

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 และสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 โครงรูปด้วยโซเดียมอัลจินต



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
58549

เลขทะเบียน.....  
25 ม.ค. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Absorption Nickel Copper and Lead by *Chlorella* sp. A0505 and *Chlorella* sp. A0505

Immobilized with Sodium Alginate



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


โครงการพิเศษเรื่อง การคัดค้านิกเกิด ทองแดง และตะกั่ว โดยใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 และ สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตต

นักศึกษา นางสาว เกศินี อินตะจักร์  
 นาย คณิส เชิดชูธรรม  
 นาย อัครวิน ชื่นอารมย์

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์  
 สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วีณา ชูโชติ

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
 วิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.นवलพรรณ ณ ระนอง	
กรรมการ ผศ. วีณา ชูโชติ	
กรรมการ อ. กุสวดี ทองกุเบศรี	

  
 (รศ.ดร.นवलพรรณ ณ ระนอง)  
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 และสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	
นักศึกษา	นางสาว เกศินี	อินตะจักร์
	นาย คณัส	เชิดชูธรรม
	นาย อัสวิน	ชินอารมย์
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ	
ปีการศึกษา	2546	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. วนา ชูโชติ	

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ที่ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด สามารถดูดซับโลหะหนักได้ไม่แตกต่างจากเซลล์ตรึงที่ระดับความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่มีความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของเซลล์สดพบว่าที่ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและตะกั่วได้ดีที่สุด คือ สามารถดูดซับได้ 71.98, 77.35 และ 94.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และผลของพีเอชของสารละลายโลหะหนักที่มีต่อการดูดซับ พบว่าที่พีเอช 5.0 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและตะกั่วได้ดีที่สุด คือ สามารถดูดซับได้ 82.70, 90.28, และ 95.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลายโลหะผสมและสารละลายโลหะเดี่ยวๆ พบว่า *Chlorella* sp. A0505 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทั้งสามชนิดในสารละลายโลหะเดี่ยวได้ดีกว่าในสารละลายโลหะผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	The Absorption Nickle Copper and Lead by <i>Chlorella</i> sp. A0505 and <i>Chlorella</i> sp. A0505 Immobilized with Sodium Alginate
<b>Name</b>	Miss Kesinee Intajak Mr. Kanat Chirdchootham Mr. Atsawin Chuen - arom
<b>Department</b>	Applied Biology
<b>Program</b>	Biotechnology
<b>Academic Year</b>	2004
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof.Weena Choochote

### ABSTRACT

The adsorption efficiency of Nickel, Copper and Lead by free cell of *Chlorella* sp. A0505 and *Chlorella* sp. A0505 immobilized with sodium alginate was studied. The efficiency of free cell of *Chlorella* sp. A0505 was not significantly different from that of free cell. Initial concentration of heavy metals solution was varied from 10.00 20.00 30.00 40.00 and 50.00 mg/l for the studying of adsorption efficiency in free cell. The highest adsorption efficiency of Nickel, Copper and Lead was 71.98, 77.35 and 94.10 percent, respectively in 10.00 mg/l of heavy metal solution. The effect of pH of heavy metals solution on the efficiency of adsorption was study from pH 4.0 to 8.0. At pH 5.0 and concentration 10.00 mg/l, *Chlorella* sp. A0505 has the highest efficiency of adsorption of Nickel, Copper and Lead at 82.70,90.28 and 95.32 percent, respectively. The efficiency of metal adsorption by *Chlorella* sp. A0505 in single heavy metal solution was highest than the absorption in mixed heavy metals solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนและการช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีอุปการคุณหลายท่าน

ขอขอบพระคุณ ผศ. วัฒนา ชูโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการโครงการพิเศษที่กรุณาเป็นอย่างยิ่งในการให้คำปรึกษาระหว่างการค้นคว้าวิจัยตลอดจนการตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษให้ถูกต้องและสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. นवलพรรณ ฌ ระนอง และ อ. กุลวดี ทองภูเบศร์ ที่เป็นประธานกรรมการและกรรมการโครงการพิเศษ ที่ช่วยในการตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาคชีววิทยาประยุกต์ทุกท่าน ที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ สำหรับใช้ในการทดลอง และช่วยอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ทำให้โครงการพิเศษสามารถสำเร็จได้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และรุ่นพี่ เพื่อนๆ ทุกท่าน และผู้มีส่วนร่วมในโครงการพิเศษทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและเป็นส่วนหนึ่งในความสำเร็จนี้

นางสาวเกศินี อินตะจักร์  
นายคณิต เจ็ดชูธรรม  
นายอัศวิน ชื่นอารมย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา	4
2.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม	5
2.3 โรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า	6
2.4 การบำบัดน้ำเสีย	9
2.5 การดูดซับโลหะหนักทางชีวภาพ	10
2.6 สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp.	12
2.7 โซเดียมอัลจิเนต	16
2.8 อะตอมมิกแอสซอร์บชัน	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
3.1 เชื้อจุลินทรีย์	21
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 อุปกรณ์การทดลอง	21
3.4 การเพิ่มปริมาณสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505	22
3.5 การเก็บเกี่ยวสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6 การเตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนตและการขึ้นรูปโซเดียมอัลจิเนต	24
3.7 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก	25
3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	28
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักระหว่างสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด และ <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจิเนต	28
4.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว ต่อการดูดซับ โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	29
4.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	33
4.4 ผลการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสม โดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	39
4.5 ผลของสารละลายโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ที่มีต่อลักษณะ ของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด และ <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	41
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อสาหร่าย	53
ภาคผนวก ข คุณลักษณะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต PCB และ มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย	55
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	59
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลอง	61
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ทางสถิติ	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ข-1 คุณลักษณะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต PCB	56
ข-2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย	57
ง-1 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	62
ง-2 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	62
ง-3 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	63
ง-4 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	63
ง-5 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	64
ง-6 ผลของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตต่อการดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	64
ง-7 ผลของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตต่อการดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
<p>ง-8 ผลของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตต่อการ            ดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น            4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	65
<p>ง-9 ผลของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตต่อการ            ดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น            4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	66
<p>ง-10 ผลของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตต่อการ            ดูดซับนิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น            4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	66
<p>ง-11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับนิกเกิล โดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 และ  <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00,            30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น            4 กรัม น้ำหนักเซลล์สด เป็นเวลา 5 วัน</p>	67
<p>ง-12 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505            ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม            (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	67
<p>ง-13 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505            ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม            (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	68
<p>ง-14 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505            ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม            (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	68
<p>ง-15 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505            ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม            (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน</p>	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-16 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	69
ง-17 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	70
ง-18 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	70
ง-19 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	71
ง-20 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	71
ง-21 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	72
ง-22 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	72
ง-23 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-24 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	73
ง-25 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	74
ง-26 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	74
ง-27 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	75
ง-28 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	75
ง-29 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	76
ง-30 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	76
ง-31 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-32 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	77
ง-33 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	78
ง-34 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	78
ง-35 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	79
ง-36 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	79
ง-37 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	80
ง-38 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	80
ง-39 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	81

