)

ค) <u>การใช้ไคโตแซนในเทคโนโลยีโพลีเมอร์</u>

สารไคโตแซนนี้จะเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารต่างๆ หรือเป็นสารเสริมสุขภาพที่จะเติมลงในอาหาร (Knorr,1984) เพราะไคโตแซนสามารถเกิดเป็นร่างแห (matrix) และมีลักษณะเป็นเจล (ionotropic gel) ซึ่งสามารถหุ้มสารเอาไว้ข้างในได้ และนอกจากนี้ไคตินสามารถจะถูกย่อยสลายได้โดยไลโซไซม์ ซึ่งมีอยู่ในร่างกายคนเราได้อีกด้วย เนื่องจากโมเลกุลของไคโตแซนมีประจุบวก (cationic polyelectrolyte) จึงได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของตะกอนซึ่งเกิดจากปฏิกริยาระหว่างไคโตแซนและสารโมเลกุลยาวที่มีประจุลบอื่นๆ (polyanion) อาทิเช่น sodiumcarboxymethyl-cellulose (Fukuda, 1979), heparin (Kikuchi and Noda, 1976), acidic glycosaminoglycans (Hirano และคณะ, 1978), Polyacrylic acid (Chavasit และคณะ, 1988) และ alginate (Daly and Knorr, 1988) การศึกษาถึงคุณสมบัติของตะกอนเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาสารโมเลกุลยาวชนิดใหม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมหลายประเภทในอนาคต

<u>ข้อจำกัดของการใช้ไคตินและไคโตแซนในอุตสาหกรรมอาหาร</u> (Knorr, 1984)

1. ไคตินและไคโตแซนจากแหล่งผลิตและวิธีการผลิตที่ต่างกันมีคุณสมบัติที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น น้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซนที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น คือ 1,000,000 ขณะที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซนจากประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 200,000 เท่านั้น
2. ทั้งไคตินและไคโตแซนยังมิได้ถูกยอมรับให้มีในอาหารคน เพียงแต่มีการยอมรับให้มีได้ในอาหารสัตว์เท่านั้น
3. ข้อมูลเกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของไคโตแซนในร่างกายคนยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำไคโตแซนมาใช้ในการกำจัดสารพิษ

Catherine และคณะ (1976) ทำการวิจัยในเรื่องการดูดซับไอออนของโลหะประเภทตะกั่ว (lead, Pb(II)) และโครเมียม (Chromium, Cr(III)) ด้วยตัวดูดซับพวกไคตินและไคโตแซน โดยใช้ในรูปของเกล็ดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างไคตินและไคโตแซนในสารละลายโลหะ ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการตรวจวัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในการดูดซับตะกั่ว (II) ด้วยไคติน พบว่ามีค่าการดูดซับอยู่ที่ประมาณ 21 % ของไคโตแซน และเมื่อทำการตรวจสอบความหนาแน่นของไอออนตะกั่ว (II) ที่ผิวของไคโตแซนจะมีปริมาณไอออนของตะกั่ว (II) มากกว่าที่ผิวของไคติน ในขณะที่การดูดซับโครเมียม (III) จะถูกดูดซับได้ในตัวดูดซับพวกไคโตแซนเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าไคโตแซนมีความสามารถในการดูดซับได้มากกว่าพวกไคติน

Randy and Brian (1990) ทำการวิจัยเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอออนโลหะทองแดง (II) และตะกั่ว (II) ที่มีความเข้มข้น 1 ส่วนต่อล้านส่วน ด้วยไบโอโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ ดังนี้ คือ เซลลูโลส, กรดอัลจินิก, ไคติน, ไคโตแซนและคาราจีแนน พบว่าไม่มีไบโอโพลิเมอร์ชนิดใดที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เพราะความสามารถในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของไอออนโลหะที่ทำการทดลอง ซึ่งผลการดูดซับสรุปได้ว่า ไคโตแซนเป็นตัวดูดซับที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมในการแยกสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แต่ไคตินไม่สามารถทำงานได้ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ

Peniche และคณะ (1992) ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติการดูดซับของไอออนปรอท โดยใช้ไคโตแซนเป็นตัวดูดซับ โดยเน้นหนักในด้านการศึกษาทางด้านการเปลี่ยนแปลงทางด้านไคเนติค (kinetic) ของอัตราการดูดซับ โดยทำการทดลอง 2 แบบ คือ แบบใช้การเขย่าไคโตแซนร่วมกับสารละลายและการป้อนสารละลายไอออนโลหะผ่านคอลัมน์ที่มีไคโตแซนบรรจุอยู่ จากการทดลองพบว่าในการดูดซับด้วยไคโตแซน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะการเกิดอัตราเร็วอยู่ 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกอัตราการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงนาทีแรกของการดูดซับ แต่จะพบขีดจำกัดของการดูดซับได้หลังจากเวลาผ่านไปเกิน 100 นาที และในการทดลองที่ใช้คอลัมน์สามารถสรุปได้ว่า การดูดซับของไคโตแซนเกิดขึ้นเนื่องจากการจับโมเลกุลของสารกับรูพรุนซึ่งจะเกิดการดึงดูดสารเข้าไปในรูพรุน และเกิดการดูดซับที่ผิวด้านในรูพรุนของไคโตแซน

Katsutoshi และคณะ (1993) ทำการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะชนิดต่างๆ ในสารละลายแอมโมเนียเหลว และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทดลอง คือ ค่า pH, ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียเหลว, กรดไฮโดรคลอริก และค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนประจุ โดยใช้ไคโตแซนปกติทำการดูดซับเปรียบเทียบกับสารประกอบไคโตแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33516

Tomoyo และคณะ (1994) ใช้ไคโตแซนในการดูดซับกรดเบนโซอิกและอนุพันธ์ พบว่าความสามารถในการดูดซับของไคโตแซนจะสามารถดูดซับกรดเบนโซอิกได้มากกว่ากรดซาลิไซลิกและเมทธิลเบนโซเอทตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมี ซึ่งค่า pKa จะมีผลต่อการดูดซับนี้ โดยที่กรดแต่ละชนิดจะมีค่า pKa ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1. เชื้อจุลินทรีย์

1.1 สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* TISTR 8261 จากศูนย์เก็บรักษาและรวบรวมข้อมูลจุลินทรีย์ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (MIRCEN)

3.2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ไดโตแซน (% Dmin70, By Biorug : CO., Ltd.)

1.2 กรดซัลฟิวริก

1.3 โซเดียมไพโรฟอสเฟต

1.4 กรดอะซิติก

1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3. อุปกรณ์การทดลอง

1.1 เครื่องแก้วต่างๆ

1.2 เครื่องเขย่า (shaker)

1.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รุ่น ZK 380

1.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น HM-7E

1.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) รุ่น HACH DR/4000

1.6 หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave)

1.7 เดซิเคเตอร์ (desicator)

1.8 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar air flow)

1.9 เข็มฉีดยาปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1.10 เครื่องชั่ง

1.11 ผ้าขาวบาง

1.12 magnetic stirror และ magnetic bar รุ่น S 46720-26

3.4. การเพิ่มปริมาณ (scale up) เชื้อสาหร่าย *C. vulgaris*

3.4.1 ตรวจวัดการเจริญของหัวเชื้อสาหร่าย *C. vulgaris* ที่จะนำมาเพิ่มปริมาณ โดยใช้วิธีนับจำนวนเซลล์ใน Haemacytometer ซึ่งเป็นสไลด์สำหรับนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดี่ยวๆ ขนาดเล็ก โดยต้องมีจำนวนเซลล์ประมาณ 1.68 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และตรวจดูลักษณะเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่ายังมีชีวิตอยู่หรือไม่ มีเซลล์ตายมากแค่ไหน ถ้าเซลล์เริ่มตายแล้วก็ไม่ควรใช้

3.4.2 นำหัวเชื้อสาหร่าย *C. vulgaris* ที่ผ่านการตรวจวัดแล้วปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในอาหาร N-8 (อาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายโดยเฉพาะ) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 250 ฟลาสก์ เพื่อเพิ่มปริมาณสาหร่าย *C. vulgaris* ให้เพียงพอต่อความต้องการ

3.4.3 นำฟลาสก์ทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที โดยให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนส์ (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

รูปที่ 3.1 สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เลี้ยงบนเครื่องเขย่า

3.5. <u>การเตรียมสารละลายไคโตแซนและการเตรียมไคโตแซนขึ้นรูป</u>

3.5.1 เตรียมสารละลายไคโตแซน โดยใช้ไคโตแซนที่เป็นเกล็ด 10 กรัม เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % (ปริมาตรต่อปริมาตร) จากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทิ้งไว้เป็นเวลา 10-15 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การขึ้นรูปไคโตแซน

