

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้โซเดียมอัลจินเตตรึงรูปสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี
ทองแดง และ นิกเกิล



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เลขที่.....
เลขทะเบียน 47296
วัน, เดือน, ปี 27 ส.ย. 2546

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Absorption Cromium Zinc Copper and Nickle by *Chlorella* sp. A 0505 Immobilized
with Sodium alginate



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bacherlor of Science
Department of Applied Biology
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การใช้โซเดียมอัลจิเนตตรึงรูปสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505

ในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล

นักศึกษา

นายกฤษณะ เพ็ชรมุ่งสัมพันธ์

นายจิระภาคย์ แดงอินทวัฒน์

นางสาวชนิกานต์ ทศนกุลวงศ์

ภาควิชา

ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.วีณา ชูโชติ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.นवलพรรณ ณ ระนอง	
กรรมการ	ผศ.วีณา ชูโชติ	
กรรมการ	ผศ.ดวงใจ โอชัยกุล	



(รศ.ดร.นवलพรรณ ณ ระนอง)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การใช้ไซโตเดียมอัลจินเตตรังรูปสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ในการดูดซับ โครเมียม, สังกะสี, ทองแดง และ นิกเกิล	
นักศึกษา	นายกฤษณะ	เพ็ชรมั่งส้มพันธ์
	นายจิระภาคย์	แดงอินทวัฒน์
	นางสาวชนิกานต์	ทัศนกุลวงศ์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ	
ปีการศึกษา	2545	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วีณา ชูโชติ	

บทคัดย่อ

การศึกษาศักยภาพในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล โดยใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรังรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินเตตและ สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินเตตพบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินเตต สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุดที่พีเอช 7 อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล เป็น 12.4, 2.13, 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ก็สามารถดูดซับได้ 93.88, 73.26, 89.42 และ 79.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับในเวลา 15 นาที สำหรับโครเมียม ทองแดงและนิกเกิล และเวลา 105 นาที สำหรับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	The Absorption Cromium Zinc Copper and Nickle by <i>Chlorella</i> sp. A 0505 Immobilized with Sodium alginate	
Name	Mr. Karitsana	Punemungsumpun
	Mr. Jirapak	Dangintawat
	Miss Chanikarn	Tasanakunwong
Department	Applied Biology	
Program	Biotechnology	
Academic Year	2003	
Special Project Advisor	Asst.Prof.Weena Choochote	



ABSTRACT

Studies on the ability of chromium, zinc, copper and nickle absorption by living *Chlorella* sp. A 0505 immobilized with sodium alginate and dried *Chlorella* sp. A 0505 immobilized with sodium alginate. The best efficiency of heavy metal absorption was obtained from dried *Chlorella* sp. A 0505 immobilized with sodium alginate pH 7.0, flow rate 0.5 ml/min, and the initial concentration of chromium, zinc, copper and nickle were 12.4, 2.13, 0.7 and 0.5 respectively. The absorption were 93.88, 73.26, 89.42 and 79.84 respectively within 15 min for chromium, copper and nickle and within 105 min for zinc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.วีณา ชูโชติ และอาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการทำโครงการพิเศษ และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการพิเศษนี้ รวมถึงประธานกรรมการสอบและคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อนึ่งคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณ คุณวิทยา เขียวเงิน คุณประเสริฐวิทย์ แพงคำ ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ เจ้าหน้าที่ธุรการ รวมทั้งพี่มัลลฤดี กิจเจริญวัฒนา พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษา รุ่นน้องภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ และผู้มีอุปการะคุณที่มีโอกาสล่วงนามไว้ครบถ้วนอีกหลายท่านที่ได้ช่วยเหลือ ทั้งกำลังใจ กำลังใจ กำลังใจ ซึ่งส่งผลให้โครงการพิเศษนี้ดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายกฤษณะ

เพ็ญมั่งสัมพันธ์

นายจิระภาคย์

แดงอินทวัฒน์

นางสาวชนิกานต์

ทัศนกุลวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา	4
2.1.1 โครเมียม	4
2.1.2 สังกะสี	5
2.1.3 ทองแดง	5
2.1.4 นิกเกิล	5
2.2 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักของวัสดุชีวมวล	5
2.2.1 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่มีชีวิต	6
2.2.2 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่ไม่มีชีวิต	6
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะหนัก	8
2.3.1 ผลของอุณหภูมิ	8
2.3.2 ผลความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโลหะหนัก	8
2.3.3 ผลของเซลล์มีชีวิตและเซลล์ไม่มีชีวิต	9
2.3.4 ผลของไอออนโลหะชนิดอื่นที่อยู่ร่วมกัน	9
2.4 คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะ	10
2.5 กระบวนการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีต่างๆ	12
2.7 สาหร่าย <i>Chlorella vulgaris</i>	12
2.7.1 ลักษณะทั่วไปของ <i>Chlorella vulgaris</i>	13
2.7.2 โซเดียมอัลจิเนต	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	15
3.1 เชื้อจุลินทรีย์	15
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง	15
3.4 การเพิ่มปริมาณสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505	16
3.5 การเตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและขึ้นรูปโซเดียมอัลจิเนต	17
3.6 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	22
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ระหว่างเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต และเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	22
4.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล ของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	24
4.3 ผลของอัตราการใช้ไฮดรอกไซด์ต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล ของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	27
4.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ต่อการดูดซับโลหะหนัก ของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลและข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อสาหร่าย	41
ภาคผนวก ข ปริมาณโลหะหนักที่ถูกปล่อยจากโรงงานชุบโลหะ และมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	43
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลอง	48
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางสถิติ	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ข-1 แสดงปริมาณโลหะหนักที่ถูกปล่อยจากโรงงานชุบโลหะ	13
ข-2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	14
ค-1 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลโดย (เปอร์เซ็นต์)สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล เริ่มต้น 12.4 2.13 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 6.28 กรัม น้ำหนักเซลล์สด ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	49
ค-2 ผลของเซลล์แห้งต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดงและนิกเกิลโดย (เปอร์เซ็นต์) สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล เริ่มต้น 12.4 2.13 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำแห้ง พีเอช 5.0 ที่อัตราการ ไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	50
ค-3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียมโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่าย เริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งพีเอช 5.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	51
ค-4 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสังกะสีโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่าย เริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	52
ค-5 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่าย เริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็น เวลา 8 ชั่วโมง	53
ค-6 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่าย เริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-7 ผลของอัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับโครเมียมโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	55
ค-8 ผลของอัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับสังกะสีโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	56
ค-9 ผลของอัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับทองแดงโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	57
ค-10 ผลของอัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับนิกเกิลโดย สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	58
ค-11 ผลของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิกรัมต่ออนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	59
ค-12 ผลของความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อัตราความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิกรัมต่ออนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค-13 ผลของความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อุณหภูมิและความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น 0.7 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	61
ค-14 ผลของความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับนิกเกิล โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ภายใต้อุณหภูมิและความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง	62
ง-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล โดยใช้เซลล์สาหร่ายสด <i>Chlorella</i> sp. A 0505 6.28 กรัม น้ำหนักสดตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	64
ง-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล โดยใช้สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	65
ง-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียม โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	66
ง-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชต่อการดูดซับสังกะสี โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	67
ง-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชต่อการดูดซับทองแดง โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	68
ง-6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิล โดย เซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วย โซเดียมอัลจิเนต	69
ง-7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียม โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	70
ง-8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับสังกะสี โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูป ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับทองแดงโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	72
ง-10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	73
ง-11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	74
ง-12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น สังกะสี เริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับสังกะสี โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	75
ง-13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น ทองแดงเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	76
ง-14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น นิกเกิลเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิล โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	13
2.2	14
3.1	16
3.2	17
3.3	18
3.4	19
3.5	20
4.1	23
4.2	26
4.3	26
4.4	26
4.5	27
4.6	28
4.7	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่อการดูดซับทองแดงโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	29
4.9 ผลของอัตราการไหลที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	30
4.10 ผลของความเข้มข้น โครเมียมเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับโครเมียม โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	31
4.11 ผลของความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับสังกะสี โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	32
4.12 ผลของความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	32
4.13 ผลของความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิล โดยเซลล์สาหร่ายแห้ง <i>Chlorella</i> sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ

การพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ผ่านมาได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันการขยายตัวของอุตสาหกรรมสามารถก็ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ถ้าขาดการป้องกันและควบคุมมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ปัญหามลพิษทางดิน น้ำและอากาศ มลพิษเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคน รวมทั้งคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป โดยเฉพาะปัญหาการเสื่อมสภาพของน้ำ ของเสียที่เป็นอันตรายมีได้หลายลักษณะ เช่น อยู่ในรูปน้ำมัน ก๊าซสารอินทรีย์เหลว ตะกอนสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ตะกอนโลหะอื่น ๆ ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่น้ำทิ้งมีปริมาณโลหะหนักเป็นจำนวนมาก เช่น โรงงานชุบโลหะรวมทั้งโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โรงงานฟอกย้อมสีและทอผ้า โรงงานฟอกหนังสัตว์ โรงงานผลิตเชื้อกระดาษ โรงงานผลิตสารเคมี โรงงานทำสี โรงงานแบตเตอรี่และถ่านไฟฉายในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีโลหะหนักปะปนมาด้วยนั้น อาจทำได้หลายวิธี ซึ่งต้องพิจารณาคุณลักษณะของน้ำทิ้งนั้นๆ ในการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหรือทางเคมีของโลหะหนักที่ปนอยู่ในน้ำทิ้ง ให้มีปริมาณลดลง หมดความเป็นพิษหรือมีความเป็นพิษน้อยลง หรืออยู่ในลักษณะที่ไม่สามารถแสดงความเป็นพิษออกมาได้ เพื่อสะดวกต่อการกำจัดทำลายในขั้นต่อไป การบำบัดของเสียอันตรายเหล่านี้ทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้เตาเผา การทำให้เป็นก้อน การใช้สารเคมี หรือแม้แต่การใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการขจัดโลหะหนัก โดยนำเอาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ มาทำการดูดซับโลหะหนัก เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และสาหร่าย (รพีพร, 2542)

วิธีการบำบัดเพื่อลดปริมาณโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในน้ำทิ้งในโรงงานก่อนที่จะทำการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งวิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ วิธีที่นิยมใช้จะเป็นวิธีทางเคมีแต่จะเป็นสิ่งที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งมีปริมาณที่ไม่สูงนักก็จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาวิธีทางชีวภาพมาใช้ในการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำทิ้งแทน การดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีทางชีวภาพในทางธรรมชาติเกิดจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การดูดซับโดยผนังเซลล์ การตกตะกอนภายนอกเซลล์โดยสารเมตาบอไลต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์สร้างขึ้น การส่งผ่านเข้าสู่เซลล์โดยการเมแทบอลิซึมของเซลล์ และการดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่เซลล์สร้างขึ้น เป็นต้น (Brierley, 1990) ปัจจุบันจึงมีการศึกษาการเป็นไปได้ในการนำจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดแหล่งน้ำธรรมชาติที่ปนเปื้อนโลหะหนักและน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งข้อดีของการใช้จุลินทรีย์เพื่อดูดซับโลหะหนัก เช่น การบำบัดทางชีวภาพที่เลียนแบบธรรมชาติ ไม่มีจุดอึดตัวในการดูดซับเนื่องจากเซลล์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดเวลา การกำจัดโดยใช้เอนไซม์จากเซลล์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประหยัดกว่าการบำบัดโดยใช้สารเคมี ซึ่งมีขั้นตอนมากมาย และอาจเกิดปัญหาสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม และเป็นการปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ ที่ทนต่อพิษของโลหะหนักโดยวิธีธรรมชาติ นอกจากนี้ในการดูดซับโลหะหนักอาจใช้จุลินทรีย์มากกว่าหนึ่งชนิดในการบำบัด เพื่อเป็นการกระตุ้นการดูดซับโลหะหนักให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (Brierley, 1990) การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์เป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทยวิธีนี้กำลังได้รับความนิยมและศึกษาค้นคว้าวิจัยในหลายประเทศ การใช้จุลินทรีย์ดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลโดยใช้ไซโตเดียมอัลจินตตรึงรูปสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 โดยการนำเอาไซโตเดียมอัลจินตซึ่งมีคุณสมบัติในการตรึงเซลล์และเอนไซม์ที่สามารถดูดซับโลหะหนักได้ และยังสามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินต *Chlorella* sp. A 0505
2. เพื่อศึกษาค่าพีเอชของสารละลายโลหะหนัก อัตราการไหล ความเข้มข้นเริ่มต้นของปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิด ได้แก่ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยไซโตเดียมอัลจินต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาหาความเข้มข้นที่ดีที่สุดของการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

ขั้นที่ 2 คัดเลือกสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม ทองแดง สังกะสี และนิกเกิลได้ดีที่สุด

ขั้นที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล จากสาหร่ายที่คัดเลือกไว้

ขั้นที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูล สรุป และจัดทำรายงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต
2. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา

ความเป็นพิษของโลหะหนักเกิดจากกระบวนการรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ โดยกระบวนการที่สำคัญที่สุดคือ การรบกวนการทำงานของระบบเอนไซม์ โลหะหนักที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง เช่น ทองแดง ปรอท และเงิน จะยึดจับกลุ่ม อะมิโน, อิมิโน, ซัลไฟดริล ของเอนไซม์ และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีหมู่เหล่านี้เป็นองค์ประกอบสำคัญ กลไกที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ โลหะหนักบางชนิด เช่น แคดเมียม ทอง ทองแดง ปรอท และ ตะกั่ว สามารถยึดจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้คุณสมบัติการเป็นตัวกั้น และตัวควบคุมในการลำเลียงสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบของโลหะหนักต่อมนุษย์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 โครเมียม

แหล่งที่มา โครเมียมเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโลหะผสม ทำให้โลหะผสมมีความแข็งแรงเหนียว และทนทาน ป้องกันไม่ให้เกิดสนิมทนต่อการผุกร่อน ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงาม นอกจากนี้สารประกอบของโครเมียมยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมฟอกหนัง การขอมลีสัตว์ ไหม และหนังสัตว์ได้อีกด้วย

ความเป็นพิษ โครเมียมหรือสารประกอบโครเมียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นและควันซึ่งฝุ่นควันเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น ทางจมูก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิกซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ที่บริเวณจมูก และจะทำอันตรายต่อกระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูก มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ และเมื่อเข้าสู่ปอดก็จะทำให้เกิดโรคมะเร็งในปอดได้ทางผิวหนัง ผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับโครเมียม จะได้รับฝุ่นละอองหรือควันของโครเมียมซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้ อันตรายจากการรับประทานอาหารซึ่งได้รับผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร อาจมีความบกพร่องของระบบย่อยอาหารร่วมด้วย ทางตา ทำให้ตาเกิดบาดแผล

มาตรฐานน้ำทิ้ง Cr (6+) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Cr (3+) ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศิริวิทย์, 2541)

2.1.2 สังกะสี

แหล่งที่มา โรงงานชุบโลหะ และโรงงานย้อมผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษ มีผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง ตะคริว มีผลต่อระบบการเจริญเติบโต ทำให้เกิดอาการแคระแกรน ร่างกายไม่เจริญเติบโต มาตรฐานน้ำทิ้ง ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีที่ยอมให้มีได้ในน้ำที่ระบายออกจากโรงงาน อุตสาหกรรม ต้องไม่เกิน 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซีรวิทย์, 2541)

2.1.3 ทองแดง

แหล่งที่มา โรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตโลหะผสมอัลลอยด์ โรงงานทำถ่านไฟฉายและโรงงานเชื่อมโลหะ เป็นต้น

ความเป็นพิษ ถ้าร่างกายได้รับมากๆ อาจทำให้เป็นโรคโลหิตจางได้ แต่ถ้าร่างกายขาดสารชนิดนี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างกระดูก การสืบพันธุ์ การสร้างเยื่อเกี่ยวพันกับการทำงานของหัวใจ การสร้างเม็ดโลหิต

มาตรฐานน้ำทิ้ง ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงที่ยอมให้มีได้ในน้ำที่ระบายออกจากโรงงาน อุตสาหกรรม ต้องไม่เกิน 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซีรวิทย์, 2541)