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-40 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	81
ง-41 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	82
ง-42 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	82
ง-43 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	83
ง-44 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	83
ง-45 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	84
ง-46 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	84
ง-47 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-48 การดูดซับโลหะนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในสารละลายโลหะหนักผสมที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	85
ง-49 การดูดซับโลหะทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในสารละลายโลหะหนักผสมที่มีความเข้มข้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	86
ง-50 การดูดซับโลหะตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในสารละลายโลหะหนักผสมที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	86
ง-51 การดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในสารละลายโลหะหนักผสมที่มีความเข้มข้นของแต่ละโลหะหนัก 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	87
ง-52 การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในสารละลายโลหะหนักผสมที่มีความเข้มข้นของแต่ละโลหะหนัก 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร กับสารละลายโลหะเดี่ยว พีเอช 5 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักสด) เป็นเวลา 5 วัน	87
จ-1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับนิกเกิล โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สดและสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัสจินेट	89
จ-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลที่มีผลต่อการดูดซับโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	90
จ-3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงที่มีผลต่อการดูดซับโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ-4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับ โดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	92
จ-5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	93
จ-6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	94
จ-7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	95
จ-8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะเดี่ยวโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	96
จ-9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสมโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	97
จ-10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสมและสารละลายโลหะเดี่ยวโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงเส้นทางของมลพิษในระบบดิน-น้ำ-มนุษย์	2
2.1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า	6
2.2 ลักษณะเซลล์ของ <i>Chlorella</i> sp.	12
2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมอัลจิเนต	17
2.4 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิกรอกแผ่นวงจรพิมพ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	19
2.5 เครื่องอะตอมมิกรอกแผ่นวงจรพิมพ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	19
3.1 หัวเชื้อ <i>Chlorella</i> sp. A0505	22
3.2 เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที	23
3.3 การเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ในหลอดเลี้ยงแบบให้อากาศ	23
3.4 การตรึง <i>Chlorella</i> sp. A0505 ด้วยโซเดียมอัลจิเนต	24
3.5 <i>Chlorella</i> sp. A0505 ที่ผ่านการตรึงด้วยโซเดียมอัลจิเนต	25
4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักเกิดระหว่างสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 และสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต	28
4.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับที่เกิดโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	30
4.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	31
4.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	31
4.5 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับนิกเกิลโดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	34
4.6 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับทองแดงโดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	34
4.7 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด	35
4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักเกิด ทองแดง และตะกั่ว โดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สดในสารละลายโลหะเดี่ยว	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด ในสารละลายโลหะผสม	40
4.10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สดในสารละลายโลหะผสม และสารละลายโลหะเดี่ยว	40
4.11 ลักษณะของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สด ก่อนและหลังการดูดซับโลหะหนัก	41
4.12 ลักษณะของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต ก่อนและหลังการดูดซับโลหะหนัก	42
4.13 ลักษณะของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ก่อนและหลังการดูดซับโลหะหนัก	42
4.14 ลักษณะของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ก่อนและหลังการดูดซับโลหะหนัก	43
4.15 ลักษณะของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. A0505 เซลล์สดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังจากที่น่ากลับมามีแสงใหม่เป็นเวลา 5 วัน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมในอัตราที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยมีการพัฒนาค้นคว้าหาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ตลอดจนสามารถช่วยยกระดับรายได้ของประชาชนในประเทศดีขึ้น (รพีพร, 2542) แต่ในขณะเดียวกันการขยายตัวของอุตสาหกรรมก็ย่อมส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ ถ้าขาดการป้องกันและควบคุมมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาหมอกควันพิษทางดิน น้ำและอากาศ มลพิษเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไป (รังสรรค์, 2536) โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางน้ำนั้นเป็นปัญหาดังสิ่งแวดล้อมที่ถกเถียงกันรุนแรงมากขึ้น ตามอัตราการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน (ลัดดาวัลย์, 2537)

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ เช่น โรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (PCB) โรงงานชุบโลหะ โรงงานฟอกย้อม ทอผ้า โรงงานทำสี โรงงานแบตเตอรี่และถ่านไฟฉาย และอื่นๆ มักมีการใช้สารเคมีและโลหะหนักอย่างมากมาย ทำให้น้ำเสียจากโรงงานเหล่านี้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักค่อนข้างสูง โดยเฉพาะโลหะที่อยู่ในกลุ่มทรานสิชันและโพสทรานสิชัน ซึ่งรวมถึงทองแดง โครเมียม นิกเกิล ตะกั่วปรอท และอื่นๆ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ไม่สลายตัวตามธรรมชาติ (Lester, 1987) และถ้าปล่อยทิ้งแล้วจะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณที่มากเกินไปขีดความสามารถของแหล่งน้ำที่จะฟื้นฟูคุณภาพได้ (Self-Purification) ทำให้แหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย ไม่เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภค สร้างความเดือดร้อนให้กับประชาชนที่ใช้น้ำในด้านสุขภาพ (ลัดดาวัลย์, 2537) อีกทั้งสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำก็จะเกิดการสะสมโลหะหนัก และถ่ายทอดไปสู่มนุษย์ได้ในที่สุดโดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร (พรพิมล, 2542) ดังรูป 1.1 เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่สะสมโลหะหนักเอาไว้ก็จะเกิดการสะสมโลหะหนักเอาไว้ในร่างกาย

ในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีโลหะเจือปนนั้น อาจทำได้หลายวิธีเช่นการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีววิทยา โดยเฉพาะกระบวนการทางชีววิทยา พบว่ามีการใช้จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่ายมาทำการดูดซับโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาปริมาณ *Chlorella* sp. A0505 ที่เหมาะสมในการตรึงรูปกับไซโตียมอัลจินต
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักบางชนิด ด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยไซโตียมอัลจินต
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.3.1 หาวิธีการที่สามารถดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ได้ดีที่สุด
- 1.3.2 หาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในการตรึงรูปกับไซโตียมอัลจินต