3.5.2.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟต 1.5 % โดยใช้โซเดียมไพโรฟอสเฟต 15 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร เนื่องจากไคโตแซนจะขึ้นรูปได้ดีเมื่ออยู่ในสารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟตที่มี pH 5.5-6.0 (Valentino, 1996)

3.5.2.2 นำสารละลายไคโตแซนที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในเข็มฉีดยาปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.5.2.3 นำไปหยดลงในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีสารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.2.1 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร โดยมีการกวนด้วย magnetic stirror ตลอดเวลา

3.5.2.4 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดไคโตแซนมีความคงตัวดีขึ้น

3.5.2.5 ปรับสภาพให้เป็นกลางโดยใช้น้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว

3.6. การทดสอบการดูดซับโครเมียม

3.6.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ระหว่างไคโตแซนขึ้นรูป, ไคโตแซนตรึงรูปกับสาหร่าย *C. vulgaris* และสาหร่าย *C. vulgaris*

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายสำหรับใช้ในการทดลองโดยนำสาหร่าย *C. vulgaris* ทั้งหมดที่เลี้ยงไว้ในข้อ 3.4 นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงที่มีความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันเซลล์แตก จากนั้นเทส่วนใสทิ้งไป ทำการล้างเซลล์ที่เหลืออยู่โดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นเทส่วนใสทิ้งไป ล้างเซลล์ซ้ำอีกครั้งโดยใช้วิธีเดิม เทน้ำส่วนใสทิ้งไป นำเซลล์สาหร่าย *C. vulgaris* ที่ได้ใส่ในจานที่รองก้นด้วยกระดาษไข

3.6.1.1 เตรียมการขึ้นรูปไคโตแซนโดยใช้สารละลายไคโตแซนปริมาตร 60 มิลลิลิตร เพื่อให้เพียงพอต่อการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2

3.6.1.2 เตรียมสาหร่ายที่จะใช้ในการตรึงรูปกับไคโตแซน โดยชั่งเซลล์สาหร่าย *C. vulgaris* ที่เตรียมไว้สำหรับทดลองให้ได้น้ำหนัก 2.05 กรัม, 4.00 กรัม และ 6.28 กรัม เตรียมน้ำหนักละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายไคโตแซนที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นทำการขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2

3.6.1.3 เตรียมสาหร่าย *C. vulgaris* สำหรับทดลอง โดยชั่งให้ได้น้ำหนัก 2.05 กรัม, 4.00 กรัม และ 6.28 กรัม น้ำหนักละ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1.4 นำไคโตแซนที่ขึ้นรูปแล้วตามข้อ 3.6.1.1, สาหร่ายตรึงรูปด้วยไคโตแซนในข้อ 3.6.1.2 และ เซลล์สาหร่ายในข้อ 3.6.1.3 ไปใส่ในสารละลายโครเมียมเข้มข้น 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำฟลาสก์ทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา

3.6.1.5 ทำการเก็บตัวอย่างจากทุกฟลาสก์ ฟลาสก์ละ 7 มิลลิลิตร ตามเวลาที่กำหนด คือ ชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 และ 24 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (+6)

3.6.1.6 นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลมาหักลบออกจากความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น จะได้เป็นปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้

3.6.1.7 นำปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้โดยสาหร่ายเซลล์สด, ไคโตแซนขึ้นรูปและสาหร่ายตรึงรูปด้วยไคโตแซน มาเขียนกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ที่เวลาต่างๆ กัน

3.6.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของโครเมียม (+6) เริ่มต้นที่ความเข้มข้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) ของไคโตแซนขึ้นรูป และตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.6.1

3.6.2.1 เตรียมสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์, สารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์ และสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์

3.6.2.2 เตรียมตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.6.1 ตามวิธีในข้อ 3.6.1 จากนั้นนำไปใส่ในสารละลายโครเมียม (+6) ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.2.1

3.6.2.3 เตรียมไคโตแซนขึ้นรูปโดยใช้สารละลายไคโตแซนปริมาตร 60 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อให้เพียงพอต่อการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2

3.6.2.4 นำฟลาสก์ทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา

3.6.2.5 ทำการเก็บตัวอย่างจากทุกฟลาสก์ ฟลาสก์ละ 7 มิลลิลิตร ตามเวลาที่กำหนด คือ ชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 และ 24 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (+6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2.6 นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลมาหักลบออกจากความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น จะได้เป็นปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้

3.6.2.7 นำปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้ มาเขียนกราฟเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นโครเมียม (+6) เริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) ที่เวลาต่างๆ กัน

3.6.3 การเปรียบเทียบพีเอชของสารละลายโครเมียม (+6) ที่พีเอช 5, 7 และ 9 ที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) ของตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.6.1

3.6.3.1 เตรียมสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นมากที่สุดที่สามารถดูดซับได้ที่มีพีเอช 5 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์, สารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นมากที่สุดที่สามารถดูดซับได้ที่มีพีเอช 7 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์ และ สารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นมากที่สุดที่สามารถดูดซับได้ที่มีพีเอช 9 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จำนวน 6 ฟลาสก์

3.6.3.2 เตรียมตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.6.1 ตามวิธีในข้อ 3.6.1 จากนั้นนำไปใส่ในสารละลายโครเมียม (+6) ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.3.1

3.6.3.3 เตรียมไคโตแซนขึ้นรูปโดยใช้สารละลายไคโตแซนปริมาตร 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้เพียงพอต่อการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2

3.6.3.4 นำฟลาสก์ทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา

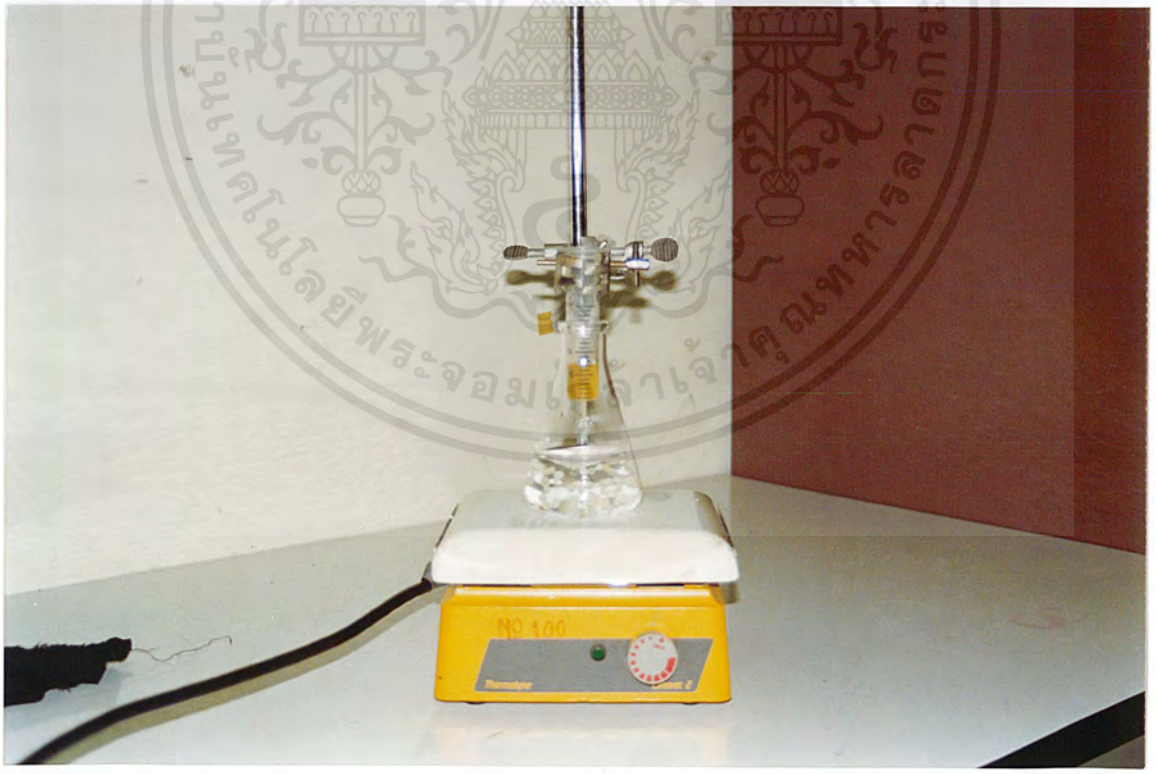
3.6.3.5 ทำการเก็บตัวอย่างจากทุกฟลาสก์ ฟลาสก์ละ 7 มิลลิลิตร ตามเวลาที่กำหนด คือ ชั่วโมงที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 และ 24 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (+6)

3.6.3.6 นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลมาหักลบออกจากความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น จะได้เป็นปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้

3.6.3.7 นำปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับไว้ มาเขียนกราฟเปรียบเทียบผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) ที่เวลาต่างๆ กัน