2.1.4 นิกเกิล

แหล่งที่มา โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำกระป๋อง โรงงานผลิตอัลลอยด์

ความเป็นพิษ โดยทั่วไปจะไม่ถูกดูดซึมผ่านทางเดินอาหาร เป็นสารชักนำให้เกิดโรคมะเร็งในช่องจมูก โพรงจมูก และปอด จะยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ เมื่อเข้าสู่ร่างกายนิกเกิลส่วนใหญ่จะไปสะสมตาม กระดูกสันหลัง สมอง ปอด และหัวใจ พิษแบบเฉียบพลันจะทำให้มีอาการปวดหัว มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ปวด และแน่นหน้าอก ไอแห้งๆ หายใจขาดช่วง ตัวเขียวเพราะขาดออกซิเจน อ่อนเพลียมาก มีเลือดออกในปอด

มาตรฐานน้ำทิ้ง ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลที่ยอมให้มีได้ในน้ำที่ระบายออกจากโรงงาน อุตสาหกรรม ต้องไม่เกิน 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซีรวิทย์, 2541)

2.2 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักของวัสดุชีวมวล

Biosorption หมายถึง การดูดซับไอออนโลหะมาไว้ที่ผนังเซลล์หรือภายในเซลล์ของวัสดุของแข็งที่ได้จากธรรมชาติ

การดูดซับไอออนโลหะหนักของจุลินทรีย์ไม่ได้เกิดเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งแต่ มักเกิดจากหลายกระบวนการร่วมกัน สามารถแบ่งออกเป็นการสะสมไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ที่ไม่มีชีวิต ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่มีชีวิต

กระบวนการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่มีชีวิตจะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนแรก เป็นการดูดซับโลหะที่ไม่ขึ้นกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ (Metabolism Independent Accumulation) สามารถเกิดได้ทั้งเซลล์มีชีวิต เซลล์ตาย รวมถึงเศษเซลล์การดูดซับโลหะในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่นาทีที่บริเวณผิวเซลล์ โดยการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะ (Ion Exchange) ที่บริเวณหมู่เคมีต่างๆ เช่น คาร์บอกซิล (Carboxyl) เอมีน (Amine) ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ฯลฯ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ในรา โดยอาจมีกระบวนการอื่นๆ รวมด้วย เช่น การตกตะกอนด้วยสาร อนินทรีย์ (Inorganic Precipitation) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation) การดูดซับทางกายภาพ (Adsorption) เป็นต้น

ขั้นตอนสอง เป็นการสะสมโลหะที่อาศัยพลังงาน จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ (Metabolism Dependent Accumulation) ซึ่งเกิดขึ้นได้ช้ากว่าขั้นตอนแรก ซึ่งอัตราการนำโลหะเข้าสู่ในเซลล์เป็นผลมาจากสภาพทางกายภาพของเซลล์องค์ประกอบของสารอาหาร โลหะที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต จากการศึกษาของ Crist; et. al. (1992) พบว่าสาหร่ายทะเลมีการดูดซับไอออนโลหะหนักในขั้นตอนแรกที่บริเวณผิวเซลล์ภายในเวลาไม่ถึง 4 วินาที แล้วจึงมีการนำพาไอออนโลหะเข้าไปในเซลล์อย่างช้าๆ ในขั้นตอนที่สองซึ่งใช้เวลานานกว่า 2 ชั่วโมงกระบวนการสะสมโลหะหนักในขั้นตอนนี้ได้แก่ การนำพาสารแบบแอกทีฟ (Active Transport) การนำสารทางชีวภาพแบบกระบวนการแอกทีฟนี้ส่วนมากมีการนำเอาพลังงานจำนวนมากนี้มาจากกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งได้แก่พลังงานควบคุมจากกระบวนการหายใจหรือการหมัก แต่การนำเอาพลังงานควบคุมมาใช้นั้น ไม่ได้เกิดจากการนำเอาพลังงานควบคุมมาใช้โดยตรงแต่จะมีขั้นตอนมัธยันตร์ (Intermediate Steps) อย่างมากมายที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านพลังงาน ปฏิกิริยาหรือกระบวนการที่ใช้พลังงานควบคุมเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารละลาย โดยทั่วไปจะได้จากแหล่งพลังงานฟอสเฟต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของกระบวนการเมแทบอลิซึม (ธีรวิทย์, 2541)

2.2.2 กลไกการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่ไม่มีชีวิต

กระบวนการดูดซับไอออนโลหะหนักโดยเซลล์ที่ไม่มีชีวิต จะเกิดขึ้นเฉพาะขั้นตอนแรกเท่านั้น แบคทีเรียที่ไม่มีชีวิตสามารถดูดซับโลหะหนักได้ด้วยหมู่เคมีต่างๆ ที่บริเวณผนังเซลล์จากงานวิจัยของ Beveridge (1989) พบว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus subtilis* ประกอบด้วยกลุ่มสายใยเปปไทโดไกลแคน (Peptidoglycan) ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในช่องว่างของกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปปทิโดไกลแคนจะมีกรดไทคูอิก (Teichoic) และกรดไทคูโรนิก (Teichuronic) ซึ่งหมู่ฟอสโฟไดเอสเทอร์ (Phosphodiester) ของกรดไทคูอิก และหมู่คาร์บอกซิลของไทคูโรนิก เป็นส่วนที่สามารถจับโลหะหนักได้ ส่วนผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วยกลุ่มเปปทิโดไกลแคนบางๆ ซึ่งมีไลพอพอลิแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide) เป็นเยื่ออยู่ด้านนอกอีกที่ หมู่ฟอสฟอริล (Phosphoryl) ของสายใยไลพอพอลิแซคคาไรด์สามารถจับโลหะได้ และดีกว่าเนื้อเยื่อชั้นนอก และหมู่คาร์บอกซิลิกบนสายใยเปปทิโดไกลแคนของ *E. coli* ได้ดี

สาหร่ายทะเลหลายชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายสีน้ำตาลมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้สูง กระบวนการดูดซับไอออนโลหะหนักของสาหร่ายที่ไม่มีชีวิตเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนในส่วนของหมู่คาร์บอกซิลของกรดพวกยูโรนิก (Uronic) เช่น กาแลคตูโรนิก (Galacturonic) กลูคูโรนิก (Glucuronic) แมนนูโรนิก (Mannuronic) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างของสาหร่าย นอกจากนี้ หมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ (Sulfate Esters) ในเซลล์ลิวลิวแซคคาไรด์ (Cellular Polysaccharides) ก็สามารถจับกับโลหะได้ดีอีกด้วย จากงานวิจัยของ Nishida; et. al. (1990) ที่ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของสาหร่ายสีน้ำตาลสายพันธุ์ *Fucoidan* พบว่ามีหมู่ $O-SO_3^-$ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ C2 หรือ/และ C3 ในหน่วย α -1,4-Linked L-Fucopyranosyl นอกจากนี้ยังพบหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ในอีก 21 สายพันธุ์ พบว่ามีหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ C2 หรือ C3 หรือ C6 ของหน่วย 1,3 และ 1,4-D,L-Linked Galactosyl (หรือที่ C2 หรือ C6 ในพวกที่เป็น λ -Carrageensn) ส่วนงานวิจัยของ Chapman (1978) พบว่ามีหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ที่คาร์บอนตำแหน่ง C2 และ C6 ของ β -1,3-Galactan ในสาหร่าย *Chlorophyta taylori* สามารถจับไอออนโลหะหนักได้

ยีสต์และราที่ไม่มีชีวิตสามารถดูดซับโลหะหนักได้เช่นเดียวกับแบคทีเรียและสาหร่าย จากการศึกษาของ Brady; et. al. (1994) ทดสอบการดูดซับโลหะโดยกลูแคน แมนแนน และไคติน ที่ได้จากการสกัดจากผนังเซลล์ยีสต์ พบว่ากลูแคนสามารถดูดซับโลหะแคดเมียม ทองแดง และโคบอลต์ ได้ในปริมาณ 0.35 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม แมนแนนดูดซับทองแดงได้ 1.1 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ดูดซับโคบอลต์ และแคดเมียมได้ 0.4 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ส่วนไคตินดูดซับทองแดง โคบอลต์ และแคดเมียมได้ 0.6, 0.4 และ 0.5 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่ง Rapport and Muter (1995) พบว่าที่ผิวของ *Saccharomyces cerevisiae* สามารถจับไอออนประจุบวกได้ดีนั้นเกิดจากการจับตัวของโปรตีนกับแมนแนน นอกจากนั้นยังพบอีกว่าโปรตีนที่ยีสต์ผลิตขึ้นมา เช่น Cysteine-Rich และ Glutamyl Peptide สามารถจับกับแคดเมียมได้ดีอีกด้วย (ธีรวิทย์, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะหนัก

2.3.1. ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์จุลินทรีย์และยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบชีวเคมี เช่น เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีนเนื่องจากความร้อน ซึ่งอาจทำให้ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเปลี่ยนไป

การศึกษาของนักวิจัยหลายท่านสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักจากสารละลายของจุลินทรีย์บางชนิดเท่านั้น เช่น การดูดซับยูเรเนียม โมลิบดีนัม แคลเซียม แมงกานีส โดยสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว *Chlorella regularis* ทั้งเซลล์มีชีวิตและเซลล์ตายจะไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตั้งแต่ 0 ถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วน Gipps and Collier (1982) พบว่าการสะสมแคลเซียมใน *Chlorella pyrenoidosa* ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมากกว่าที่ 4 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการศึกษาของ Skowronski (1986 a,b) พบว่าการดูดซับแคลเซียมโดย *Stichococcus bacillaris* ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพบว่า ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เซลล์มีชีวิตจะมีชีวิตจะถูกยับยั้งการส่งผ่านแคลเซียมเข้าไปในเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์ และการสะสมแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่กรณีที่เซลล์ตาย อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ

2.3.2 ผลความเป็นกรด-ด่างของสารละลายโลหะหนัก

Nakajima; et. al. (1979) ศึกษาผลของพีเอช ต่อการสะสมแมงกานีส โดยเปรียบเทียบระหว่างเซลล์มีชีวิตและเซลล์ที่ทำให้ตายโดยใช้ความร้อน ที่พีเอชของสารละลายโลหะในช่วง 3 ถึง 7 พบว่าที่พีเอช 3 มีการสะสมแมงกานีสในปริมาณที่น้อยมากทั้งในเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ตาย แต่เมื่อพีเอชสูงขึ้น การสะสมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่พีเอช 7 เซลล์มีชีวิตและเซลล์ตายจะสะสมแมงกานีสได้ดีที่สุด แต่เซลล์ตายจะสะสมแมงกานีสได้ในปริมาณที่มากกว่าเซลล์มีชีวิต ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของผิวเซลล์เปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการทำให้เซลล์ตาย ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Skowronski (1986 a,b) ศึกษาผลของ พีเอชต่อการสะสมแคลเซียมใน *Stichococcus bacillaris* โดยศึกษาที่พีเอช 4 6 และ 7 ตามลำดับพบว่าที่พีเอช 7 เซลล์มีการสะสมแคลเซียมได้มากที่สุด ถ้าพีเอชสูงกว่านี้แคลเซียมจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ และ Failla; et. al. (1976) ได้ศึกษาการสะสมสังกะสีโดย *Candida utilis* ที่พีเอช 4.8 5.6 6.6 และ 7.3 ตามลำดับ พบว่าการสะสมสังกะสีเกิดได้ดีที่ พีเอช 5.6 แต่ที่พีเอช 6.6 และ 7.3 สังกะสีจะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนต ที่ไม่ละลายน้ำเซลล์จึงสะสมสังกะสีได้น้อยมาก ทั้งนี้ Zhou (1999) ได้อธิบายว่าที่ พีเอชต่ำ จะเกิดการจับกันระหว่างไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) กับจุดกัมมันต์ที่เป็นประจุลบบริเวณผิวเซลล์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งไฮโดรเนียมไอออนนี้จะส่งแรงผลักไม่ให้โลหะหนักเข้ามาจับกับจุดกัมมันต์ที่เป็นประจุลบบริเวณผิวเซลล์ จึงทำให้โลหะหนักถูกจับได้น้อยลงซึ่งผลของแรงผลักนี้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง ผลกระทบจากพีเอช อาจอธิบายในรูปความสัมพันธ์กับหมู่อะมิโนของไคตินหรือไคโตซาน จากราได้ดังนี้



สมการข้างบนเป็นฟังก์ชันของพีเอช กล่าวคือที่พีเอชต่ำจะมีปริมาณ H_3O^+ มากกว่าโลหะไอออน ซึ่ง H_3O^+ จะเข้าไปจับกับจุดกัมมันต์ของไคตินหรือไคโตซานและปล่อยให้ไอออนโลหะหนักไม่เกิดพันธะยังอยู่ในสารละลาย ผลของพีเอชจะจำกัด เมื่อพีเอช สูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของสารประกอบโลหะหนัก

2.3.3 ผลของเซลล์มีชีวิตและเซลล์ไม่มีชีวิต

การสะสมโลหะหนักของเซลล์มีชีวิตเกิดจากกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ทางเคมี (Physico-Chemical Adsorption) และชีวภาพ ส่วนการสะสมโลหะหนักของเซลล์ไม่มีชีวิต เกิดจากกระบวนการทางกายภาพ ทางเคมีเพียงอย่างเดียว แต่การจะเปรียบเทียบการสะสมโลหะหนักระหว่างเซลล์มีชีวิตกับเซลล์ไม่มีชีวิตนั้นต้องพิจารณาถึงชนิดของเซลล์ กระบวนการทำให้เซลล์ตายด้วยการศึกษาของ Horikochi; et. al. (1979) Nakagima; et. al. (1979) และ Sakaguchi; et. al. (1981 a,b) พบว่าเซลล์ *Chlorella* ที่ถูกฆ่าด้วยความร้อน สามารถดูดซับโลหะแมงกานีส แคดเมียม ยูเรเนียม และโมลิบดีนัมได้ในปริมาณที่มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต ซึ่งสอดคล้องกับ Skowronski (1986 a,b) ที่พบว่า *Stichococcus bacillaris* ที่ถูกฆ่าด้วยความร้อน สามารถดูดซับแคดเมียมได้ในปริมาณที่มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต ความแตกต่างของการดูดซับระหว่างเซลล์มีชีวิตกับเซลล์ตาย อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของผิวเซลล์จุลินทรีย์ ในขณะที่เซลล์ถูกทำให้เซลล์ตายด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้สารเคมี การใช้ความร้อนและการใช้รังสี เป็นต้น

2.3.4 ผลของไอออนโลหะชนิดอื่นที่อยู่ร่วมกัน

การดูดซับไอออนโลหะหนักในสารละลายที่มีของไอออนโลหะหนักตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่อยู่ร่วมกัน อาจแสดงผลในทางเสริมฤทธิ์ (Synergistic) หรือยับยั้งฤทธิ์ (Antagonistic) ซึ่งผลส่วนใหญ่เป็นการยับยั้งฤทธิ์ (สามารถดูดซับได้น้อยกว่าโลหะเพียงชนิดเดียว) ซึ่งเกิดจากการแข่งขันกับจับกับจุดกัมมันต์ที่ผิวเซลล์ หรือการลำเลียงผ่านเยื่อเมมเบรนของไอออนโลหะหนัก (Gipps and Coller, 1982 อ้างถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Ting and Teo, 1994) ศึกษาการสะสมไอออนโลหะแคดเมียมโดย *Chlorella pyrenoidosa* ในสารละลายที่มีไอออนของเหล็ก แคดเซียม แมงกานีส และสังกะสี พบว่าไอออนของเหล็กจะจับกับแคดเมียมแล้วเกิดการตกตะกอน ซึ่งทำให้ลดความเป็นพิษของแคดเมียมลงได้ ส่วนไอออนของแคดเซียมและไอออนแคดเมียม มีขนาดใกล้เคียงกันจึงเกิดการแข่งขันกันจับกับจุดกัมมันต์ที่ผิวเซลล์ ทำให้ลดความเป็นพิษของแคดเมียมได้ ส่วนไอออนของแมงกานีสจะช่วยเพิ่มความเป็นพิษของแคดเมียมเล็กน้อยเท่านั้น และจากการศึกษาของ Norris and Persson (1977) ศึกษาผลกระทบของไอออนสังกะสี นิกเกิล แมกนีเซียม แมงกานีสและแคดเซียมที่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียมและโครเมียม ของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าไอออนของสังกะสี นิกเกิล และแมงกานีส จะยับยั้งการดูดซับโคบอลต์ ส่วนไอออนของแคดเซียมและแมงกานีส จะยับยั้งการดูดซับ โลหะแคดเมียม ซึ่งการยับยั้งการดูดซับโคบอลต์และแคดเมียมนี้มีผลจากไอออนโลหะที่มีขนาดใกล้เคียงกับโคบอลต์และแคดเมียม จะไปแย่งจับกับจุดกัมมันต์ที่ผิวเซลล์ ส่วนการศึกษาของ Ting and Teo (1994) ที่ ศึกษาการใช้ยีสต์เป็นตัวดูดซับ แคดเมียม (2+), สังกะสี (2+) ในสถานะที่มี สังกะสี (2+) ไม่มีผลต่อการดูดซับ แคดเมียม (2+) และการลำเลียงเข้าสู่เซลล์ เนื่องจากไอออนโลหะทั้งสองจับกับหมู่เคมีบนผนังเซลล์ยีสต์ที่ต่างกัน โดย แคดเมียม (2+) จับกับหมู่เคมีพวก Sulfur Donor ขณะที่ สังกะสี (2+) ชอบจับกับหมู่เคมีที่เป็นพวก Oxygen / Nitrogen Donor นอกจากนี้ แคดเมียม (2+) และสังกะสี (2+) ต่างมีความสัมพันธ์ต่อพื้นที่ผิวเซลล์ได้ต่างกัน (ธีรวิทย์, 2541)