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 เพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณสาหร่ายโดยใช้อาหารสูตร N-8 เพื่อให้มีปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการทดสอบการทดลอง
- 1.4.2 ทดสอบการดูดซับโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยไซโตียมอัลจินต
- 1.4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยไซโตียมอัลจินต
- 1.4.4 เปรียบเทียบผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในระดับต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505
- 1.4.5 เปรียบเทียบผลของพีเอชในระดับต่างๆต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ นิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505
- 1.4.6 สรุปผลการทดลอง วิเคราะห์และวิจารณ์

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่สามารถตรึงรูปกับไซโตียมอัลจินต เพื่อช่วยในการดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว
- 1.5.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ทองแดง และตะกั่วโดยการใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดและ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วย ไซโตียมอัลจินต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษา

โลหะส่วนมากจะมีเลขอะตอม 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุอยู่ในกลุ่มทรานซิชัน และโพสทรานซิชัน ซึ่งโลหะหนักนี้จะไม่สลายตัวตามธรรมชาติ โลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักเกือบทุกชนิดเป็นพิษ ดังนั้นจึงเป็นอันตรายต่อร่างกายโดยอาจทำให้เจ็บป่วย พิการหรือเสียชีวิตได้ โดยที่ความเป็นพิษที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการรบกวนกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย โดยกระบวนการที่สำคัญที่สุดคือ การรบกวนการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากโลหะหนักที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง เช่น ทองแดง ปรอท เงิน ไปจับกับหมู่อะมิโน อิมิโนซัลไฟดริล ของเอนไซม์ จึงทำให้ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีหมู่เหล่านี้ นอกจากนี้โลหะบางชนิด เช่น ทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท สามารถจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้คุณสมบัติในการลำเลียงสารต่างๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไป (พรพิมล, 2542)

##### 2.1.1 ทองแดง

ใช้กันมากในอุตสาหกรรมหุบ — เคลือบโลหะ ถ่านไฟฉาย ถ้าได้รับปริมาณมากจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง แต่หากร่างกายขาดสารนี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างกระดูก การสืบพันธุ์ การสร้างเม็ดเลือด (ศุภมาส, 2540)

สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่ยอมให้มีทองแดงได้ต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พุทธศักราช 2539

##### 2.1.2 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะสีชาวล้ำเงิน ทนต่อการกัดกร่อนจึงถูกนำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมหุบโลหะ แบตเตอรี่ โลหะผสม การถลุงนิกเกิล นิกเกิลแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งทางอากาศ ดิน และน้ำ ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช โดยจัดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ ส่วนมนุษย์จะทำให้มีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ เจ็บหน้าอก หรืออาจเกิดการสะสมในร่างกายเป็นเวลานานก็จะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำงานของปอด สมออง ตับ (ศุภมาส, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่ยอมให้มีทองแดงได้ต้องไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พุทธศักราช 2539

### 2.1.3 ตะกั่ว

ตะกั่วมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การทำเหมืองแร่ การถลุง การทำแบตเตอรี่และอื่นๆ ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางอากาศและการรับประทาน โดยจะเข้าไปกระจายอยู่ในอวัยวะต่างๆ เช่น สมอง ปอด ตับ ม้ามและมากที่สุดที่กระดูก มีผลทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติ แดกง่าย มีผลต่อเซลล์ประสาททำให้เกิดอาการปวดศีรษะ ความจำเสื่อม ระบบไตทำให้เกิดไตวาย ไตพิการ ส่วนผลทางด้านการศึกษาจะทำให้ไอสุจิของเพศชายและไข่ของเพศหญิงผิดปกติ เป็นหมัน (สุภมาส, 2540).

สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่ยอมให้มีทองแดงได้ต้องไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พุทธศักราช 2539

## 2.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม

ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกันตามประเภทของโรงงาน บางโรงงานต้องการน้ำใช้เพียงสำหรับการอุปโภคเท่านั้น แต่บางโรงงานอาจต้องการน้ำใช้ช่วยในกระบวนการผลิตสินค้า สิ่งเจือปนที่พบในน้ำเสียมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตอาหาร โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานกระดาษ จะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ส่วนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโลหะและสารเคมีจะมีปริมาณสารอนินทรีย์มาก (เปี่ยมศักดิ์, 2539)

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ (นวลพรรณและมงคล, 2544)

2.2.1 น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหล่อเย็น (Cooling Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักร

2.2.2 น้ำเสียจากกระบวนการชะล้าง (Wash Water) จะเป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการล้างวัตถุดิบต่างๆ ล้างเครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ น้ำเสียประเภทนี้จะมีความสกปรกและมีปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด

2.2.3 น้ำเสียจากกระบวนการผลิต (Process Wastewater) เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต

2.2.4 น้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ มักจะเป็นน้ำทิ้งจากการชำระล้างร่างกายของคนงาน น้ำทิ้งจากห้องน้ำและอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