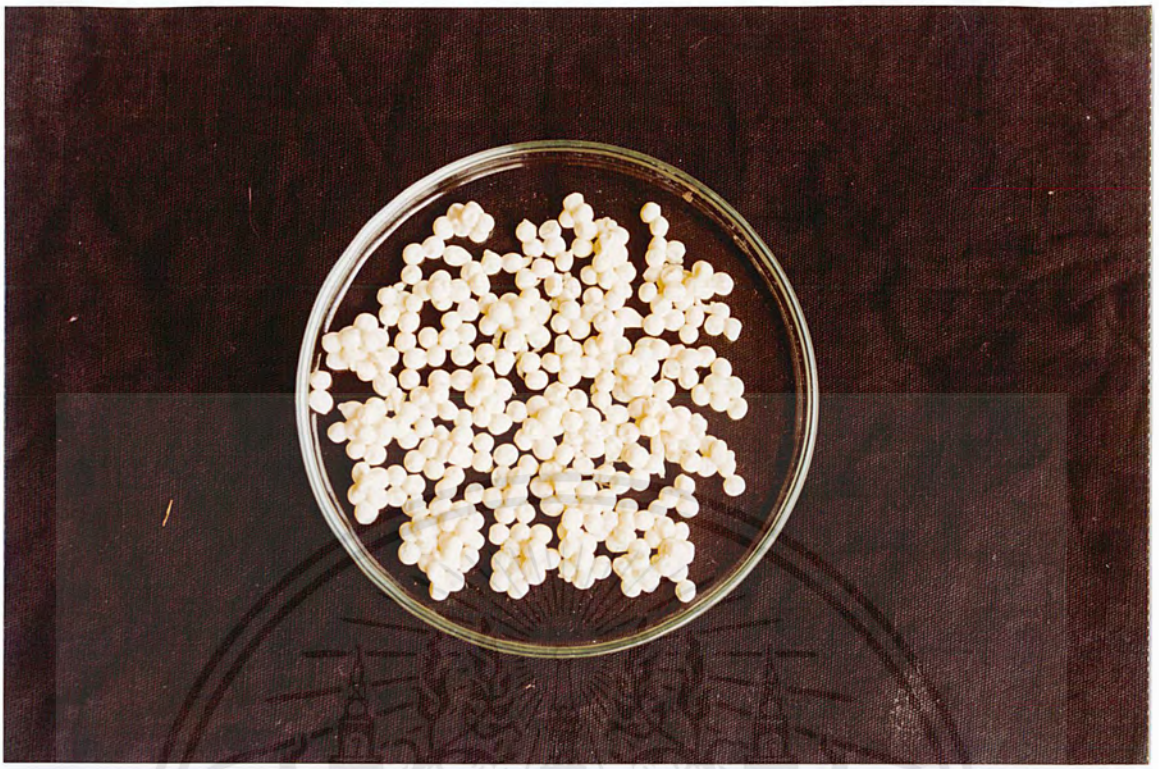
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 สารละลายไคโตแซนที่ใช้ในการขึ้นรูป



รูปที่ 3.3 วิธีการขึ้นรูปไคโตแซน

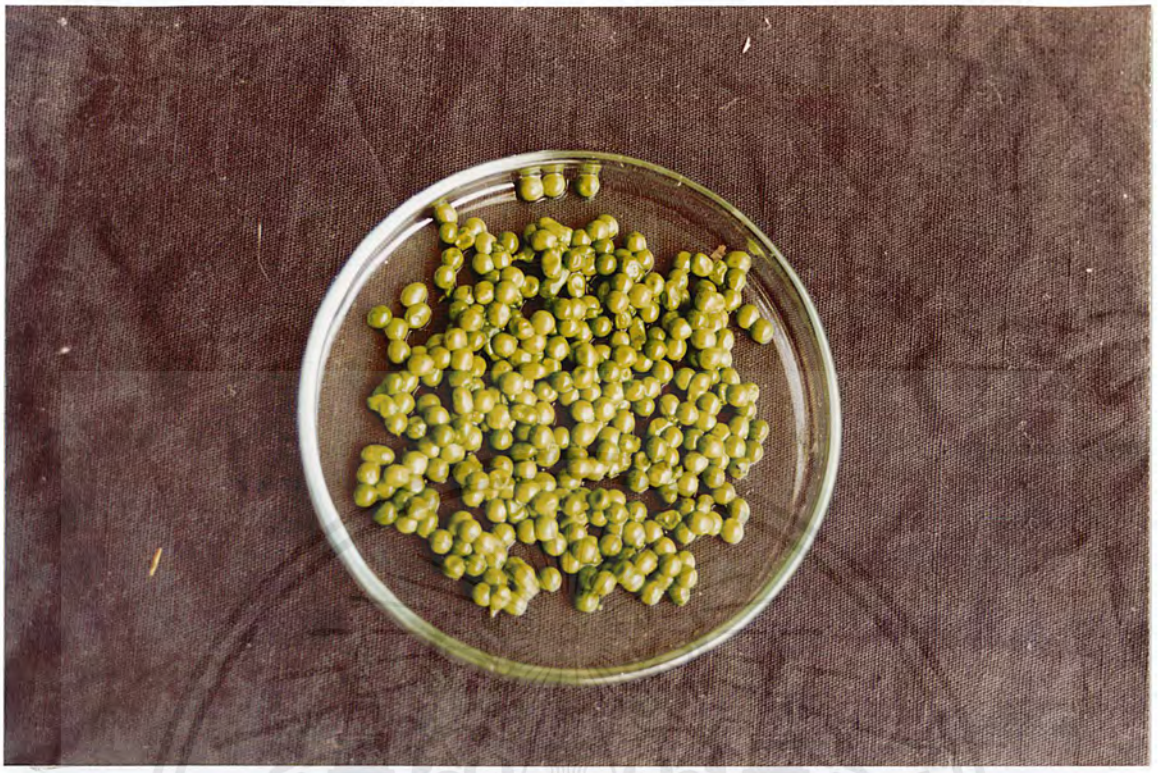
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ไคโตแซนขึ้นรูปที่ใช้ในการดูดซับโครเมียม (+6)

รูปที่ 3.5 วิธีการตรึงรูปไคโตแซนกับสาหร่าย *C. vulgaris*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สาหร่าย *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่ใช้ในการดูดซับโครเมียม (+6)

รูปที่ 3.7 การเก็บเกี่ยวสาหร่าย *C. vulgaris* โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 สีของสารละลายโครเมียม (+6) ก่อนเติมไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (ซ้าย) และหลังเติมไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 สีของสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเติมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05 , 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด)

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัมต่อสารละลายไคโตแซน 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) โดยใช้สารละลายโครเมียมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 180 รอบต่อนาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร (สัญชัย และคณะ, 2540) ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุด โดยสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 100 เปอร์เซ็นต์ภายใน 16 ชั่วโมง มีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 5.47 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง ซึ่งนับได้ว่าใช้เวลาในการดูดซับโครเมียม (+6) น้อยที่สุด ในขณะที่ไคโตแซนขึ้นรูปใช้เวลาในการดูดซับโครเมียม (+6) 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 100 เปอร์เซ็นต์ในชั่วโมงที่ 24 มีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 4.35 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง *C. vulgaris* ปริมาณ 6.28 กรัม (เซลล์สด) จะดูดซับโครเมียม (+6) ได้มากที่สุดที่ชั่วโมงที่ 24 โดยดูดซับได้ได้ 10.23 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 76.8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 1.39 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มของ *C. vulgaris* อิสระที่มีปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Malick และคณะ (1993) ซึ่งได้ทำการทดลองดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ โดยใช้ *C. vulgaris* ขึ้นรูปกับ Sodium alginate ที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 0.05, 0.1, 0.25, 0.49 และ 1.22 กรัม (เซลล์แห้ง) พบว่าถ้าปริมาณเซลล์มากจะดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ ได้ดีกว่าปริมาณเซลล์น้อย และจากข้อมูลในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นความสามารถในการดูดซับโครเมียม (+6) จึงทำให้เลือกใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับ โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป

เมื่อนำผลการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ได้จากตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโครเมียม (+6) จะได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม

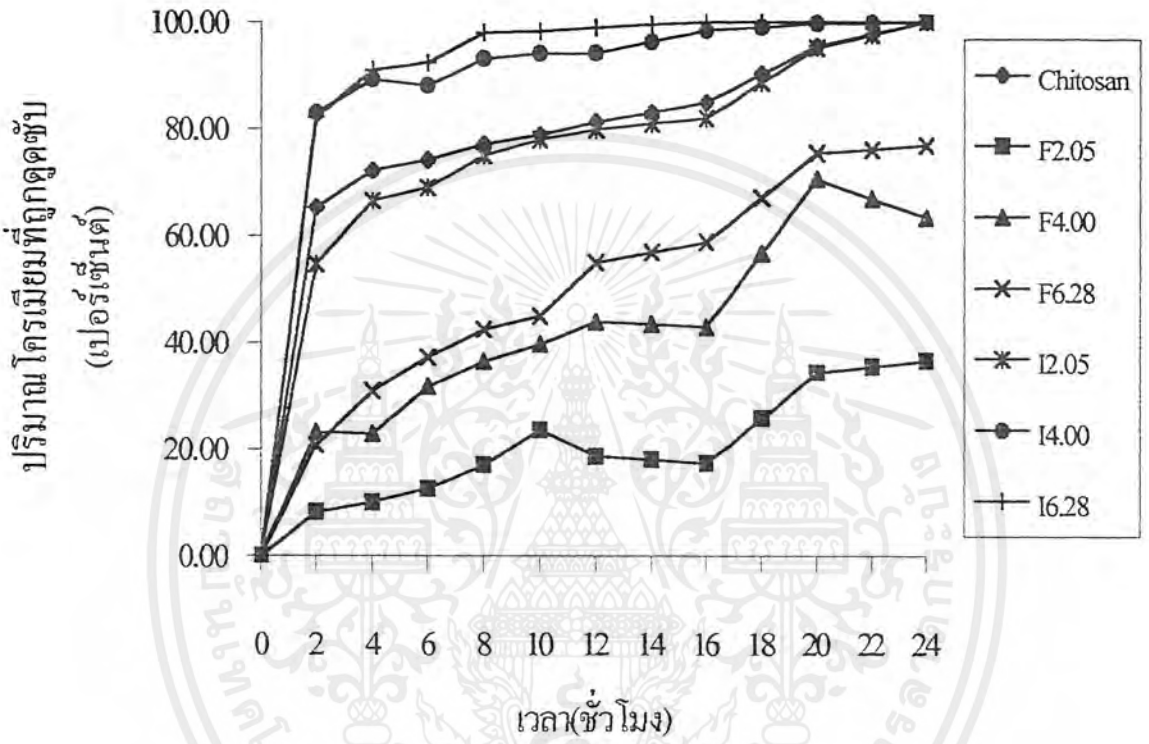
ชั่วโมงที่	Chitosan	F2.05	F4.00	F6.28	I2.05	I4.00	I6.28
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	65.320	8.250	23.270	20.870	54.870	83.030	82.130
4	72.150	10.060	22.890	31.000	66.590	89.260	90.990
6	74.250	12.610	31.830	37.310	68.990	88.060	92.340
8	77.030	17.040	36.410	42.560	75.000	93.160	97.970
10	78.900	23.720	39.710	45.040	77.920	94.140	98.270
12	81.230	18.690	43.990	55.030	79.820	94.220	99.020
16	84.980	17.410	43.020	58.780	81.980	98.420	100.000
20	95.490	34.340	70.490	75.450	95.120	99.620	100.000
24	100.000	36.560	63.290	76.800	100.000	100.000	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(เปอร์เซ็นต์)						
	Chitosan	F2.05	F4.00	F6.28	I2.05	I4.00	I6.28
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	65.32	8.25	23.27	20.87	54.87	83.03	82.13
4	72.15	10.06	22.89	31.00	66.59	89.26	90.99
6	74.25	12.61	31.83	37.31	68.99	88.06	92.34
8	77.03	17.04	36.41	42.56	75.00	93.16	97.97
10	78.90	23.72	39.71	45.04	77.92	94.14	98.27
12	81.23	18.69	43.99	55.03	79.82	94.22	99.02
16	84.98	17.41	43.02	58.78	81.98	98.42	100.00
20	95.49	34.34	70.49	75.45	95.12	99.62	100.00
24	100.00	36.56	63.29	76.80	100.00	100.00	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้น 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ของตัวดูดซับแต่ละชนิด โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมเป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ระหว่าง *C. vulgaris* ตรึงรูปไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 4.00 กรัม และ 6.28 กรัม พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ของตัวดูดซับทั้งสองจะไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์แต่ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้หมดโดยใช้เวลาน้อยกว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 4.00 กรัม จึงเลือกใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป และการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ของไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมต่อไป

4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูป

จากการทดสอบดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาทีจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร (สัญชัย และคณะ, 2540) และนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานซึ่งแสดงเป็นค่าปริมาณค่าดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม ได้ผลดังตารางที่ 4.2

จากผลการทดลองหาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่ 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อาจมีผลต่อการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป และ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมสามารถดูดซับได้ดีกว่าไคโตแซนขึ้นรูปที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) เป็น 18 มิลลิกรัมต่อลิตรและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุดคือ 17.32 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 98.52 เปอร์เซ็นต์มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการดูดซับเท่ากับ 4.48 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง ในขณะที่ไคโตแซนขึ้นรูปสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้เพียง 12.3 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 69.96 เปอร์เซ็นต์ภายใน 24 ชั่วโมง มีค่าอัตราการดูดซับเท่ากับ 4.34 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) เป็น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ 27.93 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 95.83 เปอร์เซ็นต์ภายใน 24 ชั่วโมงมีค่าอัตราการดูดซับเท่ากับ 6.01 พีพีเอ็มต่อชั่วโมงในขณะที่ไคโตแซนขึ้นรูปสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้เพียง 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 59.46 เปอร์เซ็นต์มีค่าอัตราการดูดซับเท่ากับ 5.82 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง และที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) เป็น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมสามารถดูดซับโครเมียมได้ใกล้เคียงกันคือ 40.26 และ 40.46 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 65.80 และ 65.17 เปอร์เซ็นต์มีค่าอัตราการดูดซับเท่ากับ 15.35 และ 11.94 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง ตามลำดับดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 การที่ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ใกล้เคียงกันเพราะ *C. vulgaris* สามารถดูดซับโครเมียมได้ที่ความเข้มข้นระดับหนึ่งเท่านั้น เมื่อถึงระดับนั้นแล้วความสามารถในการดูดซับของ *C. vulgaris* จะคงที่ดังเช่นการทดลองของสุภาณี (2531) ได้ศึกษาการดูดซับด้วยสังกะสีโดยใช้ *Chlorella* sp. โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสังกะสีในอาหารเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นและถ้าความเข้มข้นของสังกะสีสูงขึ้นมากๆ ความสามารถในการดูดซับของ *Chlorella* sp. จะมีค่าเกือบคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรัชยาภรณ์และพูนสุข (2540) พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดต่างกัน ระยะเวลาในการดูดซับแคดเมียมโดย *Enterobacter aerogenes* ที่ถูกตรึงบน activated carbon สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นการดูดซับแคดเมียมโดยไม่ใช้พลังงานซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นมากและแปรผันตามความเข้มข้นของแคดเมียม โดยถ้าความเข้มข้นของแคดเมียมสูงจะทำให้ระยะเวลาในการดูดซับสั้นลง เนื่องจากแคดเมียมสามารถเข้าจับบนผนังเซลล์ได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ช่วงที่สองเป็นการดูดซับแคดเมียมเข้าสู่เซลล์ซึ่งเป็นกลไกที่ใช้พลังงานและเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งระยะเวลาการดูดซับแคดเมียมจนเข้าสู่สมดุลจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลาย คือที่ความเข้มข้นของแคดเมียมเป็น 25 ส่วนในล้านส่วน การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลใน 120 นาที แต่ถ้าแคดเมียมเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วนการดูดซับจะเข้าสู่สมดุลในเวลา 30 นาที

จากผลทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับโดยใช้ Ducan multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

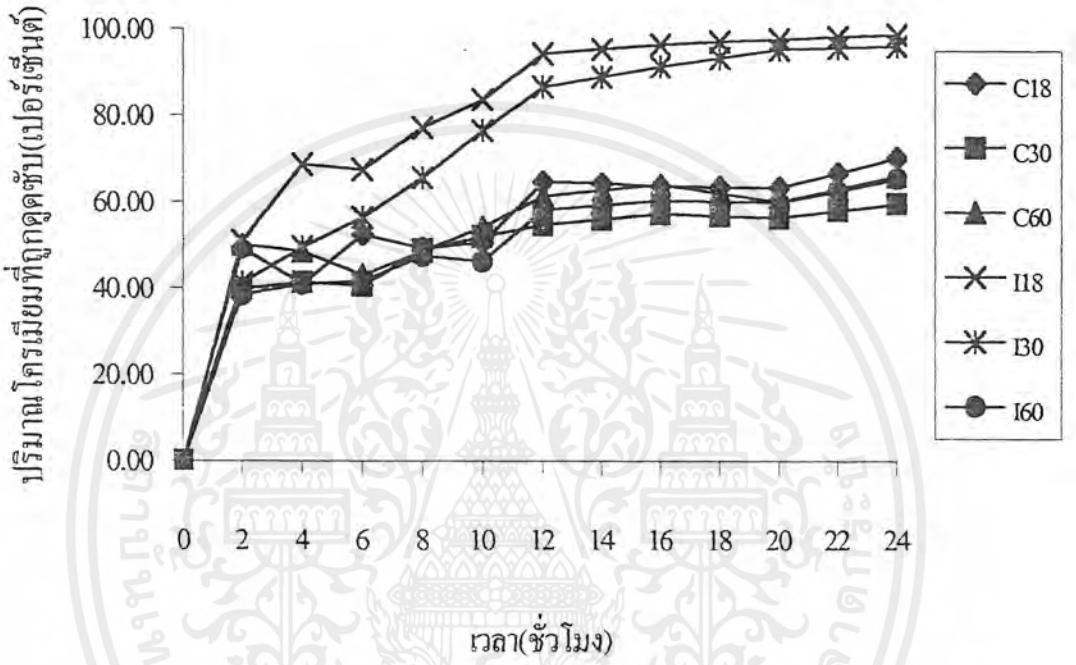
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับดีกว่าที่ความเข้มข้นของโครเมียม (+6) เริ่มต้นอื่นๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ปริมาณ 6.28 กรัมตรึงรูปด้วยไคโตแซน