2.4 คุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการกำจัดโลหะ

จุลินทรีย์ที่สามารถดูดซับ โลหะหนัก ได้มีหลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ ราและสาหร่าย โดยสามารถดูดซับ โลหะหนักออกจากสารละลายได้ แม้ว่าปริมาณความเข้มข้นของ โลหะหนักในสารละลายจะน้อยมาก จุลินทรีย์ที่นำมาอาจอยู่ในรูปของเซลล์ที่มีชีวิตหรือเป็นเซลล์ที่ตายแล้วก็ได้ จุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในการดูดซับ โลหะหนักได้นั้น ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 2.4.1 สามารถทนต่อความเป็นพิษของโลหะหนักในสารละลายได้
- 2.4.2 สามารถดูดซับโลหะหนักออกจากสารละลายได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง
- 2.4.3 สามารถเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพได้ง่าย และรวดเร็ว โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อย และควรนำกลับมาดูดซับได้ใหม่หลังจากผ่านการดูดซับแล้ว
- 2.4.4 การแยกจุลินทรีย์ดูดซับออกจากสารละลายควรจะแยกได้ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 กระบวนการที่ใช้ในการทำให้จุลินทรีย์ดูดซับปล่อยโลหะออกมาควรทำได้ง่าย รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการควรหาได้ง่าย ราคาถูก

2.4.6 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับ ควรดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด (ธีรวิทย์, 2541)

2.5 กระบวนการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

กลไกการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ ถ้าเป็นเซลล์ที่ตายแล้วส่วนมากจะเกิดที่ผนังเซลล์โดยเกิดปฏิกิริยากับหมู่ต่างๆ (Functional Group) ที่ผนังเซลล์ แต่ถ้าเป็นเซลล์ที่มีชีวิตจะมีการนำสารเข้าสู่เซลล์ (Solute-Transport Process) ร่วมด้วยและจะเข้าสู่กระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ต่างๆ ภายในเซลล์ กระบวนการนำสารเข้าสู่เซลล์มี 4 วิธีคือ

2.5.1 การนำพาสารแบบพาสซีฟ (Passive Transport)

เป็นการนำพาสารโดยไม่อาศัยพลังงาน โมเลกุลของสารจะผ่านเมมเบรน โดยอาศัยแรงขับเคลื่อน (Conjugate Driving Force) โดยที่การนำพาของสารจะสิ้นสุดลงเมื่อถึงจุดสมดุล (ความแตกต่างของแรงขับเคลื่อนทั้งสองด้านของเยื่อเมมเบรนเป็นศูนย์)

2.5.2 การนำพาสารแบบแพร่ (Facilitated Diffusion)

เป็นการนำพาสารโดยอาศัยตัวพาหะจำเพาะ (Specific Carrier) ซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่ อยู่ที่เยื่อเมมเบรน ซึ่งจะทำหน้าที่คอยจับโมเลกุลของสารละลาย แล้วเคลื่อนผ่านเยื่อเมมเบรนโดยอาศัยแรงขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของสารละลายระหว่างเยื่อเมมเบรน โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่วนตัวพาหะจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสาร โดยไม่มีผลต่อจุดสมดุลสุดท้ายที่เกิดขึ้น

2.5.3 การนำพาแบบแอกทีฟ (Active Transport)

เป็นการนำพาสารโดยอาศัยตัวพาหะจำเพาะ แต่การนำพาสารจะมีพลังงานเป็นแรงขับเคลื่อน โมเลกุลของสารถูกละลายจะไม่มีเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างที่มีการนำพาสารจากข้างหนึ่งของเยื่อเมมเบรนไปอีกข้างหนึ่ง การเคลื่อนที่ของสารอาศัยแรงขับเคลื่อนจากภายนอก จะเป็นผลทำให้สารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง พลังงานที่ใช้ในการนำพาสารจะเป็นพลังงานที่ได้มาจากเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การนำพาสารแบบการเคลื่อนย้ายหมู่ (Group-Transport)

เกิดการนำพาสารโดยอาศัยตัวพาหะจำเพาะเป็นตัวนำพาสารเข้าไปในเซลล์จุลินทรีย์ โดยสารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างที่เกิดกระบวนการนำพาสารโดยโมเลกุลตัวพาหะจะแสดงพฤติกรรมคล้ายกับเอนไซม์ที่เป็นตัวเร่ง โดยมีสารถูกละลายเป็นสับเสตรท (ธีรวิทย์, 2541)

2.6 การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีต่างๆ

2.6.1 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) ใช้กับสารที่มีปริมาณไม่มาก มีราคาแพง และประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดของ เรซิน (Resin) ที่ใช้ และสารเจือปนละลาย

2.6.2 ตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate : BaCO_3) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate : CaCO_3) และ โซดาไฟตะกอนจะนำไปกลบหรือฝัง

2.6.3 การออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) การออกซิเดชัน (Oxidation) จะใช้สารเคมีเติมออกซิเจนลงไป สารเคมีที่ใช้เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate : KMnO_4) โอโซน (O_3) โครเมต ไฮโปคลอไรท์ ฯลฯ และการรีดักชัน (Reduction) ใช้สารเคมีนำออกซิเจนออกมา สารเคมีที่ใช้ เช่น SO_2 โซเดียมไบซัลไฟด์ และ เฟอร์รัสซัลเฟต (ธีรวิทย์, 2541)

2.7 สาหร่าย *Chlorella vulgaris*

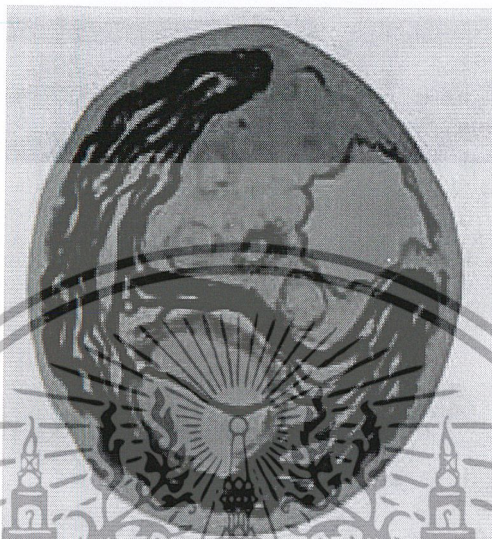
ปัจจุบันนี้ประเทศไทยได้มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. เป็นการค้าโดยใช้เทคนิคแบบ Open Culture หรือ Solar Culture ซึ่งใช้แสงอาทิตย์และเพาะเลี้ยงในระบบเปิดและอีกแบบ คือแบบ Close Culture หรือ Axenic Culture ซึ่งเพาะเลี้ยงในถังปิดที่ไม่มีการให้อากาศและแสงอาทิตย์โดยใช้อาร์เซนิกเป็นสารให้พลังงานแทน โดยสามารถเพาะเลี้ยงได้ในทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม (สมภพ, 2539) สาหร่าย *Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวที่ถูกนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพเป็นชนิดแรก ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ ค.ศ 1960 โดยผลิตเป็นสินค้าในรูปแบบเม็ดหรือผงเช่นเดียวกับสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ราคาขายส่งประมาณกิโลกรัมละ 100 ดอลลาร์สหรัฐ นอกจากนี้ยังมีการใช้สาหร่าย *C. vulgaris* เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพในแหล่งน้ำได้อีกด้วย (ทวี, 2540)

2.7.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *C. vulgaris*

C. vulgaris เป็นสาหร่ายเซลล์เดี่ยว อยู่ในดิวิชันคลอโรไฟตา (division chlorophyta) เซลล์มีลักษณะคล้าย *Chlorococcum* เคลื่อนที่ไม่ได้ เซลล์มีรูปร่างกลมหรือรูปร่างรี ขนาด 2-10 ไมโครเมตร มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรพลาสต์ 2 เม็ด โค้งชิดกับผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์อาจมีรูปร่างแบนด้วย หรือแบบโค้งไปตามผนังเซลล์ ตามปกติจะไม่มีไพรีนอยด์ และสติกมา (ปาจารย์, และคณะ 2540) ดังแสดงในรูป(2.2)



รูปที่ 2.1 สาหร่ายสีเขียว *C. vulgaris* (ที่มา: www.soest.hawaii.edu/seagrant/makai/augaa/3.html)

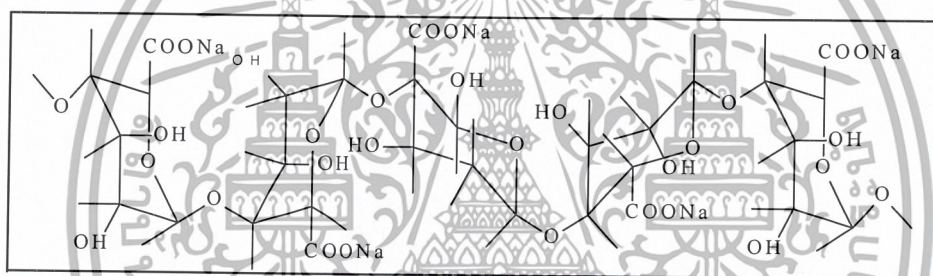
สาหร่าย *C. vulgaris* มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างออโตสปอร์ (Autospore) ภายในเซลล์แม่ ออโตสปอร์จะมีจำนวนเป็น 2, 4, 8 หรือ 16 สปอร์ (เป็นแบบทวิคูณ) แต่ละสปอร์จะมีลักษณะเหมือนเซลล์แม่ทุกประการ บางครั้งจะเรียกสปอร์เหล่านี้ว่า อะพลาโนสปอร์ (Aplanospore) เมื่อออโตสปอร์หลุดออกจากเซลล์แม่จะเจริญไปเป็น สาหร่าย *C. vulgaris* เซลล์ใหม่ที่มีจำนวนโครโมโซมเพียง 1 ชุด (Haploid) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย *Chlorella* sp. คือ อุณหภูมิ แสงสว่าง พีเอช ความชื้นและสารอาหารโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp มักจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิห้อง ความเข้มแสงที่ทดลองแล้วพบว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายโดยให้อัตราการเจริญถึง 13.85×10^6 เซลล์ คือ 2,400 ลักซ์ และพีเอช 6.8 (ปาจารย์ และคณะ 2540)

2.7.2 โขเดียมอัลจินเต

สำหรับพาหะที่ใช้ในการตรึงเซลล์สาหร่าย *Chlorella* คือใช้โขเดียมอัลจินเต เนื่องจากโขเดียมอัลจินเตเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันจำนวนมากที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันต่างๆ บนผนัง เซลล์ได้ ซึ่งส่วนมากได้แก่ หมู่อะมิโน คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล อัลจินเตเป็นพาหะที่ดักจับเซลล์ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสะดวก จึงเป็นพหุหน้าที่นิยมใช้กันมาก เมื่อพิจารณาจากจำนวนงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่จะเห็นได้ว่า อัลจินตเป็น โพลีเมอร์ธรรมชาติที่นิยมใช้กันมากที่สุด จากโครงสร้างจะเห็นว่าประกอบด้วหมู่คาร์บอกซิล ในแต่ละหน่วยย่อยซึ่งจะไปจับยึดกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น Ca_2^+ , Ba_2^+ , Cu_2^+ , Al_3^+ เป็นต้น ทำให้ได้เจลที่มีความเสถียรและสามารถตรึงเซลล์โดยวิธีดักจับได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรงเป็นผล ทำให้ เซลล์ส่วนมากไม่ตาย ลักษณะรูปร่างของเม็ดเจลที่ได้จะเป็นเม็ดกลม โดยเม็ดเจลจะแข็งตัวได้เนื่องจาก Ca_2^+ ไปแทนที่โซเดียมไอออน ของโซเดียมอัลจินต ความแข็งของเม็ดเจลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของเจล นอกจากนี้อัตราส่วนของ Mannuronic Acid และ Glururonic Acid ก็จะมีผลต่อความเสถียรของเจลด้วยโดยถ้ามี Glururonic Acid มากก็จะทำให้ได้เจลที่มีความเสถียรสูง โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมอัลจินต (ชนิกานต์, 2545) (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างลักษณะทางเคมีของโซเดียมอัลจินต (ที่มา: ชนิกานต์, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เชื้อจุลินทรีย์

3.1.1 สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 จากห้องปฏิบัติการสาหร่ายภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 โซเดียมอัลจินต

3.2.2 โซเดียมคลอไรด์

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

3.3.1 เครื่องแก้วต่างๆ

3.3.2 เครื่องเขย่า(shaker: innova 2000)

3.3.3 เครื่องหมุนเหวี่ยง(centrifuge: SANYO : falcon 6/300)

3.3.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง(pH meter : HM-7E)

3.3.5 หม้อนึ่งความดันไอ(autoclave: LMS : VS-1321-60)

3.3.6 เดซิเคเตอร์(desicator)

3.3.8 ตู้ปลอดเชื้อ(laminar air flow:FASTER : Bio 48)

3.3.9 เข็มฉีดยาปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius Analytic : DR/ 14000 V)

3.3.11 คอลัมน์(สูง 14 เซนติเมตร และ กว้าง 1 เซนติเมตร)

3.3.12 magnetic stirrer และ magnetic bar

3.3.13 เครื่อง varisatatic pump(PUMP drive : PD 5201)

3.3.14 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(Atomic Absorption Spectrophotometer : Avanta)

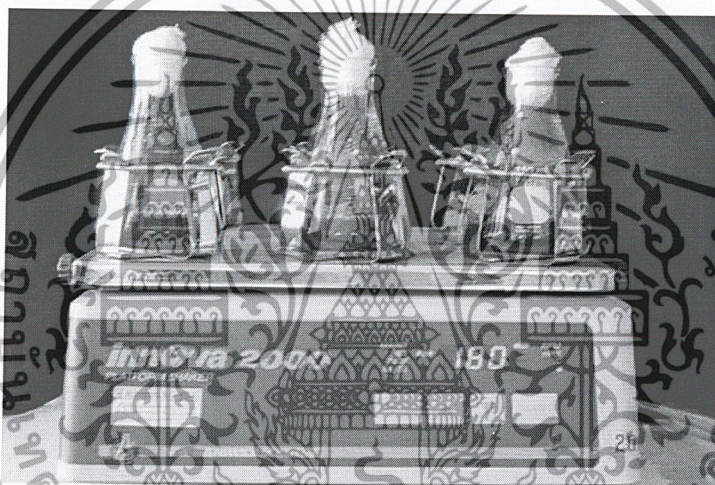
3.3.15 หลอดเลี้ยงสาหร่ายแบบให้อากาศ

3.3.16 กล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

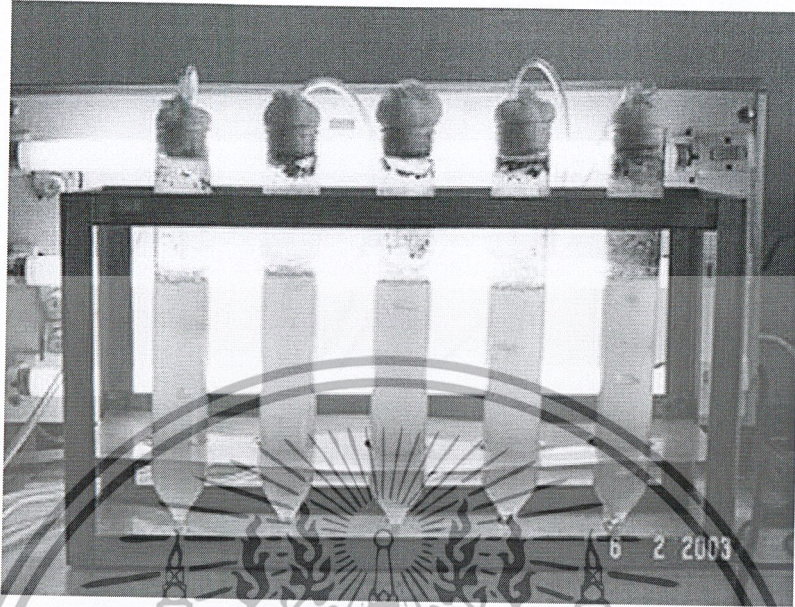
3.4 การเพิ่มปริมาณเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505

การจัดการเจริญของหัวเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ที่จะนำมาเพิ่มปริมาณ โดยใช้วิธีนับเซลล์ใน Haemocytometer ซึ่งเป็นสไลด์สำหรับนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก ให้มีจำนวนเซลล์ประมาณ 1.68×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร นำหัวเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหาร N-8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำพลาสติกทั้งหมดไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาทีโดยให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์(รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที โดยให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์)

เพิ่มปริมาณสาหร่าย จากพลาสติกไปเลี้ยงในหลอดเลี้ยงสาหร่ายแบบให้อากาศ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร มีอาหารสูตร N-8 ปริมาตร 190 มิลลิลิตรต่อหัวเชื้อสาหร่าย 10 มิลลิลิตร ให้อากาศ และแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์(รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ในหลอดเลี้ยงสาหร่ายแบบให้อากาศ

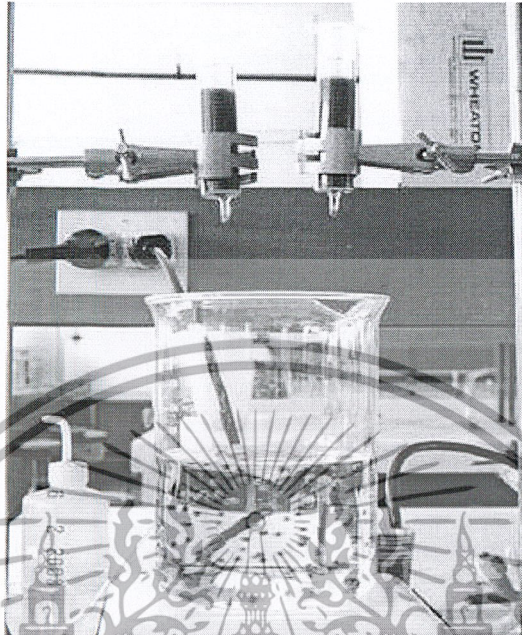
3.5 การเตรียมสารละลายไซโตเดียมอัลจินเตและการขึ้นรูปไซโตเดียมอัลจินต

3.5.1 เตรียมสารละลายไซโตเดียมอัลจินเต

โดยชั่งไซโตเดียมอัลจินเต 1 กรัม ในน้ำ DI (Deionization) ปริมาตร 99 มิลลิลิตร และกวนด้วย Manetic Sterror ตลอดเวลาจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3.5.2 การขึ้นรูปไซโตเดียมอัลจินเต

เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 โมล โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ 14.7 กรัม ละลายในน้ำ DI 1 ลิตร นำสารละลายไซโตเดียมอัลจินเตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.1 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในเข็มฉีดยาปริมาตร 25 มิลลิลิตรแล้วนำไปหยดลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายไซโตเดียมคลอไรด์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร และกวนด้วย Manetic Stirror ตลอดเวลา (รูปที่ 3.3) ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดไซโตเดียมอัลจินเตมีความคงตัวดีขึ้นและปรับสภาพให้เป็นกลางโดยใช้น้ำ DI ล้าง 2 ครั้ง (Yamauchi ; et. al. 1994)



รูปที่ 3.3 การขึ้นรูปโซเดียมอัลจินต

3.6 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก

3.6.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ระหว่างเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต และ เซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายสำหรับการทดลองโดยนำสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ทั้งหมดที่เลี้ยงไว้ในข้อ 3.4 นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันเซลล์แตก จากนั้นเทส่วนที่ใสทิ้งไป ล้างเซลล์ที่เหลืออยู่ด้วยน้ำกลั่นที่ทำการฆ่าเชื้อแล้ว และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเทส่วนใสทิ้ง ล้างเซลล์ซ้ำอีกครั้งโดยใช้วิธีเดิม และเทน้ำส่วนใสทิ้งไป เซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ที่ได้ใส่ในงานที่รองกันด้วยกระดาษกรอง

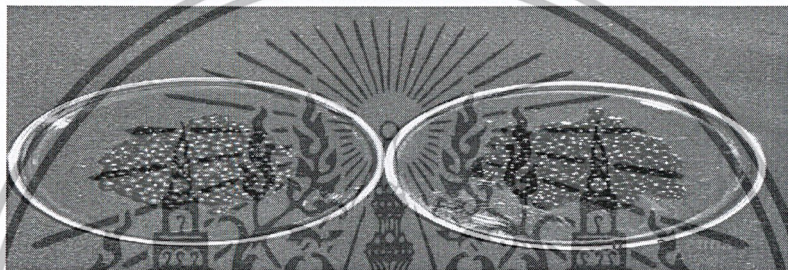
3.6.1.1 ตักเซลล์ที่ได้ใส่ในกระถงที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว นำกระถงพร้อมเซลล์สาหร่ายไปชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ลบออกจากน้ำหนักกระถง ก็จะได้น้ำหนักของเซลล์สาหร่ายสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1.2 นำกระทงพร้อมเซลล์สาหร่ายไปอบแห้งในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์ แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง น้ำค่าที่ได้ลบออกจากน้ำหนักของกระทง ก็จะได้น้ำหนักของเซลล์สาหร่ายแห้ง

3.6.1.3 นำน้ำหนักเซลล์สาหร่ายสดและเซลล์สาหร่ายแห้งที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักเซลล์สาหร่ายสดต่อเซลล์สาหร่ายแห้ง

ผลที่ได้ : น้ำหนักเซลล์สาหร่ายสด 6.28 กรัม = น้ำหนักเซลล์สาหร่ายแห้ง 1.5 กรัม



(A) (B)

รูปที่ 3.4 (A) เซลล์แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

(B) เซลล์สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

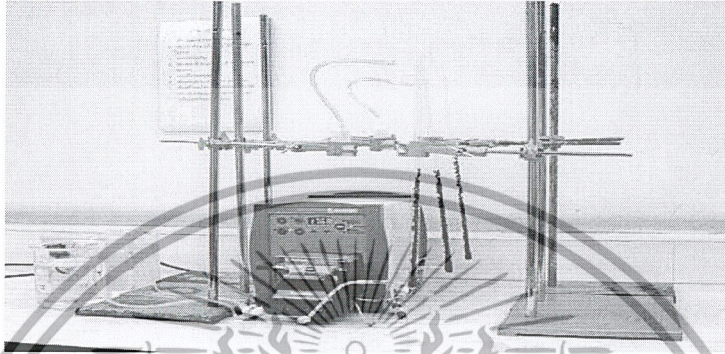
3.6.1.4 เตรียมสาหร่ายที่จะใช้ในการตรึงรูปกับโซเดียมอัลจิเนต โดยชั่งเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สด ที่เตรียมไว้สำหรับทดลองให้ได้น้ำหนัก 6.28 กรัม น้ำหนักสด จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2 (รูปที่ 3.4)

3.6.1.5 เตรียมสาหร่ายที่จะใช้ในการตรึงรูปกับโซเดียมอัลจิเนต โดยชั่งเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งที่เตรียมไว้สำหรับทดลองให้ได้น้ำหนัก 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.5.2 (รูปที่ 3.4)

3.6.1.6 นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตในข้อ 3.6.1.4 และเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตในข้อ 3.6.1.5 ไปใส่คอลัมน์ โดยเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักผสมเป็นโครเมียม 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร สังกะสี 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร นิกเกิล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร พีเอช 5.0 ในบีกเกอร์ แล้วนำคอลัมน์ทั้งหมดไปต่อกับเครื่องปั๊ม โดยมีอัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที และให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 สารละลายโลหะหนักผสมในคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที และให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา

3.6.1.7 เก็บตัวอย่างจากคอลัมน์ ตามเวลาที่กำหนด ทุก 15 นาที คือ 0 15 30 45 และ 60 นาทีตามลำดับ จนครบ 8 ชั่วโมง (การทดลองละ 3 ชั่วโมง) นำผลที่ได้มาวัดประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.6.2 การศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล ของเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักดีที่สุด จากการทดลองในข้อ 3.6.1 ไปใส่ในคอลัมน์ที่มีสารละลายโลหะหนักผสมที่พีเอช 5, 6 และ 7 โดยมีอัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงตลอดเวลาเก็บตัวอย่างจากคอลัมน์ ตามเวลาที่กำหนด ทุก 15 นาที คือ 0 15 30 45 และ 60 นาทีตามลำดับ จนครบ 8 ชั่วโมง (การทดลองละ 3 ชั่วโมง) นำผลที่ได้มาวัดประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ของเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักดีที่สุด จากการทดลองในข้อ 3.6.1 ไปใส่ในคอลัมน์ที่มีสารละลายโลหะหนักผสมที่พีเอชดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.6.2 โดยมีอัตราการไหล 0.5 0.6 และ 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงตลอดเวลาเก็บตัวอย่างจากคอลัมน์ ตามเวลาที่กำหนด ทุก 15 นาที คือ 0 15 30 45 และ 60 ตามลำดับ จนครบ 8 ชั่วโมง (การทดลองละ 3 ชั่วโมง) นำผลที่ได้มาวัดประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.6.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ต่อการดูดซับโลหะหนัก ของเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักดีที่สุด จากการทดลองในข้อ 3.6.1 ไปใส่ในคอลัมน์ที่มีสารละลายนิกเกิล ทองแดง สังกะสี และโครเมียม 0.5, 0.7, 2.13 และ 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับและคอลัมน์ที่มีสารละลายโลหะหนักผสมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอชดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.6.2 โดยมีอัตราการไหลที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.6.3 ที่อุณหภูมิห้อง โดยให้แสงตลอดเวลาเก็บตัวอย่างจากคอลัมน์ ตามเวลาที่กำหนด ทุก 15 นาที คือ 0 15 30 45 และ 60 ตามลำดับ จนครบ 8 ชั่วโมง (การทดลองละ 3 ชั่วโมง) นำผลที่ได้มาวัดประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

บทที่ 4

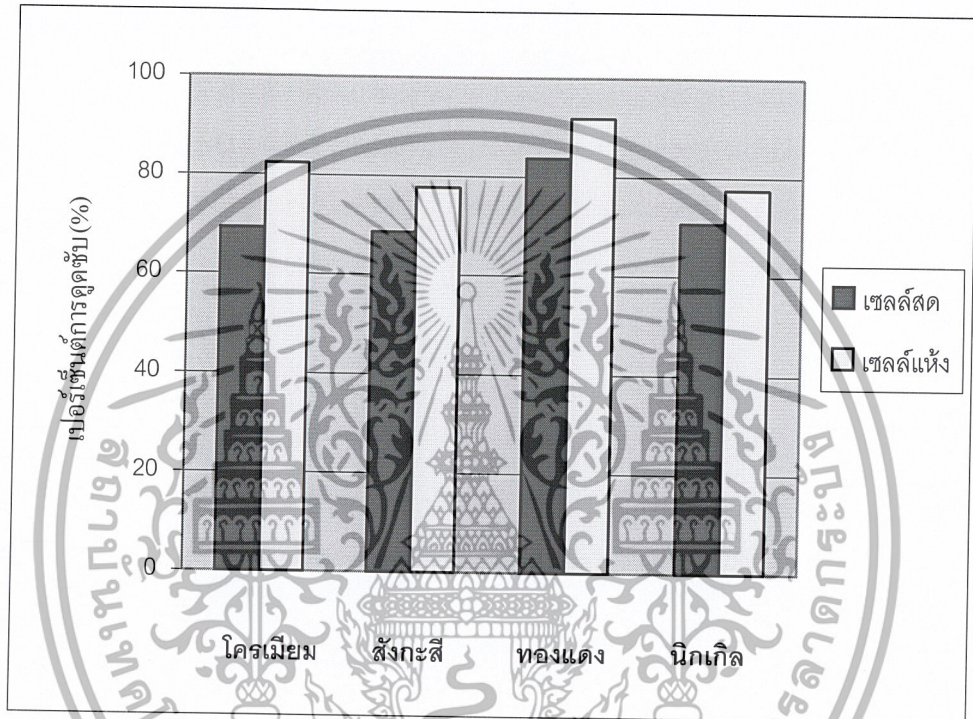
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักระหว่าง สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิลโดยใช้ สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 6.28 กรัม น้ำหนักสดและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มี ปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยใช้สารละลายโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิลที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 12.4, 2.13, 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พีเอช 5.0 และ ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีประสิทธิภาพในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิลได้ดีกว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต คือสามารถดูดซับได้ 83.95 77.74 92.95 และ 79.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Skowronski (1986 a,b) ที่พบว่า *Stichococcus bacillaris* ที่ถูกฆ่าด้วยความร้อน สามารถดูดซับ แคดเมียมได้ในปริมาณที่มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต ความแตกต่างของการดูดซับระหว่างเซลล์มีชีวิตกับ เซลล์ตาย อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทาง โครงสร้างของผิวเซลล์จุลินทรีย์ ในขณะที่เซลล์ถูก ทำให้เซลล์ตายด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้สารเคมี การใช้ความร้อนและการใช้รังสี เป็นต้น กระบวนการดูดซับ ไอออน โลหะหนักของสาหร่ายที่ไม่มีชีวิตเกิดจากการแลกเปลี่ยน ไอออนใน ส่วนของหมู่คาร์บอกซิลของกรดพวุกยูโรนิก (Uronic) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างของ สาหร่าย นอกจากนี้หมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ (Sulfate Esters) ในเซลล์ลาค์พอลิแซคคาไรด์ ก็สามารถจับ กับ โลหะได้อีกด้วย จากงานวิจัยของ Nishida; et. al. (1990) ที่ทำการศึกษาการดูดซับของสาหร่าย สีน้ำตาล *Fucoxanthin* พบว่ามีหมู่ $O-SO_3^-$ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ C_2 หรือ/และ C_3 ในหน่วย α -1,4-Linked L-Fucopyranosyl นอกจากนี้ยังพบว่ามีหมู่ซัลเฟตเอสเทอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ C_2 หรือ C_3 หรือ C_6 ของหน่วย 1,3 และ 1,4-D,L-Linked Galactosyl (หรือที่ C_2 หรือ C_6 ในพวกที่เป็น λ -Carrageensn) จากการศึกษาของ Brady; et. al. (1994) ที่ทดสอบการดูดซับ โลหะ โดยกลูแคน แมนแนนและไคติน ที่สกัดจากผนังเซลล์ยีสต์ พบว่ากลูแคนสามารถดูดซับ โลหะแคดเมียม ทองแดง และโคบอลต์ได้ในปริมาณ 0.35 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม แมนแนนดูดซับทองแดงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ดูดซับโคบอลต์ และแคดเมียมได้ 0.4 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ส่วน ไคตินดูดซับทองแดง โคบอลต์ และแคดเมียมได้ 0.6, 0.4 และ 0.5 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่ง Rapport and Muter (1995) พบว่า *Saccharomyces cerevisiae* สามารถจับไอออนประจุบวกได้ดีนั้นเกิดจากการจับตัวของโปรตีนกับเมานแนน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าโปรตีนที่ยีสต์ผลิตขึ้นมา เช่น Cysteine-Rich, Glutamyl Peptide สามารถจับกับแคดเมียมได้ดีอีกด้วย