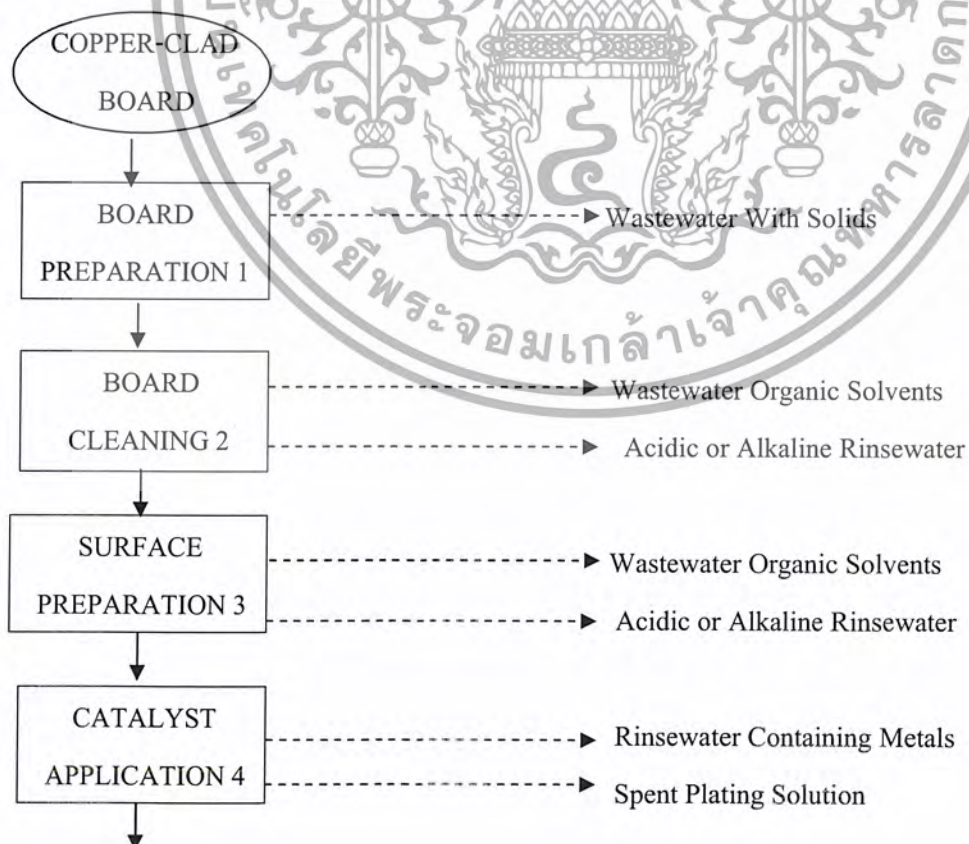
### 2.3 โรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า

เป็นโรงงานที่ผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของอุปกรณ์เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่าง ๆ จากกระบวนการผลิต ก่อให้เกิดน้ำทิ้งที่ประกอบไปด้วยโลหะหนัก เช่น ทองแดง เหล็ก นิกเกิล แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องบำบัดก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งรับน้ำสาธารณะ (ลัดดาวัลย์,2537)

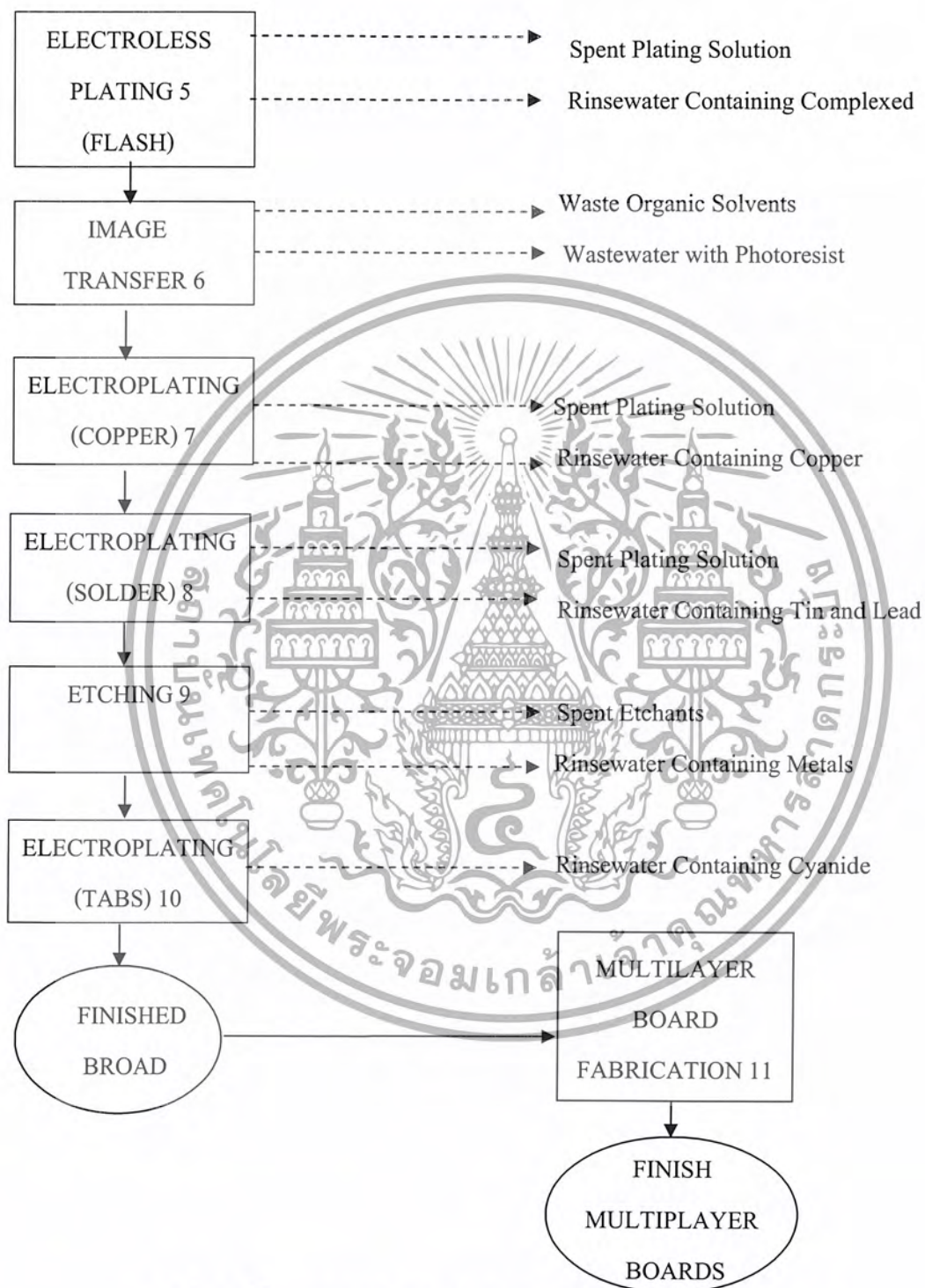
#### 2.3.1 กระบวนการผลิต PCB ของบริษัทตราไก่ พี ซี บี

กระบวนการผลิต PCB เป็นกระบวนการผลิตทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อีกประเภทหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูง โดยผลิต PCB จากแผ่นวัสดุซึ่งไม่นำไฟฟ้า เช่น พลาสติก ไฟเบอร์กลาส และมีส่วนของวงจรไฟฟ้าซึ่งทำจากโลหะ โดยปกตินิยมใช้ทองแดง PCBใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไม่เพียงแต่ใช้ในอุปกรณ์ระดับสูงที่สลับซับซ้อน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องคำนวณ เครื่องบันทึก เครื่องเสียง อุปกรณ์ควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องมือทางการแพทย์เท่านั้นแต่ยังรวมถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆในบ้านอีกด้วย (Visvanathan,1992 อ้างถึงใน ลัดดาวัลย์,2537)