ชม.ที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(เปอร์เซ็นต์)					
	C18	C30	C60	I18	I30	I60
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	49.37	39.78	50.00	50.91	41.22	38.44
4	40.95	41.40	48.58	68.58	49.52	40.95
6	52.39	40.54	43.03	67.35	56.38	41.71
8	49.15	48.77	48.53	76.96	65.43	47.50
10	50.53	51.92	54.08	83.51	76.33	46.27
12	64.56	54.55	61.22	94.08	86.39	58.03
16	63.54	57.06	63.78	96.25	91.14	60.23
20	63.19	56.15	59.80	97.49	95.03	59.69
24	69.96	59.46	65.80	98.52	95.83	65.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเปรียบเทียบระหว่างไคโตแซนขึ้นรูปและ *C.vulgaris* ปริมาณ 6.28 กรัมตรึงรูปด้วยไคโตแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ของไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ*C. vulgaris* 6.28 กรัม

จากการทดลองการนำไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม นำมาทำการดูดซับสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำการปรับพีเอชให้ได้เท่ากับ 5, 7 และ 9 ตามลำดับ ใช้ความเร็วรอบในการเขย่า 180 รอบต่อนาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร (สัญชัย และคณะ, 2540) และนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานซึ่งแสดงเป็นค่าของปริมาณโครเมียม (+6) ที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

จากการทดลองพบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอชเท่ากับ 7 ได้ดีที่สุด คือ 28.16 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 93.89 เปอร์เซ็นต์มีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 7.19 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง และรองลงมาคือพีเอช 9 และ 5 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3 โดย *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ 28.65 และ 15.95 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 95.55 และ 76.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับภายใน 24 ชั่วโมงมีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 7.73 และ 6.54 พีพีเอ็มต่อชั่วโมงตามลำดับ ส่วนไคโตแซนขึ้นรูปสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่พีเอชต่างๆ คือ 9, 5 และ 7 สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ 28.53, 21.10 และ 16.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.3 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าอัตราการดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 4.96, 6.7 และ 5.7 พีพีเอ็มต่อชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Malick และคณะ (1993) ได้ทำการทดลองดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ โดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วย sodium alginate ที่พีเอชต่างๆ พบว่าที่พีเอช 7 จะสามารถดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ ได้ดีที่สุด รองลงมา คือ พีเอช 8, 6, 9, 10, 5 และ 4 ตามลำดับ และยังรายงานอีกว่า *C. vulgaris* จะมีการดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ ได้ดีที่สุดที่พีเอช 6 ถึง 7

จากการศึกษาของธีรพล (2540) พบว่าการที่สารละลายโครเมียม (+6) มีพีเอชต่ำๆ หรือมีสภาพที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตแซนดีขึ้น เนื่องจากสภาพของสารละลายที่เป็นกรดจะช่วยเพิ่มประจุให้หมู่เอมีนอิสระ (NH_2) ของไคโตแซนให้เปลี่ยนเป็นอยู่ในรูปของเอมีนที่มีประจุบวก(NH_3^+)ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกประจุลบที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายโดยจับกับโมเลกุลเหล่านั้น ในขณะที่สภาพสารละลายที่เป็นด่างจะมีผลต่อการทำงานของหมู่เอมีนอิสระ (NH_2) คือ OH^- ในสารละลายด่างจะเข้าไปจับกับหมู่เอมีนอิสระ (NH_2) ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับโลหะหนักโดยรัชยาภรณ์และพูนสุข (2540) พบว่าค่าการดูดซับโลหะหนักที่พีเอชต่ำกว่า 2 จะน้อยมากหรือไม่เกิดการดูดซับเลย เนื่องจากไฮโดรเจน

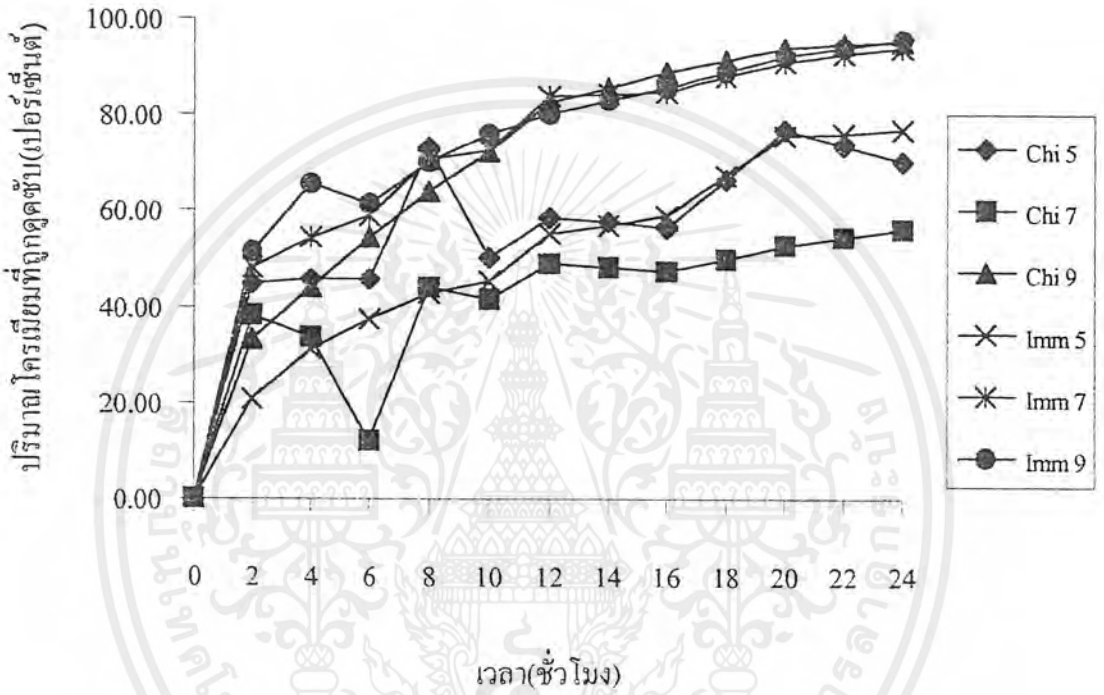
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิออนจะแข่งขันกับโลหะหนักในการจับกับเซลล์ส่วนค่าพีเอชที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์และค่าพีเอช ระหว่าง 4 ถึง 8 เป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรียแทบทุกสายพันธุ์ จากการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ analysis of variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับโดยใช้ Ducan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ไคโตแซนตรึงรูป *C. vulgaris* 6.28 กรัมเป็นตัวดูดซับโครเมียม (+6) ที่มีค่าพีเอชแตกต่างกัน พบว่าในช่วงพีเอช 7 *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่าในช่วงพีเอชที่เป็นกรดหรือด่าง (พีเอช 5 และพีเอช 9) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 9 พบว่าไคโตแซน ขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ได้ใกล้เคียงกัน (ไม่แตกต่างกัน) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอช 5, 7 และ 9 โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(เปอร์เซ็นต์)					
	Chi 5	Chi 7	Chi 9	Imm 5	Imm 7	Imm 9
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	44.72	38.11	33.11	20.87	47.94	51.50
4	45.71	33.72	44.00	31.00	54.22	65.69
6	45.72	11.95	54.39	37.31	58.77	61.61
8	73.17	43.89	63.89	42.56	70.66	70.11
10	50.16	41.50	72.27	45.04	72.61	75.77
12	58.66	48.89	82.50	55.03	83.72	80.00
16	56.33	47.39	88.77	58.78	84.66	85.61
20	76.83	52.61	93.77	75.45	91.00	92.00
24	70.33	56.22	95.11	76.8	93.89	95.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอช 5, 7 และ 9 โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป, *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด)