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สด ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต และสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ Analysis of Varince และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับ โคโรเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ของตัวดูดซับแต่ละชนิด โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง เป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตในการเปรียบเทียบค่าพีเอช อัตราการไหลและความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

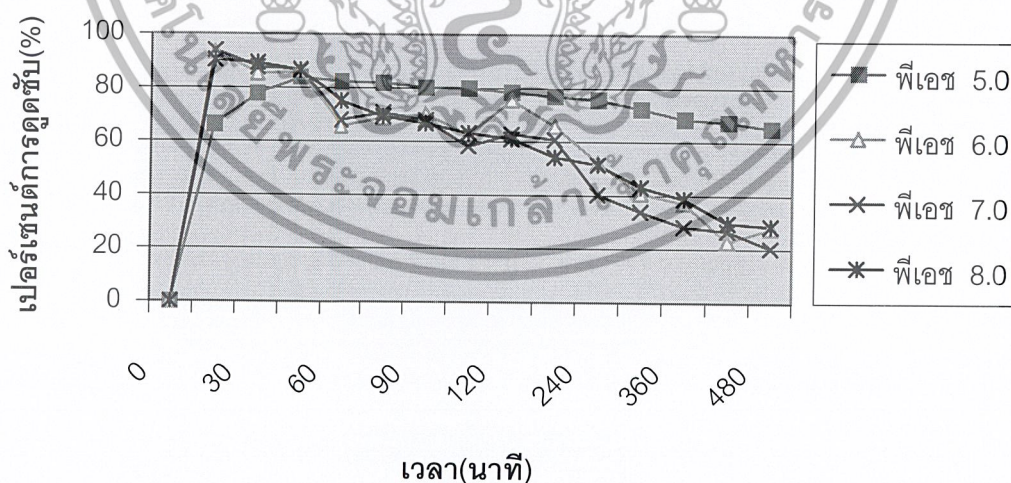
4.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ที่พีเอช 5.0 6.0 7.0 และ 8.0 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล ทองแดง สังกะสี และโครเมียมเท่ากับ 0.5 0.7 2.13 และ 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของสาหร่ายแห้งเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต สามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 คือ 93.88 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 และรองลงมาคือพีเอช 6.0 8.0 และ 5.0 สามารถดูดซับได้ 93.33 90.32 และ 83.95 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 15 และ 45 ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) การดูดซับสังกะสีได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 คือ 73.26 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 105 และรองลงมาคือพีเอช 6.0 5.0 และ 8.0 สามารถดูดซับได้ 69.27 67.15 และ 62.31 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 60 75 และ 75 ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) การดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 คือ 89.42 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 และรองลงมาคือพีเอช 6.0 8.0 และ 5.0 สามารถดูดซับได้ 88.28 86.65 และ 85.5 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 15 และ 30 ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) และการดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 คือ 79.84 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 และรองลงมาคือพีเอช 6.0 8.0 และ 5.0 สามารถดูดซับได้ 77.45 76.54 และ 72.38 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 15 และ 30 ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) เช่นเดียวกับการทดลองของ รัชยาภรณ์ และ พูนสุข (2540) ที่พบว่าค่าการดูดซับโลหะหนัก โดยแบคทีเรียที่พีเอชต่ำกว่า 2 จะน้อยมากหรือไม่เกิดการดูดซับเลย เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนจะแข่งขันกับโลหะหนัก ในการจับกับเซลล์ ส่วนค่าพีเอชที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนัก ในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ และค่าพีเอช ระหว่าง 4-8 เป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรียแทบทุกสายพันธุ์ Zhou (1999) รายงานว่าการดูดซับสังกะสีและทองแดงของเชื้อรา *Rhizopus arrhizae* จะเพิ่มขึ้นเมื่อ พีเอช เปลี่ยนจาก 4.0 เป็น 5.0 โดย Zhou อธิบายว่าที่ พีเอช ต่ำๆ ที่ผนังเซลล์จะมีลักษณะเป็นไฮโดรเนียมไอออน ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้ง การจับกันของโลหะและลิแกนด์ ทำให้เกิดแรงผลักซึ่งแรงผลักนี้จะแข็งแรงเมื่อ พีเอช ต่ำลง และเมื่อ พีเอช เพิ่มขึ้น ลิแกนด์จะเปลี่ยนเป็นประจุลบประกบกับแรงดึงไอออนของโลหะที่เป็นประจุบวกทำให้เกิดการดูดซับที่ผิวเซลล์ Geoffrey et. al. (1993) รายงานว่า การดูดซับ เซอร์โคเนียม (Zirconium) ของสาหร่ายสีเขียว (*Scenedesmus obliquus*, *Chlorella emersonii* และ *Chlorella reinhardtii*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Plectonema boryanum*, *Synechococcus* PCC 6301 และ *Synechosystis* PCC 6803) พบว่า พีเอชที่ลดลงจาก 6.0 เป็น 2.0 จะทำให้การดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

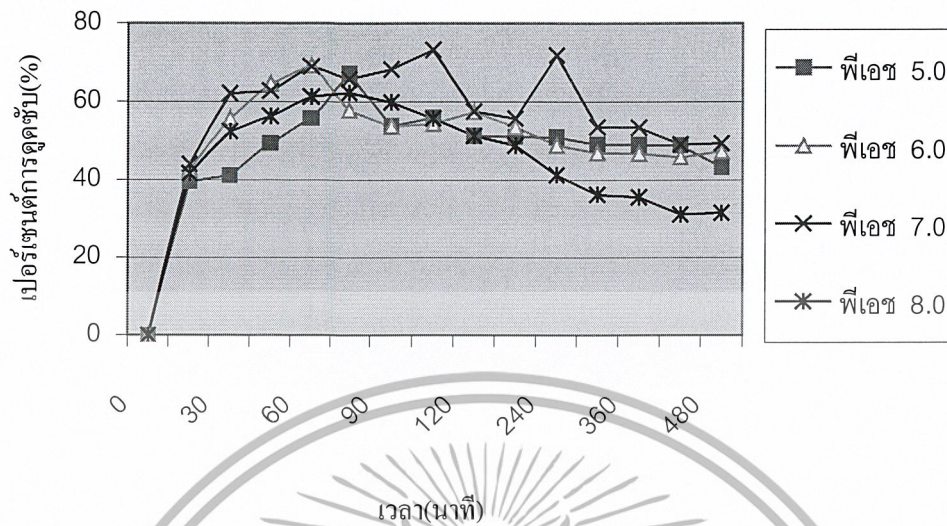
ซัพเซอโคเนียมลดลงด้วย Pilar and Garmen (1993) ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมของเซลล์ซึ่งตรึงด้วย Polyacrylamide Gel ของเชื้อยีสต์ *Pseudomonas strain* EPS 5028 ที่ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 2.0 เป็น 10.0 ค่าพีเอชที่ทำให้การดูดซับเกิดได้ดีที่สุด คือ พีเอช 6.0 Vankateswerlu and Stotzky (1989) รายงานว่า การจับกันของทองแดงและโคบอลต์กับผนังเซลล์ของเชื้อรา *Cunninghamella blankesleeana* จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นและพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการจับกันของเชื้อรากับทองแดง คือพีเอช 5.5 และโคบอลต์ คือพีเอช 8.0 Geoffrey; et. al. (1992) ศึกษาการดูดซับโคบอลต์ สังกะสี และแมงกานีสของสาหร่าย *Chlorella salina* ที่ถูกตรึงด้วยอัลจินเตพบว่า การดูดซับโครเมียมของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ตรึงด้วยไคโตแซนจะมีค่าสูงสุดที่พีเอช 7.0 โดยมีการดูดซับได้ 28.16 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 93.89 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Vandenabeele; et. al. (1995) ที่พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Nitromonas europaea* และ *Nitrobacter winogradskyie* มีการดูดซับแมงกานีสที่พีเอชที่เป็นกรด (6.8) ได้น้อยกว่าพีเอชที่เป็นเบส (7.7)

เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ Analysis of Varince และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล ที่มีค่าพีเอชแตกต่างกัน โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ที่พีเอช 7.0 เซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยไซเดียมอัลจินเตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่า พีเอชที่เป็นกรดและต่าง (พีเอช 5 6 และ 8) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

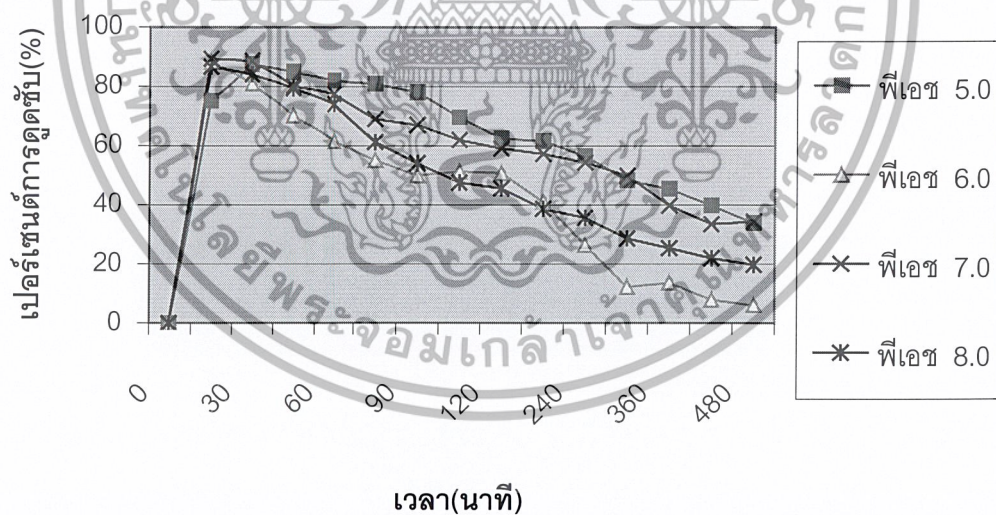


รูปที่ 4.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยไซเดียมอัลจินเต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

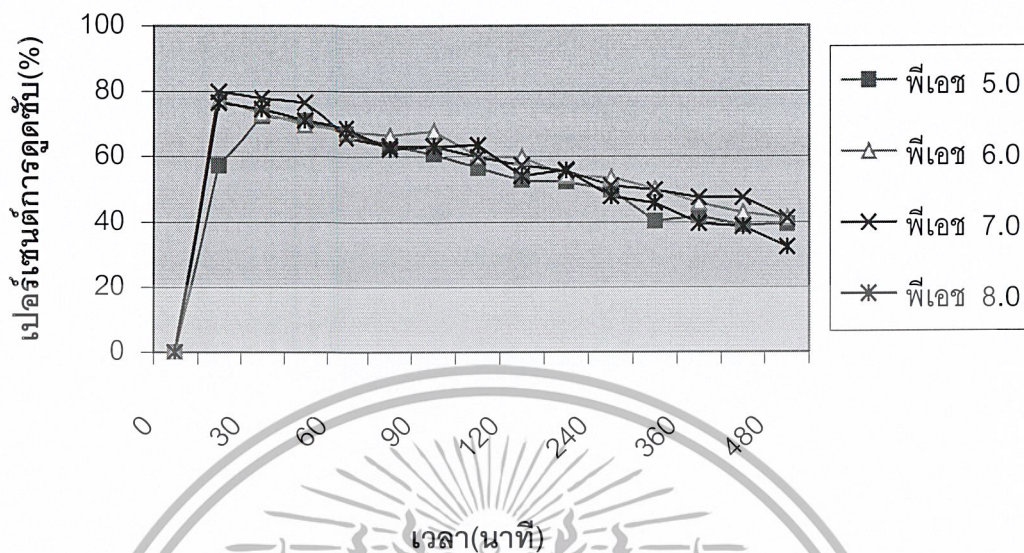


รูปที่ 4.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสังกะสี โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต



รูปที่ 4.4 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดง โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



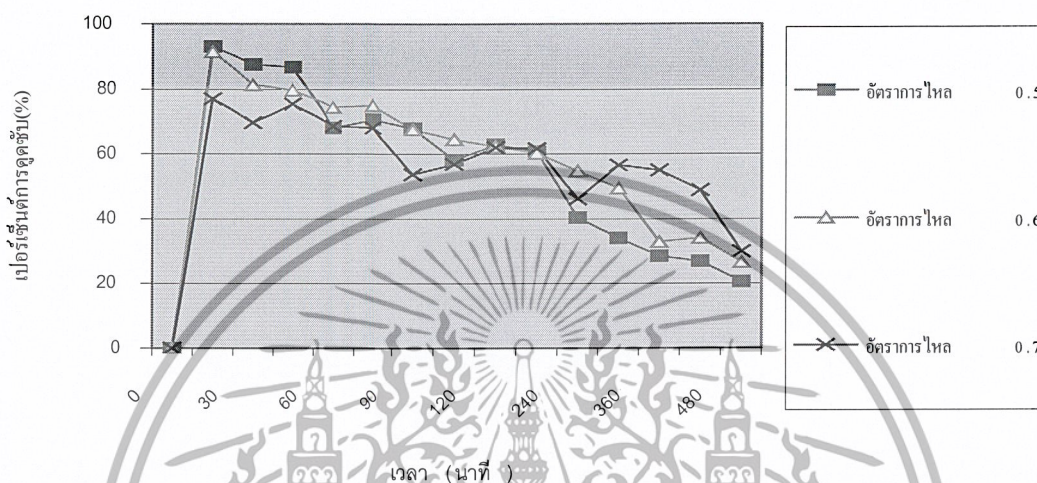
รูปที่ 4.5 ผลของพีไอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

4.3 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล ของเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

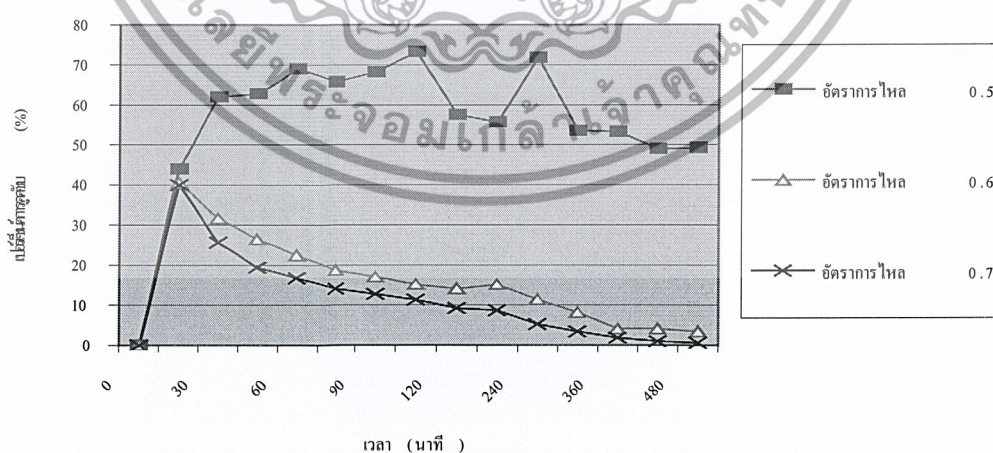
จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล โดยใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้ง พีไอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 0.6 และ 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต สามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่นาที่ที่ 15 คือดูดซับได้ 93.88 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาคืออัตราการไหล 0.6 และ 0.7 ดูดซับได้ 91.55 และ 76.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P < 0.5$) การดูดซับสังกะสีได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่นาที่ที่ 105 คือดูดซับได้ 73.26 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาคืออัตราการไหล 0.6 และ 0.7 คือดูดซับได้ 40.57 และ 39.99 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 (รูปที่ 4.7) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P < 0.5$) การดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่นาที่ที่ 15 คือดูดซับได้ 89.42 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาคืออัตราการไหล 0.6 และ 0.7 คือดูดซับได้ 85.16 และ 81.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับตามลำดับ (รูปที่ 4.8) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($P < 0.5$) การดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ที่นาทีที่ 15 คือดูดซับได้ 79.84 เปอร์เซ็นต์ และรองลงมาคืออัตราการไหล 0.6 และ 0.7 คือดูดซับได้ 77.89 และ 71.47 เปอร์เซ็นต์ ที่นาทีที่ 15 และ 60 ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$)