กระบวนการผลิต PCB ของบริษัทตราไก่ พี ซี บี ดังรูป 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board)

ที่มา : ( Visvanathan,1992 อ้างถึงใน ลัดดาวัลย์,2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 แหล่งกำเนิดและคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต PCB

ในการผลิต PCB จะประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน ลัดดาวัลย์(2537) ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิด และคุณสมบัติของน้ำทิ้งดังนี้

น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจึงมาจากกระบวนการผลิต PCB เกิดจากขั้นตอน

- Cleaning
- Electroless Plating
- Etching
- Masking
- Electroplating

น้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ ดังกล่าวสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

#### 2.3.2.1 น้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปน

โลหะที่มีการนำไฟฟ้าสูงหลายชนิด เช่น เงิน ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ดีบุก ถูกใช้ในอุตสาหกรรมพีซีบี โลหะเหล่านี้จะเกิดขึ้นในขั้นตอน Electroless และ Electrolytic Plating เป็นแหล่งสำคัญอันดับแรก เมื่อทำการทิ้งสารละลายเข้มข้นที่ใช้ในการชุบหรือการทึมน้ำล้างชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการชุบน้ำทิ้งนี้จะมีโลหะเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูง แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของการพิมพ์ลายวงจร(Inking) และการกัดลายวงจร (Etching) โดยใช้สารเคมีทั้งในสารละลายที่ใช้กัดลายวงจรและน้ำล้าง หลังจากกระบวนการนี้จะมีโลหะเจือปนอยู่เช่นกัน น้ำทิ้งที่ประกอบด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

แหล่งกำเนิดน้ำทิ้งหลักมาจากขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นพิมพ์ (Cleaning) การเตรียมชิ้นงานและ Image Transfer Unit เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปนจะพบว่าปริมาณน้ำทิ้งที่ประกอบด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มีน้อยกว่ามาก ดังนั้นน้ำทิ้งที่มีโลหะเจือปนจึงเป็นมลพิษหลักที่จำเป็นต้องทำการบำบัดต่อไป

ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีความแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการ และปัจจัยอื่นๆ อีกมากมาย ดังนั้นวิธีการบำบัดน้ำเสียจึงมีความแตกต่างกันด้วยในโรงงานนั้นๆ เช่น โรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า (PCB) จากบริษัท คราโก้ พีซีบี มีการใช้โลหะหนักจำพวก ทองแดง เงิน นิกเกิล โครเมียม ทำให้หลังจากผ่านกระบวนการ Electroless และ Electrolytic Plating แล้วน้ำทิ้งนี้จะมีโลหะอยู่ในปริมาณสูง

## 2.4 การบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ รวมทั้งโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยทั่วไปแล้วมี 3 กระบวนการ

### 2.4.1 การบำบัดทางกายภาพ

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางกายภาพนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกของแข็งขนาดใหญ่ สารแขวนลอย น้ำมัน และไขมัน โดยอาศัยแรงต่างๆกระทำเช่น แรงโน้มถ่วง แรงลอยตัว เป็นต้น วิธีทางกายภาพที่นิยมใช้เช่น การกรองด้วยตะแกรง (Screening) การตกตะกอน (Sedimentation) การลอยตัว (Flotation) เป็นต้น (นวลพรรณและมงคล, 2544)

### 2.4.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี

การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีนิยมใช้การสร้างตะกอน (Coagulation) เพื่อให้สารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนยากที่อยู่ในน้ำเสีย ให้สามารถตกตะกอนลงมาได้โดยใช้สารสร้างตะกอนที่เหมาะสม และยังใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก สารเคมีต่างๆ

วิธีทางกายภาพที่นิยมใช้กันมากเช่น การสะเทิน (Neutralization) การเกิดออกซิเดชัน - รีดักชัน (Oxidation - Reduction) การตกตะกอนผลึก (Precipitation) (นวลพรรณ และมงคล, 2544)

ลัดดาวัลย์ (2537) ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณทองแดง และเหล็ก จากโรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าโดยกระบวนการทางเคมี ซึ่งจะทดสอบกับน้ำสังเคราะห์ที่ทั้งชนิดน้ำทิ้งแยก คือมีเฉพาะ  $\text{CuCl}_2$  หรือ  $\text{FeCl}_3$  และน้ำทิ้งรวมคือมี  $\text{CuCl}_2$  ผสมรวมกับ  $\text{FeCl}_3$  โดยใช้  $\text{NaOH}$  และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นสารตกตะกอน พบว่า  $\text{NaOH}$  มีประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดง และเหล็กสูงกว่าการใช้  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ดังนั้นจึงเลือกใช้  $\text{NaOH}$  และจากการทดลองกับน้ำทิ้งสังเคราะห์ชนิดแยกเฉพาะ  $\text{CuCl}_2$  พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงคือ 10.8-11.0 และสามารถลดปริมาณทองแดงได้ 99.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำทิ้งสังเคราะห์ชนิดแยกเฉพาะ  $\text{FeCl}_3$  พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กคือ 6.8-7.3 และสามารถลดปริมาณเหล็กได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในน้ำทิ้งสังเคราะห์รวมที่มี  $\text{CuCl}_2$  ผสมรวมกับ  $\text{FeCl}_3$  นั้นพบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงและเหล็กคือ 10.0-10.7 และสามารถลดปริมาณโลหะทั้งสองได้ 99.8 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้อาจใช้วิธีทางกายภาพและเคมีเช่น การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) ออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis) (พิมลและชัยวัฒน์, 2539)

แม้ว่าการบำบัดโดยวิธีทางเคมีจะนิยมใช้มากที่สุด ในกรณีที่ในน้ำเสียนั้นมีปริมาณโลหะหนักอยู่มากเพราะสามารถกำจัดโลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำทิ้งให้หมดไปได้ รวดเร็ว ง่าย สะดวก แต่หากในน้ำเสียนั้นมีปริมาณโลหะไม่สูงนักการบำบัดทางเคมีจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายยุ่งยาก ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีทางชีวภาพ หรือทางชีววิทยามาใช้ (นวลพรรณและมงคล, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา

การลดปริมาณ โลหะหนักโดยวิธีนี้จะใช้จุลินทรีย์ชนิดต่างๆเช่น สาหร่าย แบคทีเรีย ยีสต์ และ รา มาแยกโลหะออกจากน้ำเสียโดยการดูดซับโลหะหนักไว้ที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สามารถทำได้สะดวก และเป็นการลดต้นทุนในการกำจัดโลหะหนักด้วย หรืออาจใช้วิธีการตกตะกอนภายนอกเซลล์ โดยสารเมแทบอลิท์ที่เซลล์สร้างขึ้น การดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่เซลล์สร้างขึ้นเป็นต้น วิธีการบำบัดทางชีววิทยานี้เป็นวิธีการบำบัดที่เลียนแบบธรรมชาติ ไม่มีจุดอึดตัวในการดูดซับ เนื่องจากเซลล์มีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นตลอดเวลา ทำให้สามารถที่จะดูดซับได้อย่างต่อเนื่อง (Brierley,1990)

## 2.5 การดูดซับโลหะหนักทางชีวภาพ

### 2.5.1 การดูดซับทางชีวภาพ

การดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การดูดกลืนโลหะหนักหรือสารกัมมันตภาพรังสีมาไว้ที่ผนังเซลล์ หรือภายในเซลล์ โดยชีวมวลของจุลินทรีย์ (Microbial Biomass) ซึ่งจะรวมทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตโดยกระบวนการดูดซับโลหะหนัก อาจเกิดได้หลายกระบวนการ เช่น Complexation, Coordination, Chelation of Metals, Ion Exchange, Adsorption และ Inorganic Microprecipitation (Volesky,1990)

Aksu และคณะ (1992) ได้กล่าวถึง การดูดซับทางชีวภาพ หมายถึง การใช้จุลินทรีย์เป็นตัวยึดเกาะชีวภาพในการดึงเอาโลหะหนักที่อยู่ในน้ำทิ้งโรงงาน หรือเป็นการนำเอาสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น แบคทีเรีย สาหร่าย รา มาช่วยในการดูดซับ โลหะหนักที่ละลายในน้ำ รวมทั้งสารกัมมันตภาพรังสี

### 2.5.2 กลไกการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

การดูดซับโลหะหนัก โดยจุลินทรีย์ไม่ได้เกิดจากกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งแต่จะเกิดจากหลายกระบวนการร่วมกันซึ่ง ซีรวิทซ์ (2541) สามารถแบ่งกลไกการดูดซับโลหะหนักได้ 2 กลไก

#### 2.5.2.1 กลไกการดูดซับโลหะหนักขณะที่เซลล์มีชีวิต

กลไกนี้จะเกิดขึ้นขณะที่เซลล์ซึ่งยังมีเมแทบอลิซึมอยู่ โดยเกิดจาก

##### 2.5.2.1.1เคมีของหมู่ฟังก์ชัน (Function Group) ของเซลล์กับไอออนของโลหะ

กลไกนี้จะเกิดขึ้นที่ผนังเซลล์โดยตรงอย่างรวดเร็ว โดยที่ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์จะประกอบด้วยส่วนของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ มากมาย เช่น ฟอสเฟต (Phosphate) คาร์บอกซิล (Carboxyl) เอมีน (Amine) และฟอสเฟตไดเอสเทอร์ (Phosphate Diester) ซึ่งจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนของ

โลหะที่อยู่รอบๆ เซลล์ ปฏิกริยานี้เป็นปฏิกริยาแบบไม่จำเพาะเจาะจง (Nonspecific Adsorption) เพราะอาจเกิดปฏิกริยาที่ตำแหน่งใดๆ บนผิวเซลล์

#### 2.5.2.1.2 กระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์

บางครั้งหมู่โลหะที่จะทำปฏิกริยากับเซลล์นั้น มักจะเกิดขึ้นภายในเซลล์มากกว่าที่จะเกิดขึ้นที่ผิวเซลล์ กระบวนการนี้จะต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์เป็นตัวขนส่งไอออนของโลหะผ่านทางผนังเซลล์เพื่อเข้าสู่ภายในเซลล์

Volesky (1990) ได้ทดลองใช้ *Saccharomyces cerevisiae* ในการดูดซับยูเรเนียม พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จะพบว่าภายในเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีลักษณะคล้ายเข็มคริสตัลไลต์ (Needle - Like Crystals) ซึ่งสามารถสังเกตได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscopy) ในขณะที่ผนังเซลล์ไม่มีความเปลี่ยนแปลง

Volesky และคณะ (1993) ได้ทดลองใช้ *Saccharomyces cerevisiae* ในการดูดซับแคดเมียม โดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที 5 ชั่วโมง จนถึง 15 ชั่วโมง เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของโลหะไว้ภายในแวคคิวโอลในขณะที่ผนังเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงเลย

ธีรวิทย์(2541) อธิบายว่าเซลล์ที่มีชีวิตนอกจากจะอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมแทบอลิซึมแล้ว ยังสามารถนำสารเข้าสู่เซลล์ (Solute-Transport Process) ได้อีก 4 วิธี คือ การนำพาสารแบบพาสซีฟ (Passive Transport) การนำพาสารแบบแฟร์ (Facilitated Diffusion) การนำพาแบบแอคทีฟ (Active Transport) และการนำพาสารแบบการเคลื่อนย้ายหมู่ (Group-Transport)

#### 2.2.5.2 กลไกการดูดซับโลหะหนักโดยเซลล์ที่ไม่มีชีวิต

สำหรับการดูดซับโลหะหนักเซลล์ที่ไม่มีชีวิตนี้ จะเกิดจากการทำปฏิกริยาเคมีของหมู่ฟังก์ชันของเซลล์กับไอออนของโลหะเท่านั้น เนื่องจากเมื่อเซลล์ตาย กระบวนการเมแทบอลิซึมก็จะหยุดการทำงาน (ธีรวิทย์, 2541)

## 2.6 สาหร่าย *Chlorella* sp.

Beyerinck นักวิทยาศาสตร์ชาวเนเธอร์แลนด์ ได้ค้นพบ *Chlorella* sp. เป็นคนแรกในปี พ.ศ. 2433 และสามารถจัดลำดับอนุกรมวิธานได้ดังนี้ (วิสัย, 2536)

Kingdom	Protista
Division	Chlorophyta
Order	Chlorellales
Family	Chlorellaceae
Genus	<i>Chlorella</i>