เมื่อนำ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* ต่าง ๆ กันมาเปรียบเทียบกับไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* อิสระที่ปริมาณต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม จะสามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุดคือ 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถดูดซับได้หมดภายใน 16 ชั่วโมง

5.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ของ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม และไคโตแซนขึ้นรูปที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ พบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ดีที่สุดที่ชั่วโมงที่ 24

5.3 การศึกษาพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ของไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม

เมื่อทำการเปรียบเทียบพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) ของไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม พบว่าสารละลายโครเมียม (+6) ที่พีเอช 7 *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุดคือ 28.16 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 93.89 เปอร์เซ็นต์ภายใน 24 ชั่วโมง ในขณะที่ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม ในสภาพที่เป็นด่าง (พีเอช 9) มีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม (+6) ได้ใกล้เคียงกัน (ไม่แตกต่างทางสถิติ) คือ 28.53 และ 28.65 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับหรือ 95.11 และ 95.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดให้สูงขึ้นโดยมีการบำบัดครั้งแรกด้วยสารเคมีก่อน เมื่อเหลือปริมาณโลหะหนักในปริมาณน้อยจึงนำ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนมาใช้ร่วมในการบำบัด

2. เนื่องจาก *C. vulgaris* มีความสามารถในการดูดซับโครเมียมได้ซึ่งเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง จึงน่าจะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นเช่น ตะกั่ว แคดเมียมและปรอท เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม "100 ปี กรมทรัพากรธรณี" หน้า 351, บริษัทฉลองรัตน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2535.

กิ่งฟ้า กิจชัยนุกูล และ พิชญา นาคเขียว "การสกัดโครเมียมจากน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโครเมียม" โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ทวี หอมชง "ความหลากหลายของสาหร่ายและผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่เป็นสินค้า" วารสารวิทยาศาสตร์ (2540) : 93.

ธีรพล ประมวลกิจจา "อุตสาหกรรมผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง" อุตสาหกรรมสาร ปีที่ 34, ฉบับที่ 7-12 (2534) : 3-7.

ปาจารีย์ อินทรทองคำ, พงศ์อนันต์ คงดารา และ วนิดา พนายิ่งไพศาล "การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp." โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

รัชยาภรณ์ ผลมั่ง และ พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ "การดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรีย" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีที่ 19 (2540) : 395-404.

วชิรัคณา เจริญสักสรรค์ "การศึกษาการสะสมสังกะสีและแคดเมียมโดยสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว *Chlorella* sp." วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2531.

วิสิฐ จะวะสิต และ ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ "ไคโตแซนโพลิเมอร์ตัวใหม่จากของเหลือทิ้งจากสัตว์น้ำ" วารสารอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 1 (2533) : 4-8.

สมภพ รุ่งสุภา "การทดลองทำสาหร่ายคลอเรลลาน้ำเค็มแบบเข้มข้นโดยใช้เครื่องกรองแบบแนวตั้ง" วารสารวิทยาศาสตร์, 2539.

สัญชัย ใจยงค์, อ่อนหวาน อาจสาคร และ เอกราช ลิ้มวัฒนา "การดูดซับโครเมียม (+6) ด้วย *Chlorella* sp." โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.

สุภาณี เลิศไตรรักษ์, สุเทพ มงคลเลิศลพ, บุษยา บุนนาค และ ดำรง ขุมมงคล "การสะสมสังกะสีโดยสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว *Chlorella* sp." ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2531.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุเทพ มงคลเลิศลพ "การสะสมสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella vulgaris*" วิทยานิพนธ์ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2530.

Allan, G.G., Fox, J.R. and Kong, N. "A critical evaluation of the potential sources of chitin and chitosan." Proceedings of the 1st International Conference on Chitin/Chitosan, (R.A.A. Muzzarelli and E.R. Pariser ed.) MIT Sea Grant Program, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA., 1978.

Austin, P.R., Brine, C.J., Castle, J.E. and Torres, J.A. "Chitin : New Facets of Research." Science. 212 (1981) : 749.

Brierley, C.L. Metal immobilization using bacteria. In Microbial Mineral Recovery, (Ehrlich, H.L. and Brierley, C.L., eds.) pp. 302-339. Mcgraw-Hill, 1990.

Catherine, A.E. and others. "Chitosan a polymer from seafood waste, for use in treatment of food processing wastes ana activated sludge." Process Biochem. (Jan-Feb 1976) : 13-16.

Chavasit, V., Kienzle-Sterzer, C. and Torres, J.A. Formation and characterization of an insoluble polyelectrolyte Complex. In chitosan-polyacrylic acid, pp. 19-223. Polymer Bull, Berlin, 1988.

Daly, M.M. and Knorr, D. "Chitosan alginate complex coacervate capsules : Effects of calcium chloride, plasticizers and polyelectrolytes on mechanical stability." Biotech. Prog. 4 (1988) : 76.

Eckenfelder Jr, W.W. Coagulation and precipitation. In Industrial Water Pollution Control, pp. 104-107. Mcgraw-Hill, 1989.

Fukuda, H. "Polyelectrolyte complexs of carboxymethyl cellulose with chitosan." Makromol. Chem. 180 (1979) : 1631.

Galun, M., Keller, P., Malki, D., Felstein, H., Galun, E., Siegel, S.M. and Siegel, B.Z. "Removal of uranium (VI) from solution by fungal biomass and fungal wall-related biopolymers." Science 219 (1983) : 285.

Hamilton, J.W. and Wetterhahn, K.E. In Chromium, Handbook of Toxicity of inorganic compounds (Seiler, H.G. and Sigel, H. eds.) pp. 240-241. Macel Dekker Inc., U.S.A., 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hirano, S., Mizutani, C., Yamaguchi, R. and Miura, O. "Formation of the polyelectrolyte complexs of some acidic glycosaminoglycans with partially N-acrylated chitosans." Biopolymers 17 (1978) : 805.

Jha, I.N.I. and Leela Prabhakara Rao, A.V.S. "Removal of cadmium using chitosan." J. Environ. Eng. 114 (1988) : 962.

Katsutoshi, I. And other. "Adsorption of metal ions on chitosan." Bull. Chem. Soe. Jpn. 66 (1993) : 2916-2921.

Kelly, M. Geological and economic background. In Mining and the Freshwater Environment, pp.1-8. Elsevier Science, London, 1988.

Khummongkol, D., Canterford, G.S. and Fryer, C., "Accumulation of Heavy Metal in Unicellular Algae." Biotechnology and Bioengineering 24 (1982) : 2643-2660.

Kikuchi, Y. and Noda, A. "Polyelectrolyte complexs of heparin with chitosan." J. Appl. Polym. Sci. 20 (1976) : 2561.

Knorr, D. "Use of chitosan polymers in food." Food. Tech. 38 (1984) : 85.

Koren, H. in Illustrated Dictionary of Environmental Health and Occupational Safety, pp. 123-125. Lewis Publishers, New York, 1996.

Lester, E.A. In Heavy metal in wastewater and sludge treatment process. CRC Press, Florida, 1987.

Macaskie, L.E., "Immobilization cell bioprocess for the removal of heavy metals from aqueous flow." J. Chem. Tech. Biotechnol. 49 (1990) : 357-379.

Madgwick, J.C., "Biological sorption and uptake of toxic metal ion from waste waters." Biotechnol. 4 (5). (1994) : 292-297.

Magnolato, D. "A process of deacidifying a coffee extract and the deacidified extract obtained." UK Patient Application GB 2029 688A, 1978.

Malick, N. and Rai, L.C., "Influence of culture density, pH, oganic acids and divalent cations on the removal of nutrients and metals by immobilized *Anaebaena doliolum* and *Chlorella vulgaris*." World journal of Microbiology and Biotechnology 9 (1993) :196-203.

Papp, J.F., "Bureau of Mines BullEtin 675." pp. 139-155. US Governmrnt Printing Office, 1985.

Peniche, C. and others. "The adsorption of mercuric ions by chitosan." J. Appl. Polym. Sci. 46 (1992) : 1147-1150.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Randy, D. and Brian, G.D. "Bioabsorptions for wastewater treatment." Congress chitin and chitosan (1990) : 648-656.

Rudall, K.M. "Chitin and its association with other molecules." J. Polymer Sci. 28 (1969) : 83.

Sly, L.T., Hodgkinson, M.C. and Arunpairojana, V., "Deposition of manganese in drinking water distribution system." Appl. Environ. Microbiol. 56 (1990) : 628-639.

Tomoyo, M. and others. "Adsorption of benzoic acid and its derivatives to swollen chitosan beads." Biosci. Biotech. Biochem. 59 (1994) : 927-928.

Valentino, M., Kaya and Gaston, P., "Stability of chitosan gel as Entrapment Matrix of Viable *Scenedesmus bicellularis* cells immobilized on screens for tertiary treatment of waste water." Bioresource Technology 56 (1996) : 147-155.