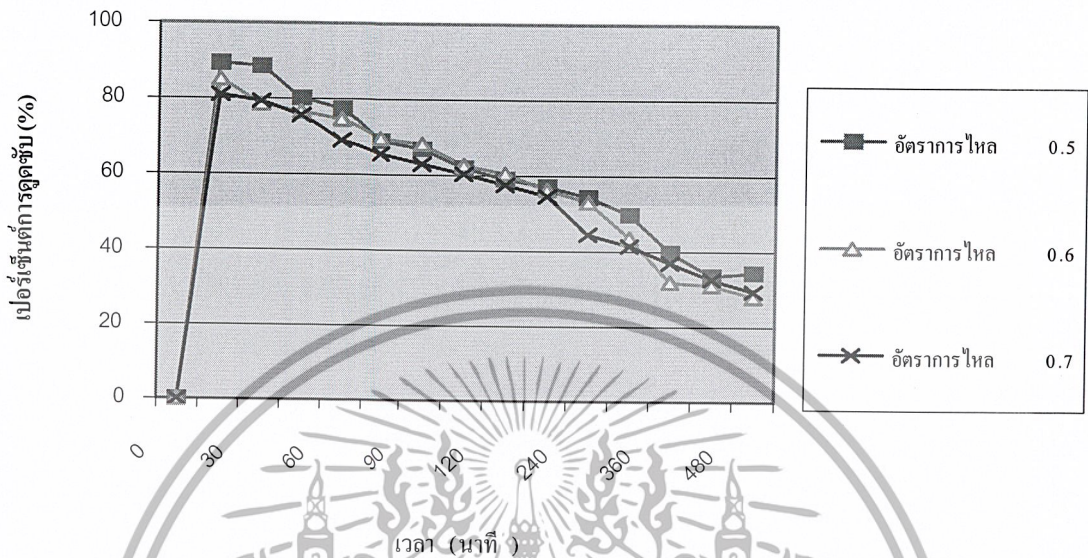


รูปที่ 4.6 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรัง
รูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต



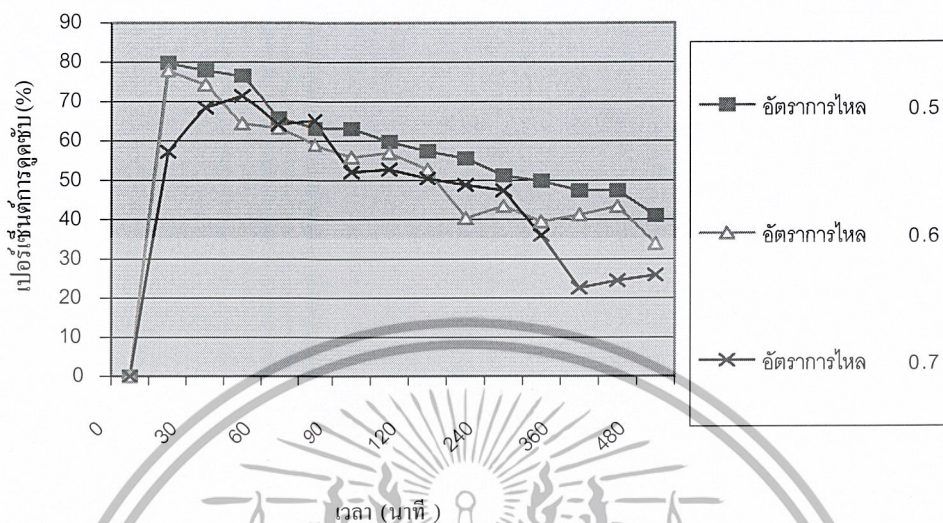
รูปที่ 4.7 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรัง
ด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรัง
รูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Volesky and Prasetyo (1994) ได้ทดลองการดูดซับแคดเมียมด้วยสาหร่ายทะเล *Ascophyllum nodosum* โดยนำไปใส่ในคอลัมน์ซึ่งออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ระดับต่างๆ คือ 2.4 4.8 7.2 และ 9.4 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าที่อัตราการไหล 2.4 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถดูดซับแคดเมียมได้ดีที่สุด จึงสรุปได้ว่าถ้าอัตราการไหลช้าจะสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าอัตราการไหลเร็ว



รูปที่ 4.9 ผลของอัตราการใช้ต่อการดูดซับนิเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรัง
รูปด้วยโซเดียมอัลจินต

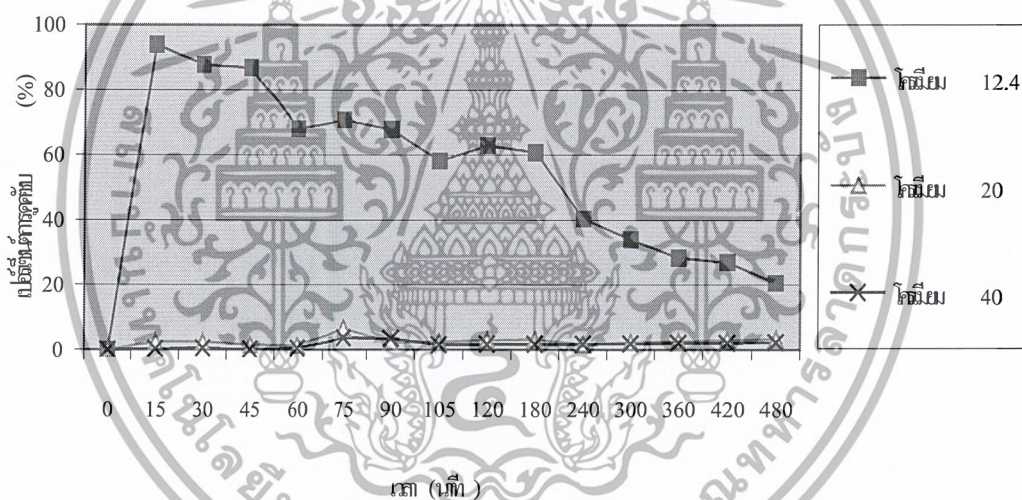
เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ Analysis of Varince และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิเกิล ที่มีอัตราการใช้แตกต่างกัน โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่อัตราการใช้ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาฬิกาจะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่าที่อัตราการใช้ 0.6 และ 0.7 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

4.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของ โครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิเกิล ต่อการดูดซับโลหะหนัก ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

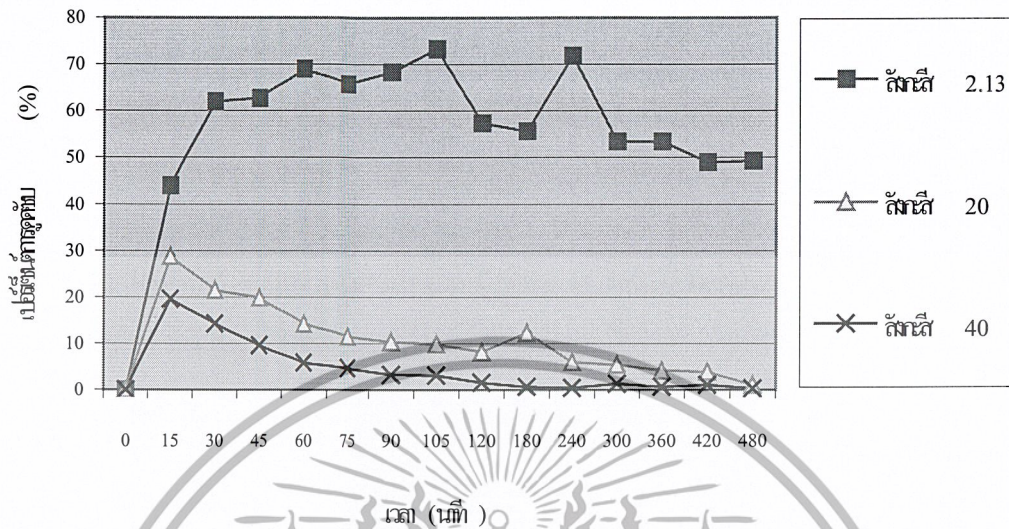
จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายโครเมียม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 12.4 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจินตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 และที่อัตราการใช้ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจินตสามารถดูดซับโครเมียมได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตรนาฬิกาที่ 15 คือดูดซับได้ 93.88 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของโครเมียม 20 และ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

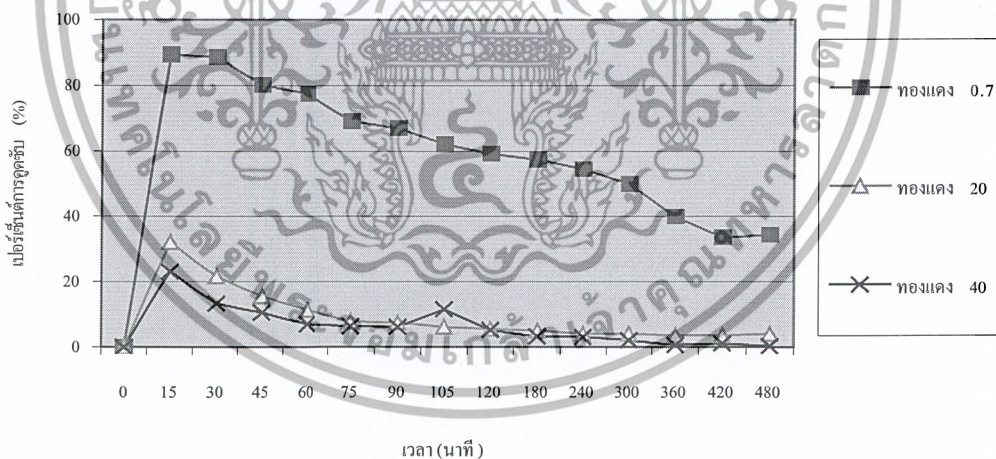
อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) การดูดซับสังกะสีได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสังกะสี 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตรนาที่ที่ 105 คือดูดซับได้ 73.26 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของสังกะสี 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 28.75 และ 19.56 เปอร์เซ็นต์ ที่นาที่ที่ 15 (รูปที่ 4.11) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) การดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตรนาที่ที่ 15 คือดูดซับได้ 89.42 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของทองแดง 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 32.15 และ 23.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) การดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรนาที่ที่ 15 คือดูดซับได้ 79.84 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของนิกเกิล 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 34.71 และ 15.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$)



รูปที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นต่อการดูดซับโครเมียม โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

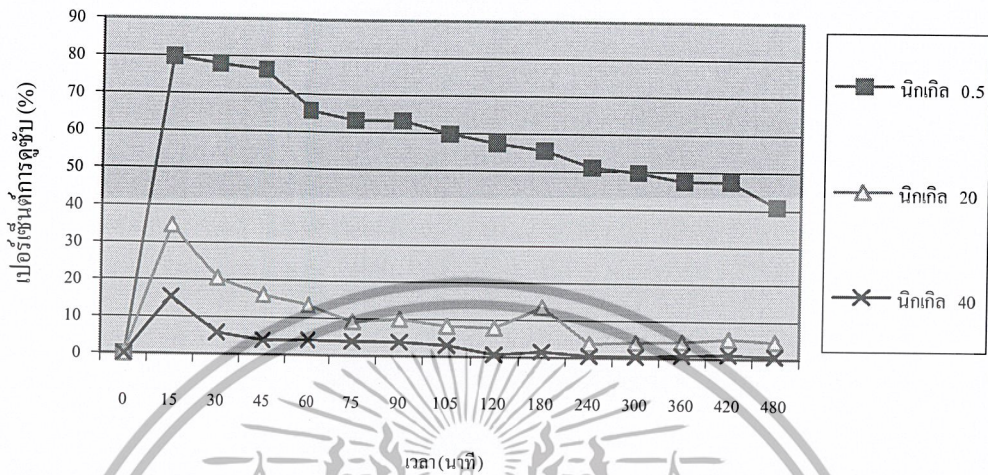


รูปที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้นต่อการดูดซับสังกะสี โดยสาหร่าย *Chlorella sp. A* 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจินต



รูปที่ 4.12 ผลของความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดง โดยสาหร่าย *Chlorella sp. A* 0505 แห่งตรังรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลของความเข้มข้นนิกเกลเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกล โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรังรูปด้วยไซเคียมอัลจินเต

จากการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติได้โดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใช้ Duncan multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกลที่ 12.4 2.13 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกลเป็น 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ สุภานี และคณะ(2531) ได้ศึกษาการดูดซับสังกะสีโดยใช้ *Chlorella* sp. พบว่าเมื่อปริมาณสังกะสีในอาหารเพิ่มขึ้นความสามารถดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นและถ้าความเข้มข้นของสังกะสีสูงขึ้นมากความสามารถในการดูดซับของ *Chlorella* sp. จะมีค่าเกือบคงที่เช่นเดียวกับการทดลองของ Rapoport and Muter (1995) ศึกษาการดูดซับโครเมียมของยีสต์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมเพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูดซับลดลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการดูดซับเป็น 50 มิลลิกรัมต่อ กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง มากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีการดูดซับคือ 3.7 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง Pilar and Garmen (1993) ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมของเชื้อยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pseudomonas starin EPS 5028 พบว่าที่ความเข้มข้นยูเรเนียม 5 - 875 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร การดูดซับจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นโครเมียมต่ำ(5 10 และ 21 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร) โดยดูดซับได้ 120 119 และ 116 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มเป็น 51 104 211 293 430 463 655 และ 815 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร โดยดูดซับได้ 62 เปอร์เซ็นต์ Vankatesverlu and Stotzky (1989) รายงานว่าการจับกันของทองแดงและโคบอลต์กับผนังของเชื้อรา *Cunninghamella blankesleeana* นั้นการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม โดยที่ความเข้มข้นโครเมียม 1.30 ไมโครโมล สามารถดูดซับได้ 0.34 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัมผนังเซลล์ ซึ่งดูดซับได้ต่ำกว่าความเข้มข้นโครเมียม 6.3 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัมผนังเซลล์ รินดาและคณะ (2541) พบว่าการดูดซับโครเมียมของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ตรึงด้วยไคโตแซน ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการดูดซับสูงกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น 18 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรคือที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 98.52 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าที่ความเข้มข้น 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ดูดซับได้ 95.83 เปอร์เซ็นต์และที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ดูดซับได้ 65.80 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตและสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต พีเอช 5.0 และที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลได้ดีกว่าเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 สดตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตคือสามารถดูดซับได้ 83.95 77.74 92.95 และ 79.01 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 45 60 75 และ 60 นาทีตามลำดับ

5.2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมงแปรผันค่า พีเอช เป็น 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าที่พีเอช 7.0 สาหร่ายแห่ง *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลได้ดีที่สุดคือสามารถดูดซับได้ 93.88 69 89.42 และ 79.84 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 15 60 15 และ 15 นาทีตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติกับพีเอชอื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยพบว่าที่พีเอชต่ำๆ จะมีการดูดซับที่น้อยมาก ส่วนที่ค่าพีเอชสูงเกินไปจะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักทำให้ดูดซับได้ไม่ดี