### 2.6.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *Chlorella* sp.

*Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว (Unicellular Green Algae) อยู่ในดิวิชันคลอโรไฟตา (Chlorophyta) เซลล์มีลักษณะคล้าย *Chlorococcum* เคลื่อนที่ไม่ได้ เซลล์มีรูปร่างกลม หรือรี ขนาด 2-10 ไมครอน มีคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ที่โค้งชิดกับผนังเซลล์ ไม่มีไพเรโนออยด์ (Pyrenoid) และสติจมา (Stigma) (ปาจรีย์ และคณะ, 2540 อ้างถึงใน กฤษณะ และคณะ, 2545) ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะเซลล์ของ *Chlorella* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การสืบพันธุ์

*Chlorella* sp. จะมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการสร้างอโตสปอร์ (Autospore) อยู่ในเซลล์แม่ มีรูปร่างเหมือนเซลล์แม่ทุกประการ แต่มีขนาดของสปอร์เล็กกว่า ออโตสปอร์จะมีจำนวน 2, 4, 8 หรือ 16 สปอร์ (เพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ) หรืออาจเรียกสปอร์นี้ว่า อะพลาโนสปอร์ (Aplanospore)(ปาจริย์ และคณะ,2540 อ้างถึงใน กฤษณะ และคณะ,2545)

## 2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของ *Chlorella* sp.

จากการทดลองของ รินดาและคณะ(2541) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของ *Chlorella* sp. เป็นดังนี้

### 2.6.3.1 สารอาหาร

สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการสารอาหารทั้งชนิด และปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกัน สำหรับ *Chlorella* sp. จะใช้อาหารสูตร N-8 ในการเพาะเลี้ยง

### 2.6.3.2 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อการเจริญเติบโตถ้าแสงน้อยเกินไปจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตช้า แต่ถ้าแสงมากเกินไปก็อาจทำให้สาหร่ายตายได้ แสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตมากที่สุดคือ แสงแดด แต่เนื่องจากทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงมาใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทน ที่ความเข้มขึ้น 2,400 ลักส์ ตลอด 24 ชั่วโมง

### 2.6.3.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงคือ อุณหภูมิห้องไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิสูงมากเกินไป จะทำให้สาหร่ายตายได้

### 2.6.3.4 เชื้อสาหร่าย

เชื้อสาหร่ายมีความสำคัญมาก โดยสาหร่ายที่จะนำมาเพาะเลี้ยง ควรให้อยู่ในระยะที่กำลังเจริญเติบโต (ช่วง Log Phase) และต้องไม่มีสิ่งปนเปื้อนมาก เพราะถ้าสาหร่ายเจริญเติบโตช้า ในขณะที่สิ่งปนเปื้อนนั้นเจริญได้เร็ว อาหารก็จะถูกแย่ง พื้นที่ในการเจริญก็ถูกแย่ง ในที่สุดสาหร่ายอาจตายได้

### 2.6.3.5 พีเอช

พีเอชของน้ำหรืออาหาร ต้องปรับให้เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุดสำหรับ *Chlorella* sp. จะต้องปรับพีเอชให้เป็น 6.8 เสมอ

#### 2.6.4 ประโยชน์ของ *Chlorella* sp.

จากการทดลองของ สัตย์ชัย และคณะ(2540) อ้างถึงใน เกริกเกียรติ และคณะ(2543) กล่าวถึง ประโยชน์ของ *Chlorella* sp. ดังนี้

- 2.6.4.1 อาหารเสริมสำหรับสุขภาพของมนุษย์
- 2.6.4.2 อาหารสำหรับสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณ โปรตีนสูง
- 2.6.4.3 อาหารสำหรับลูกสัตว์น้ำ
- 2.6.4.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
- 2.6.4.5 โปรตีนเซลล์เดียว
- 2.6.4.6 การบำบัดน้ำเสีย

#### 2.6.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด โลหะหนัก

Aksu และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{6+}$  โดย *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* ซึ่งเป็นพวกโพรคาริโอต และ *Synechocystis* sp. ซึ่งเป็นพวกยูคาริโอต โดยได้ทำการทดลองในสถานะต่างๆ คือ พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก และความเข้มข้นของมวลเซลล์ พบว่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{6+}$  คือ 5.0, 4.5 และ 2.0 ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักนั้นพบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับของสาหร่ายจะลดลง เช่น *C. vulgaris* ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 36.7, 57.5, 104.7, 147.0 และ 291.8 พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับ  $\text{Cu}^{2+}$  เป็น 85.0, 61.9, 38.2, 29.7 และ 17.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด พบว่าสาหร่าย *C. vulgaris* มีประสิทธิภาพในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Cr}^{6+}$  ได้มากกว่า *Scenedesmus obliquus* และ *Synechocystis* sp. จะดูดซับได้น้อยที่สุด สำหรับความเข้มข้นของสาหร่ายนั้นพบว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นของสาหร่ายก็จะสามารถดูดซับได้ดียิ่งขึ้น

Wong และคณะ(2000) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาหร่ายสีเขียว 2 ชนิด คือ *Chlorella vulgaris* (สาหร่ายที่ใช้กันในทางการค้าซึ่งได้จาก Carolina Biological Supplies Company) และ *Chlorella miniata* (สาหร่ายที่แยกได้จากน้ำเสียในท้องถิ่น) ในการดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$  ในน้ำทิ้งของโรงงานหุบโลหะที่มีปริมาณ  $\text{Ni}^{2+}$  10 ถึง 40 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำการดูดซับแบบ Batch Experiment พบว่า *C. vulgaris* มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 33-41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่า *C. miniata* ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของ  $\text{Ni}^{2+}$  ที่ถูกดูดซับโดย *C. vulgaris*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ *C. miniata* คือ 641.76 และ 1367.62 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า *C. Miniata* มีประสิทธิภาพในการดูดซับ  $Ni^{2+}$  ได้ดีกว่า *C. vulgaris*