Van, D. Y. and Throme, J.P. "Purification of PCB contaminated water by chitosan : a biological test of efficiency using the common barbel Barbus barbus." Bull. Envion. Contam. Toxicol. 37 (1986) : 858.

White, C. and Gadd, G.M., "The uptake and cellular distribution of zinc in *Saccharomyces cerivisiae*." J. Gen. Microbiol. 133 (1987) :727-737.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. สูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp.

N-8 medium

$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	0.26	กรัม
KH_2PO_4	0.74	กรัม
*$CaCl_2$	0.01	กรัม
*FeEDTA	0.01	กรัม
*$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.05	กรัม
KNO_3	1.00	กรัม
Trace element	1.00	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	1	ลิตร

Trace element

$Al_2(SO_4) \cdot 18H_2O$	3.58	กรัม
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	12.98	กรัม
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	1.83	กรัม
$ZnSO_4 \cdot H_2O$	3.20	กรัม
น้ำกลั่น	1.00	ลิตร

นำสารเคมีมาผสมเข้าด้วยกัน โดยที่แยกสารเคมีที่มี (*) และไม่มี (*) ออกจากกัน เพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายตกตะกอน สำหรับ Trace element ให้ผสมแยกต่างหากในปริมาตรที่ต้องการ จากนั้นนำสารละลายไปทำการฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ปลอดเชื้อ (laminar air flow) เมื่อสารละลายเย็นแล้วจึงทำการผสมกันแล้วเติม Trace element 1 มิลลิลิตรต่ออาหารเลี้ยงสาหร่าย 1 ลิตร ทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อรอให้อาหารเลี้ยงสาหร่ายตกตะกอนลงมา เมื่อจะนำไปใช้ให้เทเอาอาหารส่วนที่ใสไม่มีตะกอนไปใช้ โดยไม่ต้องนำไปนึ่งฆ่าเชื้ออีก

2. การเตรียมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (Diphenylcarbazide)

ละลาย 1,5-Diphenylcarbazide 0.25 กรัม ในอะซีโตน 50 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา (ควรเตรียมก่อนที่จะใช้ ไม่ควรเตรียมทิ้งไว้นาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารละลายโครเมียม (+6)

อบโพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate : $K_2Cr_2O_7$) จำนวน 0.70 กรัม ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำมาละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโครเมียม (+6) เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถนำไปทำการเจือจางเป็นความเข้มข้นต่างๆ ได้

4. การเตรียมกราฟมาตรฐานโครเมียม (+6)

นำสารละลายโครเมียม (+6) ที่มีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในข้อ 3) มาทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.1, 0.2, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (สัญชัย และคณะ, 2540) นำค่าการดูดกลืนแสงทั้ง 3 ซ้ำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครเมียม (+6) ดังรูปที่ 1 ก

5. การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม (+6)

(1) ปิเปตตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์มาประมาณ 7 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที

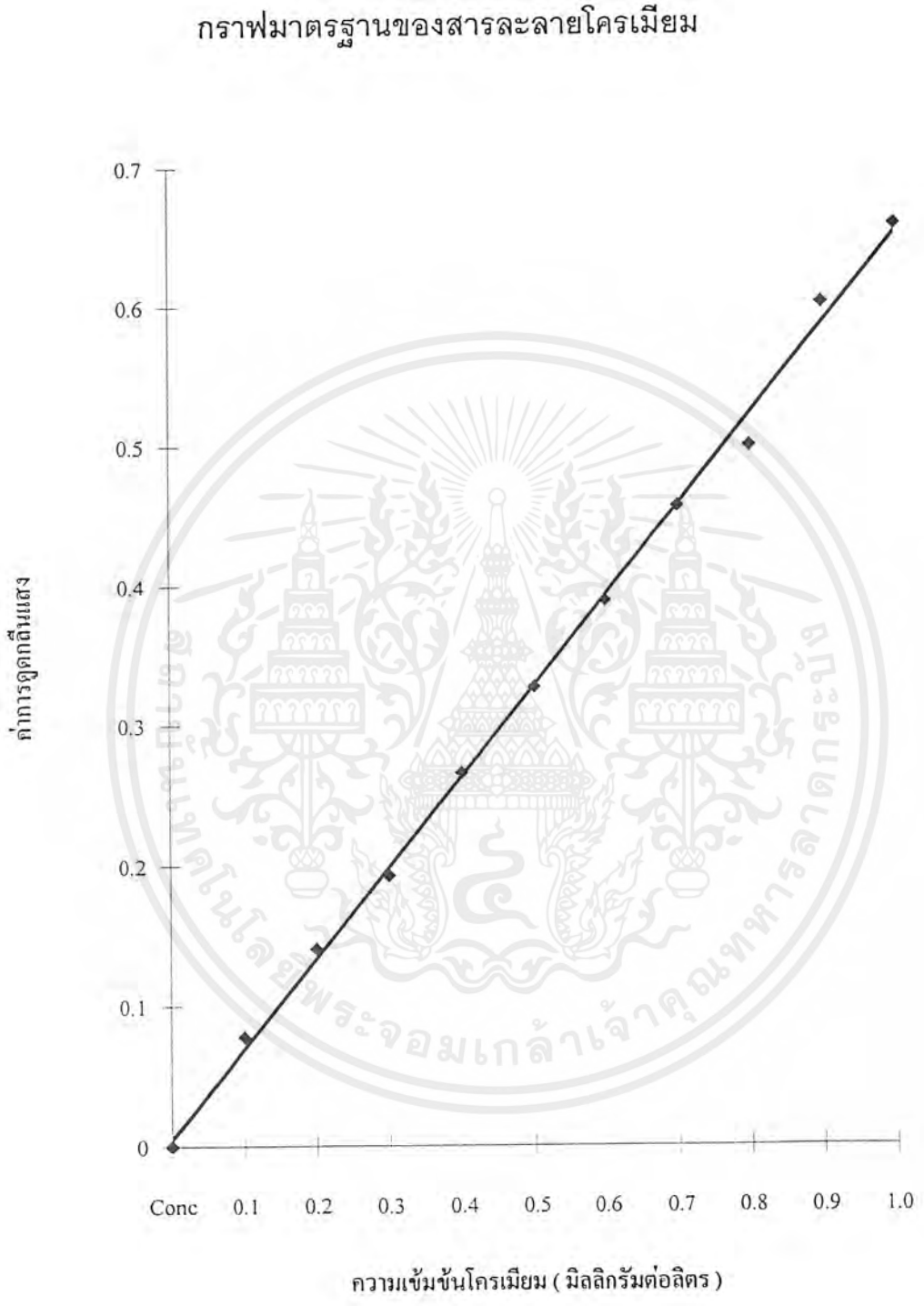
(2) ปิเปตส่วนใสมา 5 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และปรับ pH เป็น 1 ± 0.3

(3) เติมสารละลาย diphenylcarbazide 2 มิลลิลิตร

(4) ตั้งทิ้งไว้ 5-10 นาที จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

(5) นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบหาค่าปริมาณโครเมียม (+6) โดยใช้กราฟมาตรฐาน จากนั้นนำค่าโครเมียมที่ได้คูณด้วยค่าการเจือจาง (20 เท่า) ก็จะได้เป็นปริมาณโครเมียมที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (+6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับได้โดยใช้ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) (F2.05, F4.00 และ F6.28 ตามลำดับ), ไคโตแซนขึ้นรูป (Chi) และไคโตแซนตรึงรูปที่มี *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (I2.05, I4.00 และ I6.28 ตามลำดับ)

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	Chi	F2.05	F4.00	F6.28	I2.05	I4.00	I6.28
2	8.88	1.40	3.60	2.24	7.70	11.12	10.46
	11.28	1.54	2.78	3.10	6.94	10.52	11.28
	5.96	0.36	2.92	3.02	7.30	11.56	11.08
4	6.92	1.44	3.40	3.72	9.06	12.36	11.54
	11.70	1.24	3.36	4.48	8.54	11.40	12.10
	10.22	1.34	2.38	4.20	9.02	11.90	12.56
6	11.70	2.00	4.58	5.58	9.04	11.42	12.10
	7.24	1.14	4.06	4.72	9.66	11.78	12.36
	10.74	1.92	4.08	4.62	8.86	11.98	12.44
8	7.52	3.42	4.58	6.38	9.54	12.58	12.72
	11.88	1.98	4.98	5.14	10.28	12.54	13.26
	11.38	1.40	5.00	5.50	10.16	12.12	13.16
10	11.54	1.88	5.06	5.66	10.62	12.56	12.78
	11.96	2.50	5.10	6.02	10.46	12.70	13.22
	8.04	5.10	1.70	6.32	10.08	12.36	13.28
12	11.90	1.86	5.98	6.84	10.70	12.68	13.28
	8.36	2.62	6.10	7.98	10.88	12.48	13.22
	12.20	3.00	5.52	7.16	10.36	12.50	13.08
16	12.40	0.94	5.16	7.78	11.76	13.10	13.32
	12.50	1.60	6.50	8.20	11.94	13.08	13.32
	9.00	4.44	5.54	7.50	12.06	13.16	13.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	Chi	F2.05	F4.00	F6.28	I2.05	I4.00	I6.28
20	13.10	6.44	9.30	10.70	12.78	13.32	13.32
	12.92	3.84	8.94	9.56	12.48	13.28	13.32
	12.16	3.44	9.94	9.88	12.76	13.20	13.32
24	13.32	5.54	8.18	11.00	13.32	13.32	13.32
	13.14	4.00	8.74	9.74	13.32	13.32	13.32
	13.16	5.06	8.36	9.94	13.32	13.32	13.32