5.3 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตพีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมงแปรผันอัตราการไหลเป็น 0.5, 0.6 และ 0.7 พบว่าที่อัตราการไหล 0.5 สาหร่ายแห่ง *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 12.4, 2.13, 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับได้ดีที่สุดคือสามารถดูดซับได้ 93.88 73.26 89.42 และ 79.84 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 15 105 15 และ 15 นาทีตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติกับอัตราการไหลอื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการไหลที่ช้าจะทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลโดยใช้สาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตที่มีปริมาณ *Chlorella* sp. 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 และที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตมีประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 12.4 2.13 0.7 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ดีที่สุด คือดูดซับได้ 93.88 73.26 89.42 และ 79.84 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 15 105 15 และ 15 นาทีตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติกับความเข้มข้นเริ่มต้นอื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักมีค่าสูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้กับน้ำเสียจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้สูงขึ้นได้ โดยอาจมีการบำบัดในขั้นแรกด้วยสารเคมีก่อน เมื่อเหลือโลหะหนักในปริมาณน้อย จึงนำสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตมาใช้ร่วมในการบำบัด
2. ควรควบคุมพีเอชแบบต่อเนื่อง โดยใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติตลอดระยะเวลาการดูดซับเพื่อทำให้มวลชีวภาพสามารถดูดซับโลหะหนักได้ปริมาณสูงในสถานะที่เหมาะสม
3. เนื่องจากสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตสามารถใช้ในกระบวนการดูดซับได้เพียงครั้งเดียว ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองทั้งวัตถุดิบและสารเคมีจึงน่าจะทำการศึกษาทดลองเพื่อให้สามารถนำสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 แห่งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตกลับมาใช้ในกระบวนการดูดซับได้หลายครั้ง เช่น ใช้สารเคมีในการชะโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ชนิกานต์ ทศนกุลวงศ์. 2545. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง การคัดเลือกตัวดูดซับ Cr^6 จากสาหร่ายทะเล. ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทวี หอมขง. 2540. ความหลากหลายของสาหร่ายและผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่เป็นสินค้า. วารสารวิทยาศาสตร์:93
- ธีรวิทย์ ทับทอง. 2541. การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ถูกตรึงเป็นเม็ด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อาจารย์ อินทองคำ, พงศ์อนันต์ กงดารา และวนิดา พนายิ่งไพศาล. 2540. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. โครงการพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รพีพร คำรัตน์. 2542. การดูดซับโลหะหนักโดยใช้กากยีสต์จากโรงงานเบียร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รินดา คันธวร อำภา เริงปรีตารมณ และอุดมฤทธิ์ วิฑูรชวลิตวงษ์. 2541. โครงการพิเศษเรื่องการใช้ไคโตแซนตรึงรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* เพื่อดูดซับโครเมียม (+6). ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รัชยาภรณ์ ผลมั่ง และพูนสุข ประเสริฐสุรพร. 2540. การดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรีย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีที่ 19 : 395-404. อ้างจาก Akthar, L. [n.d.]. Microbiol.[n.p.].
- สมภพ รุ่งสุภา 2539. การทดลองทำสาหร่ายคลอเรลลาน้ำเค็มแบบเข้มข้น โดยใช้เครื่องกรองแบบแนวตั้ง. วารสารวิทยาศาสตร์.[ม.ป.ท.]
- สุภาณี เลิศไตรถักษ์ สุเทพ มงคลเลิศพล บุญยา บุญนาค และดำรง ชุนมงคล. 2531. โครงการพิเศษเรื่องการสะสมสังกะสีโดยสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว *Chlorella* sp. ภาควิชาวิศวกรรมชีวเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Beveridge, T.J. 1989. Interactions of metal ions with component of bacterial cellwalls and their biomineralization. In Pool, R.K. and M.G. Gadd 1989 Metal-Metabolism-Congresses : Metal-Microbs Interactions. Oxford. IRC Press. [n.p.]: pp. 65 - 83.
- _____. 1989. The immobilized of solute metals by bacterial walls. Biotechnol. Bioeng. Symp. 16(1) : 127 - 139.
- Brady, D. and J.R. Duncan, 1994. Bioaccumulation of metal cations by *S. cerevisiae*. Appl. Microbial. Biotech. 41(1) : 149 -154.
- Brady, D., A.D. Stoll., L. Starke and J.R. Duncan. 1994. Chemical and enzymatic extraction of heavy metal binding polymers from isolated cell walls of *Saccharomyces cerevisiae*. Biotechnol. Bioeng. 44(3) : 297 - 302.
- Brierley, C.L.1990. Metal immobilization using bacteria. In Microbial Mineral Recovery. New York:Mcgraw-Hill, pp.302-339.
- Crist, R.H., K. Oberholser, J. McGarrity, D.R. Johnson, J.K. and J.M. Brittsan. 1992. Interaction of metal and protons with algae. Envir. Sci. Tech. 26(3) : 496 - 502.
- Chapman, A.R.O. 1978. Chlorophyta. Edited by Laskin, A.I. and H.A. Lachevalier. Boca Raton. In CRC Handbook of Microbiology. V.2 2nd ed. CRC Press. pp. 381 - 399.
- Failla, M.L., C.D. Benedict and E.D. Weinberg, 1976. Accumulation and storage of Zn_2^+ by *Candida utilis*. J. Gen. Microbiol. 94(1) : 23 - 26.
- Gadd, G.M. 1988. Accumulation of metals by microorganism and algae. In Biotechnol. V.6b. Edited by Rehm, H.R., Hamburg, Verlag, pp. 401 - 433.
- _____. 1990. Fungi and yeasts for metal accumulation. In Microbial Mineral Recovery. Edited by ehlich, H.L. and c.L. Brierley. New York. McGraw-Hill. pp. 249 - 276.
- Gadd, G.M. and C. White. 1989. Heavy metal and radionuclide accumulation and toxicity in fungi and yeast. In Metal-Metabolism-Congresses : Metal-Microbs Interactions. Edited by Pool, R.K. and M.G. Gadd. Oxford. IRC Press. pp. 19 - 38.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Geoffrey, W. Garnham, G.A.Codd and G.M. Gadd. 1992. Accumulation of Cobalt, Zinc and Manganese by the Estuarine Green Microalgae *Chlorella salina* Immobilized in Alginate Microbeads. *Env.Sci.Technol.* 26:1764-1770
- Geoffrey, W. Garnham, G.A.Codd and G.M. Gadd. 1993. Accumulation Zirconium by Microalgae and cyanobacteria. *Appl.Microbiol.Biotechnol.* 39:667- 672
- Gipps, J.F. and A.W. Collier. 1982 Effects of some nutrient cations on uptake of cadmium by *Chlorella pyrenoidos*. *Aust. J. Marine. Freshwater. Res.* 33(7) : 979 - 987.
- Greene, B. and D.W. Darnall. 1990. Microbial oxygenic photoautotrophs (Cyanobacteria and algae) for metal - ion binding. *In Microbial Mineral Recovery*. Edited by Ehlich, H.L. and C.L. Brierley. New York. McGraw-Hill. pp. 277 - 302.
- Horikoshi, T., A. Nakajima and T. Sakaguchi. 1979. Uptake of uranium by *Chlorella vulgaris*. *Agricul. Biotechnol. Chem.* 43(3) : 617 - 623.
- Nakajima, A., T. Horikoshi and T. Sakaguchi. 1979. Uptake of Manganese ion by *Chlorella vulgaris*. *Agricul. Biotechnol. Chem.* 43(7) : 1461 - 1466.
- Nishida, E., H. Anzai, N. Uchida and K. Nisizawa. 1990. Sugar constituents of fucose containing polysaccharides from various Japanese brown algae. *Hydrobiol.* 204/205(3) : 573 -576.
- Norris, P.R. and H. Persson. 1977. Accumulation of Cadmium and Cobalt by *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Gen. Microbiol.* 99(2) : 317 - 324
- Pilar, M. Pons and F.Garmen ,1993. Uranium Uptake by Immobilized Cell of *Pseudomonas Stain* Eps 5028. *Appl.Microbiol.Biotechnol.* 39 : 661 - 665
- Rappoport, A.I. and O.A. Muter. 1995. Biosorption of hexavalent chromium by yeast. *Pro. Biochem.* 30(1) : 145 - 149.
- Sakaguchi, T., A. Nakajima and T. Horikoshi. 1981. Accumulation of Molybdenum by green microalgae. *Europ. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 12(1) : 84 - 89. -----(a)
- Sakaguchi, T., T. Tusji, A. Nakajuma and T. Horikoshi. 1979. Accumulation of Cadmium by green microalgae. *Europ. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* 8(1) : 207 - 215. -----(b)
- Skowronski, T. 1986. Adsorption of Cadmium on green microalgae *Stichococcus bacillaris*. *Chemosphere.* 15(1) : 69 - 76. -----(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- _____. 1986. Influence of some physico-chemical factor on Cadmium uptake by green algae *Stichococcus bacillaris*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 24(2) : 423 - 425.----(b)
- Ting, Y.P. and W.K. Teo. 1994. Uptake of Cadmium and Zinc by yeast effects Co-metalion and physical/chemical treatments. Biores. Tech. 50(1) : 113 - 117.
- Tsezos, M. and B. Volesky. 1982. The mechanism of thorium biosorption by *Rhizopus arrhizus*. Biotechnol. Bioeng. 24(4) : 955 - 969.
- Vandenabeele, J., M. Vandewoestyne, F. Houwen, R. Germonpre, D. Vandesabde and W. Verstraete. 1995 . Role of Autotrophic Nitrifier in Biotechnological Manganese Removal from Groundwater Containing Manganese and Ammonium. Microbiol.Ecol,29:83 - 98
- Vankateswerlu, G. and G. Stotzky. 1989. Binding of Metal by Cell Wall of *Cunninghamella blakesleeana* Grown in the Presence of Copper or Cobalt. Appl. Microbiol. Biotechnol. 31:619 - 625.
- Volesky B. and I. Parsetyo. (1994) Cadmium Removal in a Biosorption Column. Biotechnology and Bioenginerring, Vol. 43, pp.1010-1015
- Volesky, B. 1986. Biosorption meterails. Biotechnol. Bioeng. Symp. 16(1) : 120 - 125.
- Yamauchi, Y.et.al.(1994) Beer Brewing Using an Immobilized Yeast Bioreactor for Rapid Beer Brewing System. Journal of Fermentation and Bioengineering 78(6) : 443 - 449
- Zhou, J. L. 1999. Biosorption by *Rhizopus arrhizus* and other Fungi. Appl. Microbiol. Biotechnol. [n.p.]
- www.soest.hawaii.edu/seagrant/makai/augaa/3.html



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรอาหาร N-8 ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* (Atthasampunna, 1995 อ้างตามวินา, 2542)

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	260.0	มิลลิกรัม
KH_2PO_4	740.0	มิลลิกรัม
CaCl_2	10.0	มิลลิกรัม
Fe EDTA	10.0	มิลลิกรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	50.0	มิลลิกรัม
KNO_3	1000.0	มิลลิกรัม
Trace element mixture*	1.0	มิลลิกรัม
Distilled water to	1.0	ลิตร

*Trace element mixture for N-8 medium

$\text{Al}_2(\text{PO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	3.58	กรัม
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	12.98	กรัม
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.83	กรัม
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3.20	กรัม
Distilled water to	1.0	ลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1 แสดงปริมาณโลหะหนักที่ถูกปล่อยจากโรงงานชุบโลหะ

	จุดเก็บที่ 1	จุดเก็บที่ 2
pH	8.5	9.6
COD	65	473

ค่าสารแขวนลอย (SS) ,mg/l		
	จุดเก็บที่ 1	จุดเก็บที่ 2
Cr	<0.06	24.74
Cu	1.72	2.54
Zn	0.41	0.87
Ni	0.46	0.41

ที่มา:กรมโรงงานอุตสาหกรรม(2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	- 5.5 – 9.0	- pH Meter
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	- ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	- ไม่เกิน 50 มก./ล.หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	- กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว
4. อุณหภูมิ (Temperature)	- ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	- เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขนาดทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
5. สีหรือกลิ่น	- ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	- ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- Titrate
7. ไซยาไนต์	- ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	- กลั่นตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน	- ไม่เกิน 0.5 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	- สกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว แยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
9. ฟอรัมาลดีไฮด์	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- กลั่นแล้วตามด้วยวิธี 4 - Amino - antipyrine
11. คลอรีนอิสระ	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- Lodomeric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์	- ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด	- Gas - Chromatography
13. ค่า BOD	- ไม่เกิน 20 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	- Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน
14. ค่า TKN	- ไม่เกิน 100 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	- Kjeldahl
15. ค่า COD	- ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	- Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก		
1. สังกะสี (Zn)	- ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	- Atomic Absorption
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	- Spectro-photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์	- ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	- Plasma Emission
4. ทองแดง (Cu)	- ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	- Spectroscopy ชนิด
5. แคดเมียม (Cd)	- ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	- Inductively Coupled
	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	- Plasma : ICP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
6. แบเรียม (Ba)	- ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	- Atomic Absorption
7. ตะกั่ว (Pb)	- ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectro-photometry ชนิด
8. นิกเกิล (Ni)	- ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Direct Aspiration หรือวิธี
9. แมงกานีส (Mn)	- ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Plasma Emission
10. อาร์เซนิก (As)	- ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	Spectroscopy ชนิด
11. เซเลเนียม (Se)	- ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Inductively Coupled
12. ปรอท (Hg)		Plasma : ICP