ตารางที่ ข-2 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับได้โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายของโครเมียม (+6) 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	Chi 18	Chi 30	Chi 60	Imm 18	Imm 30	Imm 60
2	7.59	11.75	26.40	7.77	12.25	23.00
	10.17	12.15	34.10	11.37	11.90	24.80
	8.28	11.00	31.30	7.71	11.90	23.80
4	7.59	12.05	32.10	12.93	13.30	24.60
	7.59	12.55	26.60	10.62	15.35	25.50
	6.42	11.65	30.50	12.57	14.65	26.20
6	10.71	11.90	25.30	12.93	18.25	27.10
	10.29	10.90	23.00	11.34	15.00	25.00
	6.63	12.65	30.70	11.25	16.05	25.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	Chi 18	Chi 30	Chi 60	Imm 18	Imm 30	Imm 60
8	7.98	14.40	25.10	13.20	20.90	31.80
	11.04	17.65	27.60	14.37	18.95	27.60
	6.90	10.60	36.40	13.02	17.45	29.10
10	8.31	13.55	35.30	13.65	20.25	30.10
	8.52	14.80	28.70	14.79	24.60	30.40
	9.81	17.05	35.30	15.60	21.90	25.70
12	10.44	18.15	31.80	16.35	23.25	40.30
	13.05	15.40	41.20	16.86	24.85	33.00
	10.56	14.15	38.40	16.41	27.45	34.80
16	9.36	16.65	42.20	17.04	24.75	34.60
	13.44	15.45	40.40	16.89	26.45	41.90
	10.71	17.80	34.50	16.83	28.50	35.70
20	12.18	16.65	39.50	17.31	26.40	33.50
	11.28	17.00	39.50	17.04	28.40	42.30
	9.87	15.45	30.80	17.07	28.30	35.40
24	13.14	15.35	44.10	17.07	27.25	37.60
	11.19	18.30	43.00	17.58	29.05	36.40
	12.57	18.35	33.70	17.31	27.50	47.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 แสดงปริมาณโครเมียม (+6) ที่ถูกดูดซับได้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูปและ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม โดยมีความเป็นกรดด่างของสารละลายโครเมียม (+6) เท่ากับ 5, 7 และ 9

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	Chitosan			immobilized		
	pH 5	pH 7	pH 9	pH 5	pH 7	pH 9
2	12.65	11.30	9.35	13.85	13.20	11.75
	12.55	11.45	10.35	17.00	14.35	17.30
	15.05	11.55	10.10	8.35	15.60	17.30
4	15.30	10.75	13.20	11.95	16.40	21.30
	11.95	8.90	13.75	10.75	15.00	19.80
	13.35	10.70	12.65	7.45	17.40	18.00
6	12.65	10.95	17.15	17.95	18.70	17.55
	12.10	12.80	15.60	10.10	16.70	17.35
	16.40	12.10	16.20	13.10	17.50	20.55
8	19.35	14.10	19.65	12.00	20.05	22.50
	17.75	13.55	18.70	9.05	20.70	20.35
	28.75	11.85	19.15	13.05	22.85	20.20
10	13.20	12.80	21.50	13.00	24.20	21.95
	14.45	11.05	22.50	7.55	19.95	22.70
	17.50	13.50	21.95	12.60	21.20	23.55
12	16.35	15.75	24.65	11.00	24.20	23.70
	19.90	13.50	25.20	16.15	24.30	23.85
	16.55	14.75	24.40	15.55	26.85	24.45
16	19.90	14.90	26.60	10.20	27.60	25.85
	16.30	12.70	26.45	15.20	25.25	25.75
	14.50	15.05	26.85	16.45	23.35	25.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมงที่	ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับ(มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	Chitosan			immobilized		
	pH 5	pH 7	pH 9	pH 5	pH 7	pH 9
20	28.75	13.65	28.00	12.70	28.30	27.40
	18.45	16.45	28.20	16.50	27.40	27.60
	21.95	17.25	28.20	15.90	26.20	27.80
24	18.65	15.70	28.15	17.95	28.75	28.65
	20.75	18.10	28.75	19.25	27.60	28.75
	23.90	16.80	28.70	10.65	28.15	28.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด)

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม (+6) โดยใช้ไคโตแซนขึ้นรูป *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม และ *C. vulgaris* ปริมาณ 2.05, 4.00 และ 6.28 กรัม (เซลล์สด) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังนี้

ตารางที่ ค-1 แสดงการวิเคราะห์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

SV	DF	SS	MS	F
REP (R)	2	0.281667	0.140833	<1
TREATMENT	83	3784.409110	45.595290	61.79**
TIME (T)	11	1013.319205	92.119928	124.83**
CELL (C)	6	2397.136787	399.522798	541.41**
TxC	66	373.953117	5.665956	7.68**
ERROR	166	122.497267	0.737935	
TOTAL	251	3907.188043		

CV = 8.9%

** = significant at 1% level

ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง ดังนั้นสรุปได้ว่า มีชนิดของตัวดูดซับ, ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ และอิทธิพลร่วมของระยะเวลาและตัวดูดซับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการทดสอบรายคู่ โดยใช้วิธีของดันแคน (Ducan's Multiple Rank Test ; DMRT) ที่ df = 0.05 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 4.00 และ 6.28 กรัม แตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ดังนี้

chitosan	I2.05	I4.00	I6.28	F2.05	F4.00	F6.28
b	b	a	a	d	c	c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษรที่เหมือนกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

2. การเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ*C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังนี้

ตารางที่ ค-2 แสดงการวิเคราะห์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) 18, 30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

SV	DF	SS	MS	F
REP (R)	2	114.7705	57.3852	1.50 ns
TREATMENT	71	97169.6501	1368.5866	35.88 **
TIME (T)	11	68623.0829	6238.4621	163.55**
CONC (C)	5	19732.2253	3946.4451	103.46**
TxC	55	8814.3419	160.2608	4.20**
ERROR	142	5416.5801	38.1449	
TOTAL	215	102701.0007		

CV = 8.9%

** = significant at 1% level ; ns = non significant

ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง ดังนั้นสรุปได้ว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6), ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและอิทธิพลร่วมของระยะเวลา และความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม (+6) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการทดสอบรายคู่ โดยใช้วิธีของดันแคน (Ducan's Multiple Range Test) ที่ df = 0.05 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรแตกต่างจากตัวดูดซับชนิดอื่นๆ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้

C18	C30	C60	I18	I30	I60
b	b	b	a	a	b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษรที่เหมือนกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

3. การศึกษาพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป

จากการศึกษาพีเอชที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัมและไคโตแซนขึ้นรูป นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังนี้

ตารางที่ ค-3 แสดงการวิเคราะห์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่พีเอช 5, 7 และ 9

SV	DF	SS	MS	F
REP (R)	2	6.556273	3.278137	<1
TREATMENT	71	8196.615370	115.445287	20.54**
TIME (T)	11	4655.189259	423.199024	75.31**
pH (P)	5	2593.569120	518.713824	92.31**
TxC	55	947.856991	17.233763	3.07**
ERROR	142	797.962060	5.619451	
TOTAL	215	9001.133704		

CV = 11.7%

** = significant at 1% level

ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากตาราง ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าของพีเอช, ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและอิทธิพลร่วมของระยะเวลา และค่าพีเอชของโครเมียม (+6) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการทดสอบรายคู่โดยใช้วิธีของดันแคน (Ducan's Multiple Rank Test) ที่ df = 0.05 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า *C. vulgaris* ตรึงรูปด้วยไคโตแซนที่มีปริมาณ *C. vulgaris* 6.28 กรัม สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ที่พีเอชเท่ากับ 7, 9 และไคโตแซนขึ้นรูปที่พีเอชเท่ากับ 9 แตกต่างจากตัวดูดซับอื่นๆ ดังนี้

C5	C7	C9	I5	I7	I9
b	c	a	c	a	a

ตัวอักษรที่เหมือนกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์โดยวิธี DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้