ที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตีพิมพ์ในพระราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดงและนิกเกิลโดย สาหร่าย *Chlorella* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียม สังกะสีทองแดงและนิกเกิล เริ่มต้น 12.4 2.13 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 6.28 กรัม น้ำหนักเซลล์สด ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที.)	ปริมาณการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์สาหร่ายสด(เปอร์เซ็นต์)			
	โครเมียม 12.4 มก./ล.	สังกะสี 2.13 มก./ล.	ทองแดง 0.7 มก./ล.	นิกเกิล 0.5 มก./ล.
0	0	0	0	0
15	19.36	45.3	57.39	40.53
30	60.26	55.94	75.85	58.57
45	69.78	66.33	82.71	66.37
60	69.35	68.71	83.84	70.74
75	67.99	70.49	85.81	70.26
90	65.98	66.44	86.42	69.51
105	63.28	71.17	85.95	70.81
120	62.95	71.39	86.89	70.88
135	61.14	71.18	86.84	71.83
150	61.69	71.31	87.08	72.31
165	60.51	70.96	86.7	73.95
180	59.33	70.48	87.27	70.4
195	54.27	69.75	86.14	73.47
210	52.65	69.11	86.84	70.12
225	52.82	68.4	86.28	69.78
240	50.35	67.78	85.48	72.65
255	49.63	66.99	85.06	72.38
270	51.89	66.99	86.23	68.35
285	49.76	66.12	85.53	68.42
300	52.51	64.98	87.22	71.15
315	52.34	64.08	81.96	67.66
330	56.89	64.26	81.63	66.84
345	52.04	64.66	84.78	67.46
360	65.19	64.01	83.51	63.7
375	69.17	63	83.7	62.61
390	70.76	62.7	83.88	63.9
405	73.04	62.33	83.13	61.38
420	76.85	61.14	82.48	57.48
435	78.36	60.64	82.9	63.02
450	70.4	60.75	82.57	59.53
465	73.42	59.11	81.3	59.39
480	72.51	58.53	83.32	56.52
495	71.82	58.44	81.49	58.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2 ผลของเซลล์ต่อการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิลโดย สาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล เริ่มต้น 12.4 2.13 0.7 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณของ สาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมแห้ง พีเอช 5.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง(เปอร์เซ็นต์)			
	โครเมียม 12.4 มก. / ล.	สังกะสี 2.13 มก. / ล.	ทองแดง 0.7 มก. / ล.	นิกเกิล 0.5 มก. / ล.
0	0	0	0	0
15	66.12	60.49	75.05	57.21
30	77.76	72	87.5	72.38
45	83.95	77.34	84.78	77.99
60	82.37	77.74	91.92	79.01
75	81.83	77.15	92.95	77.51
90	80.06	76.72	91.96	76.69
105	79.92	75.82	92.53	77.58
120	78.58	75.32	92.53	77.78
135	77.01	73.98	91.63	77.3
150	77.59	73.29	91.96	75.8
165	75.81	72.41	90.65	72.11
180	75.27	72.89	90.18	73.54
195	74.62	72.37	89.94	73.68
210	74.33	71.51	89.9	68.62
225	71.67	70.09	89.29	66.37
240	72.99	69.69	89.61	68.55
255	70.21	68.13	88.63	69.3
270	68.87	67.8	86.94	65.82
285	69.1	66.33	87.08	64.66
300	68.5	65.04	89.87	66.02
315	67.92	63.92	86.04	62.54
330	67.82	63.18	85.48	57.41
345	67.94	63.26	85.81	65.34
360	67.22	61.89	84.31	62.47
375	66.81	61.97	84.21	59.26
390	65.6	60.69	83.6	59.39
405	66.56	60.24	83.04	59.94
420	64.99	59.67	82.48	56.45
435	63.82	59.01	83.04	57.55
450	65.17	58.26	82.05	57.55
465	63.38	57.97	81.16	53.52
480	65.36	56.89	81.02	52.08
495	60.72	54.26	79.66	54.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง พีเอช 5.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)			
	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0
15	66.12	93.33	93.88	90.32
30	77.76	85.37	87.62	89.25
45	83.95	85.91	86.8	86.54
60	82.37	65.64	68.04	75.24
75	81.83	68.72	70.74	69.48
90	80.06	70.12	67.91	66.87
105	79.92	62.71	58.16	63.32
120	78.58	75.48	62.79	61.03
180	77.01	65.74	60.8	54.25
240	75.83	52.25	40.4	51.47
300	72.31	40.71	34.02	43.21
360	68.59	37.19	28.42	38.74
420	67.45	22.92	26.86	29.78
480	65.22	27.92	20.57	28.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 4 ผลของพีเอชต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)			
	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0
15	39.49	42.58	43.99	41.54
30	41.00	55.71	61.98	52.32
45	49.34	64.48	62.72	56.21
60	55.74	69.27	69	61.25
75	67.15	57.76	65.74	62.31
90	53.72	53.66	68.27	59.84
105	55.52	54.34	73.26	55.74
120	51.32	57.39	57.48	51.24
180	50.98	53.41	55.63	48.77
240	50.90	48.8	71.78	41.21
300	49.82	46.81	53.48	36.21
360	48.95	46.75	53.36	35.45
420	48.74	45.76	48.98	31.02
480	43.06	47.31	49.29	31.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 5 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			
	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0
15	75.05	88.28	89.42	86.65
30	87.5	81.14	88.57	84.21
45	84.78	70.28	80.14	79.54
60	81.92	61.71	77.42	74.12
75	80.95	55.14	69	61.24
90	77.96	49.85	67	54.02
105	69.53	51.42	62	47.65
120	62.53	50.85	59.14	45.66
180	61.63	41.14	57.28	38.79
240	56.61	26.42	54.42	35.64
300	48.27	12.28	49.85	28.73
360	45.38	13.71	39.85	25.41
420	39.83	7.85	33.57	22.01
480	33.9	6.14	34.42	19.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลของฟิเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			
	ฟิเอช 5	ฟิเอช 6	ฟิเอช 7	ฟิเอช 8
0	0	0	0	0
15	57.21	77.45	79.84	76.54
30	72.38	73.25	77.89	74.51
45	70.99	69.84	76.56	71.12
60	67.01	67.82	65.84	68.58
75	63.51	66.54	63.21	62.35
90	60.69	67.84	63.22	63.12
105	56.58	60.03	59.87	63.54
120	52.78	59.84	57.41	54.12
180	52.3	54.21	55.65	55.87
240	49.78	53.61	51.21	47.84
300	40.21	50.11	49.89	45.85
360	41.76	45.87	47.54	39.58
420	39.12	42.98	47.51	38.54
480	39.33	41.23	41.02	32.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มล./นาที.	อัตราการไหล 0.6 มล./นาที.	อัตราการไหล 0.7 มล./นาที.
0	0	0	0
15	93.88	91.55	76.99
30	87.62	81.31	69.65
45	86.8	79.66	75.41
60	68.04	74.35	68.66
75	70.74	75.09	68.16
90	67.91	67.65	53.76
105	58.16	64.58	56.95
120	62.79	62.29	62.05
180	60.8	60.34	61.75
240	40.4	54.79	46.18
300	34.02	49.53	56.61
360	28.42	32.91	54.96
420	26.86	34.01	48.8
480	20.57	26.58	29.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาท.)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มล./นาท.	อัตราการไหล 0.6 มล./นาท.	อัตราการไหล 0.7 มล./นาท.
0	0	0	0
15	43.99	40.57	39.99
30	61.98	31.62	25.57
45	62.72	26.33	19.35
60	69	22.34	16.7
75	65.74	18.65	14.11
90	68.27	17	12.75
105	73.26	15.15	11.27
120	57.48	14.1	9.24
180	55.63	15.21	8.62
240	71.78	11.36	5.3
300	53.48	8.13	3.38
360	53.36	4.05	1.84
420	48.98	4.09	0.98
480	49.29	3.37	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๙ ผลของอัตราการไหลต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้อัตราการไหลของทองแดงเริ่มต้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มล./นาท.	อัตราการไหล 0.6 มล./นาท.	อัตราการไหล 0.7 มล./นาท.
0	0	0	0
15	89.42	85.16	81.03
30	88.57	78.65	79.36
45	80.14	76.61	75.72
60	77.42	74.67	69.19
75	69	69.62	65.55
90	67	68.27	62.97
105	62	62.74	60.39
120	59.14	60.53	57.66
180	57.28	56.39	54.62
240	54.42	53.17	44.61
300	49.85	43.65	41.42
360	39.85	31.93	37.02
420	33.57	31.07	32.62
480	34.42	28.06	29.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ผลของอัตราการใช้ต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้อุณหภูมิของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่พีเอช 7.0 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาทีก)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการใช้ 0.5 มล./นาทีก.	อัตราการใช้ 0.6 มล./นาทีก.	อัตราการใช้ 0.7 มล./นาทีก.
0	0	0	0
15	79.84	77.89	57.37
30	77.89	74.27	68.52
45	76.56	64.49	71.47
60	65.84	63.31	64.26
75	63.21	58.96	65.24
90	63.22	55.97	52.13
105	59.87	56.97	52.78
120	57.41	52.8	50.49
180	55.65	40.3	48.85
240	51.21	43.56	47.54
300	49.89	39.58	36.06
360	47.54	41.3	22.62
420	47.51	43.38	24.59
480	41.02	33.96	25.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 11 ผลของความเข้มข้น โครเมียมเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้น 12.4 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)		
	12.4 มก. / ล.	20 มก. / ล.	40 มก. / ล.
0	0	0	0
15	93.88	2.43	0.44
30	87.62	2.41	0.59
45	86.80	1.64	0.11
60	68.04	1.36	0.55
75	70.74	6.96	3.63
90	67.74	2.22	3.44
105	58.16	2.54	1.52
120	62.79	2.98	1.71
180	60.80	3.17	1.68
240	40.40	1.69	1.74
300	34.02	2.34	1.86
360	28.42	2.68	2.04
420	26.86	2.99	2.18
480	20.57	3.42	2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 12 ผลของความเข้มข้นสังกะสีเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของสังกะสีเริ่มต้น 2.13 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่ อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)		
	2.13 มก. / ล.	20 มก. / ล.	40 มก. / ล.
0	0	0	0
15	43.99	28.75	19.56
30	61.98	21.54	14.25
45	62.72	19.87	9.65
60	69	14.22	5.87
75	65.74	11.56	4.62
90	68.27	10.32	3.24
105	73.26	9.89	3.11
120	57.48	8.17	1.57
180	55.63	12.35	0.65
240	71.78	5.97	0.44
300	53.48	5.46	1.32
360	53.36	4.21	0.67
420	48.98	3.87	1.02
480	49.29	0.98	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 13 ผลของความเข้มข้นทองแดงเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A 0505 ภายใต้ความเข้มข้นของทองแดงเริ่มต้น 0.7 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาทึ)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	0.7 มก. / ล.	20 มก. / ล.	40 มก. / ล.
0	0	0	0
15	89.42	32.15	23.14
30	88.57	21.65	13.33
45	80.14	14.57	10.54
60	77.42	11.32	7.03
75	69	7.89	6.35
90	67	7.45	6.21
105	62	6.23	11.56
120	59.14	5.47	5.21
180	57.28	4.98	3.24
240	54.42	4.02	3.16
300	49.85	4.13	2.17
360	39.85	3.54	0.65
420	33.57	3.62	1.11
480	34.42	4.15	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 14 ผลของความเข้มข้นนิกเกิลเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp.A 0505 ภายใต้อุณหภูมิและความเข้มข้นของนิกเกิลเริ่มต้น 0.5 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 1.5 กรัม น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 ที่อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)		
	0.5 มก. / ล.	20 มก. / ล.	40 มก. / ล.
0	0	0	0
15	79.84	34.71	15.47
30	77.89	20.55	5.82
45	76.56	16.16	4.02
60	65.84	13.48	4.15
75	63.21	9.32	4
90	63.22	10.02	3.8
105	59.87	8.17	3.01
120	57.41	7.92	0.69
180	55.65	13.46	1.6
240	51.21	3.77	0.63
300	49.89	4.24	0.42
360	47.54	4.58	0.88
420	47.51	5.38	1.23
480	41.02	4.69	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล โดยใช้สาหร่ายสด *Chlorella* sp. A 0505 6.28 กรัม น้ำหนักสดครั้งรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์สาหร่ายสด (เปอร์เซ็นต์)			
	โครเมียม 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร	สังกะสี 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร	ทองแดง 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	นิกเกิล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i	0 i
15	19.36 h	45.3 h	57.39 h	40.53 h
30	60.26 g	55.94 g	75.85 g	58.57 g
45	69.78 a	66.33 f	82.71 f	66.37 f
60	69.35 b	68.71 d	83.84 e	70.74 c
75	67.99 c	70.49 c	85.81 d	70.26 d
90	65.98 d	66.44 e	86.42 b	69.51 e
105	63.28 e	71.17 b	85.95 c	70.81 b
120	62.95 f	71.39 a	86.89 a	70.88 a

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของจุดขับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และ นิกเกิล โดยใช้สาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์สาหร่ายแห้ง (เปอร์เซ็นต์)			
	โครเมียม 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร	สังกะสี 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร	ทองแดง 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	นิกเกิล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i	0 i
15	66.12 h	60.49 h	75.05 h	57.21 h
30	77.76 g	72 g	87.5 f	72.38 g
45	83.95 a	77.34 b	84.78 g	77.99 b
60	82.37 b	77.74 a	91.92 e	79.01 a
75	81.83 c	77.15 c	92.95 a	77.51 e
90	80.06 d	76.72 d	91.96 d	76.69 f
105	79.92 e	75.82 e	92.53 c	77.58 d
120	78.58 f	75.32 f	92.53 b	77.78 c

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของฟิเชต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตริงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)			
	ฟิเช 5	ฟิเช 6	ฟิเช 7	ฟิเช 8
0	0 i	0 i	0 i	0 I
15	66.12 h	93.33 a	93.88 a	90.32 a
30	77.76 g	85.37 c	87.62 b	89.25 b
45	83.95 a	85.91 b	86.8 c	86.54 c
60	82.37 b	65.64 g	68.04 e	75.24 d
75	81.83 c	68.72 f	70.74 d	69.48 e
90	80.06 d	70.12 e	67.91 f	66.87 f
105	79.92 e	62.71 h	58.16 h	63.32 g
120	78.58 f	75.48 d	62.79 g	61.03 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตริงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)			
	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0 i	0 i	0 i	0 i
15	39.49 h	42.58 a	43.99 a	41.54 a
30	41.00 g	55.71 c	61.98 b	52.32 b
45	49.34 a	64.48 b	62.72 c	56.21 c
60	55.74 b	69.27 g	69.00 e	61.25 d
75	67.15 c	57.76 f	65.74 d	62.31 e
90	53.72 d	53.66 e	68.27 f	59.84 f
105	55.52 e	54.34 h	73.26 h	55.74 g
120	51.32 f	57.39 d	57.48 g	51.24 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของฟิเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตต

เวลา (นาทีก)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			
	ฟิเอช 5	ฟิเอช 6	ฟิเอช 7	ฟิเอช 8
0	0 i	0 i	0 i	0 i
15	75.05 h	88.28 h	89.42 h	86.65 h
30	87.5 g	81.14 e	88.57 f	84.21 f
45	84.78 f	70.28 b	80.14 e	79.54 d
60	81.92 b	61.71 a	77.42 b	74.12 b
75	80.95 a	55.14 c	69.00 d	61.24 a
90	77.96 d	49.85 g	67.00 c	54.02 c
105	69.53 c	51.42 f	62.00 a	47.65 e
120	62.53 e	50.85 d	59.14 g	45.66 g

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของฟิเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาทีก)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			
	ฟิเอช 5	ฟิเอช 6	ฟิเอช 7	ฟิเอช 8
0	0 i	0 i	0 i	0 i
15	57.21 f	77.45 a	79.84 a	76.54 a
30	72.38 a	73.25 b	77.89 b	74.51 b
45	70.99 b	69.84 c	76.56 c	71.12 c
60	67.01 c	67.82 e	65.84 d	68.58 d
75	63.51 d	66.54 f	63.21 f	62.35 g
90	60.69 e	67.84 d	63.22 e	63.12 f
105	56.58 g	60.03 g	59.87 g	63.54 e
120	52.78 h	59.84 h	57.41 h	54.12 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับโครเมียมโดยสาหร่าย
 แห่ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตริงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
0	0 i	0 i	0 i
15	93.88 a	91.55 a	76.99 a
30	87.62 b	81.31 b	69.65 c
45	86.8 c	79.66 c	75.41 b
60	68.04 e	74.35 e	68.66 d
75	70.74 d	75.09 d	68.16 e
90	67.91 f	67.65 f	53.76 h
105	58.16 h	64.58 g	56.95 g
120	62.79 g	62.29 h	62.05 f

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
 ร้อยละ 95

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
15	93.88a	91.55b	76.99c

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น
 ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัมน้ำหนักแห้งตริงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
0	0 i	0 i	0 i
15	43.99 h	40.57 a	39.99 a
30	61.98 f	31.62 b	25.57 b
45	62.72 e	26.33 c	19.35 c
60	69.00 b	22.34 d	16.70 d
75	65.74 d	18.65 e	14.11 e
90	68.27 c	17.00 f	12.75 f
105	73.26 a	15.15 g	11.27 g
120	57.48 g	14.10 h	9.24 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับ ทองแดงโดยสาหร่าย
แห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
0	0 i	0 i	0 i
15	89.42 a	85.16 a	81.03 a
30	88.57 b	78.65 b	79.36 b
45	80.14 c	76.61 c	75.72 c
60	77.42 d	74.67 d	69.19 d
75	69.00 e	69.62 e	65.55 e
90	67.00 f	68.27 f	62.97 f
105	62.00 g	62.74 g	60.39 g
120	59.14 h	60.53 h	57.66 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อ
มั่นร้อยละ 95

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
15	89.42a	85.16 b	81.03c

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อ
มั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการไหลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัมน้ำหนักแห้งตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)		
	อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที	อัตราการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที
0	0 i	0 i	0 i
15	79.84 a	77.89 a	57.37 e
30	77.89 b	74.27 b	68.52 b
45	76.56 c	64.49 c	71.47 a
60	65.84 d	63.31 d	64.26 d
75	63.21 f	58.96 e	65.24 c
90	63.22 e	55.97 g	52.13 g
105	59.87 g	56.97 f	52.78 f
120	57.41 h	52.80 h	50.49 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น โครเมียมเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับ โครเมียมโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตริงรูปด้วย โซเดียมอัลจินต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 12.4 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i
15	93.88 a	2.43 d	0.44 g
30	87.62 b	2.41 e	0.59 e
45	86.80 c	1.64 h	0.11 h
60	68.04 e	1.36 g	0.55 f
75	70.74 d	6.96 a	3.63 a
90	67.74 f	2.22 f	3.44 b
105	58.16 h	2.54 c	1.52 d
120	62.79 g	2.98 b	1.71 c

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อ
มั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น สังกะสี เริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับ สังกะสี โดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตริงรูป ด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับสังกะสี (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 2.13 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i
15	43.99 h	28.75 a	19.56 a
30	61.98 f	21.54 b	14.25 b
45	62.72 e	19.87 c	9.65 c
60	69.00 b	14.22 d	5.87 d
75	65.74 d	11.56 e	4.62 e
90	68.27 c	10.32 f	3.24 f
105	73.26 a	9.89 g	3.11 g
120	57.48 g	8.17 h	1.57 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อ
มั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น ทองแดงเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับ ทองแดงโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม/น้ำหนักแห้งตริง รูปด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i
15	89.42 a	32.15 a	23.14 a
30	88.57 b	21.65 b	13.33 b
45	80.14 c	14.57 c	10.54 d
60	77.42 d	11.32 d	7.03 c
75	69.00 e	7.89 e	6.35 f
90	67.00 f	7.45 f	6.21 g
105	62.00 g	6.23 g	11.56 e
120	59.14 h	5.47 h	5.21 h

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เวลา (นาท)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
15	89.42 a	32.15 b	23.14 c

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้น นิกเกิดเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับ นิกเกิดโดยสาหร่ายแห้ง *Chlorella* sp. A 0505 1.5 กรัม น้ำหนักแห้งตริงรูป ด้วยโซเดียมอัลจินต

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิด (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0 i	0 i	0 i
15	79.84 a	34.71 a	15.47 a
30	77.89 b	20.55 b	5.82 b
45	76.56 c	16.16 c	4.02 d
60	65.84 d	13.48 d	4.15 c
75	63.21 f	9.32 f	4.00 e
90	63.22 e	10.02 e	3.80 f
105	59.87 g	8.17 g	3.01 g
120	57.41 h	7.92 h	0.69 h

หมายเหตุ ตัวอักษร ไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เวลา (นาที)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิด (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร
15	79.84 a	34.71 b	15.47 c

หมายเหตุ ตัวอักษร ไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้