Wong และคณะ(2001) ได้ศึกษาการใช้ *Chlorella vulgaris* และ *Chlorella miniata* ในการดูดซับ  $Ni^{2+}$  แบบ Repeated Experiment โดยในสารละลายมีความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{2+}$  เป็น 30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยจะนำเอาเซลล์สาหร่ายทั้งสองไปดูดซับในพลาสติก ที่ความเร็วยรอบ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิ  $22 \pm 2$  องศาเซลเซียส การดูดซับในแต่ละครั้งจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทำการดูดซับครั้งแรกเสร็จก็จะนำเอาเซลล์นั้นกลับมาใช้ใหม่เรื่อยๆจนครบ 10 ครั้ง โดยพบว่า การดูดซับใน 5 ครั้งแรกนั้น *C. miniata* จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ และในช่วง 5 ครั้งหลังจากนั้นการดูดซับจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อทำการดูดซับครั้งที่ 10 พบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณ  $Ni^{2+}$  ที่ถูกดูดซับคือ 9.21 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 0.92 เปอร์เซ็นต์ ต่อหน้าหนักเซลล์แห้ง ในขณะที่ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักเกิดของ *C. vulgaris* จะลดลงจาก 50 เป็น 30 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นปริมาณ  $Ni^{2+}$  ที่ถูกดูดซับคือ 1.71 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 0.17 เปอร์เซ็นต์ ต่อหน้าหนักเซลล์แห้ง ดังนั้น *C. miniata* จึงมีประสิทธิภาพในการกำจัด  $Ni^{2+}$  ได้ดีกว่า *C. vulgaris* และพบว่าสาหร่ายทั้ง 2 นี้ยังคงสามารถแบ่งเซลล์ได้ตามปกติ หลังจากที่ถูกทดลองในแต่ละครั้ง (24 ชั่วโมง) แสดงว่าเซลล์ของสาหร่ายนั้นไม่ตาย แต่  $Ni^{2+}$  จะไปมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์ และยังไปยับยั้งกิจกรรมของคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ลดลง

Aksu (2002) ได้ศึกษาการใช้เซลล์แห้งของ *Chlorella vulgaris* ในการดูดซับ  $Ni^{2+}$  แบบ Batch Experiment ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิและความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{2+}$  ที่ทำให้มีการดูดซับมากที่สุด ที่พีเอช 4.5 ซึ่งเป็นพีเอชที่สมที่สุดในการดูดซับ (Aksu และคณะ ,1999) โดยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้ 15, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{2+}$  100 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของสาหร่าย 1 กรัมต่อลิตร พบว่าความสามารถในการดูดซับที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นั้น *C. vulgaris* สามารถดูดซับได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ 35, 25 และ 15 องศาเซลเซียส โดยอัตราการดูดซับจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการดูดซับผ่านไป 30-60 นาที และหลังจาก 120 นาทีแล้วจะไม่มี การดูดซับเลย

ส่วนการศึกษาถึงความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{2+}$  นั้นได้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 50 จนถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 15 ถึง 45 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{2+}$  เป็น 52.4 และ 245.7 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น จะสามารถดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

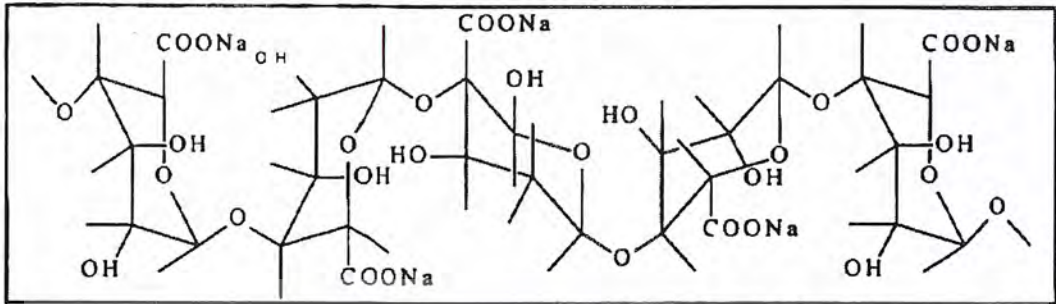
ได้ 25.0 และ 48.1 มิลลิกรัมต่อกรัม และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้น 48.0 และ 250.0 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น *C. vulgaris* สามารถดูดซับได้ 35.4 และ 60.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังนั้น การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $Ni^{+2}$  จะทำให้อัตราการดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย

## 2.7 โซเดียมอัลจิเนต

สำหรับพาหะที่ใช้ในการตรึงสาหร่าย *Chlorella* คือ ใช้โซเดียมอัลจิเนตเนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันจำนวนมากที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ บนผนังเซลล์ได้ ซึ่งส่วนมากได้แก่ หมู่อะมิโน คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล อัลจิเนตจัดเป็นพาหะที่ดักจับเซลล์ได้ง่ายและสะดวก จึงเป็นพาหะที่นิยมใช้กันมาก เมื่อพิจารณาจากจำนวนงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่จะเห็นได้ว่า อัลจิเนตเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมใช้กันมากที่สุด จากโครงสร้างจะเห็นได้ว่าจะประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซิล ในแต่ละหน่วยย่อยซึ่งจะไปจับยึดกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  เป็นต้น ทำให้ได้เจลที่มีความเสถียร ลักษณะรูปร่างของเม็ดเจลที่ได้จะเป็นเม็ดกลม โดยเม็ดเจลจะแข็งตัวได้เนื่องจาก  $Ca^{2+}$  ไปแทนที่โซเดียมไอออนของโซเดียมอัลจิเนต ความแข็งแรงของเม็ดเจลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของเจล นอกจากนี้ อัตราส่วนของ Mannuronic Acid และ Glucuronic Acid ก็จะมีผลต่อความเสถียรของเจลด้วย โดยถ้ามี Glucuronic Acid มากก็ทำให้ได้เจลที่มีความเสถียรสูง (ชนิกานต์, 2545) โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมอัลจิเนต รูปที่ 2.3

Ashok และคณะ (2002) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ได้จากกระบวนการ Electroplating ในโรงงานอุตสาหกรรม 2 โรงงานที่มีโลหะจำพวก Cd, Cu, Cr, Ni, Mn, Fe และ Zn ปนเปื้อนอยู่โดยการใช้ Calcium Alginate Beads (Ca Beads) และ Calcium Alginate Beads Containing Humic Acid (Ca Beads + HA) ในการดูดซับ และได้ศึกษาการลดความเป็นพิษของโลหะหนักด้วยวิธี Microtox Assay การดูดซับโลหะหนักนั้นจะทำการปล่อยน้ำทิ้งผ่านเข้าไปในคอลัมน์ 2 คอลัมน์ ที่บรรจุ Ca Beads และ Ca Beads + HA พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง Ca Beads + HA จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจากทั้งสองโรงงานได้ดีกว่า และสามารถที่จะกักเก็บปริมาณโลหะไว้ในเม็ดบีดได้มากกว่าการใช้ Ca Beads ซึ่งอาจเนื่องมาจากจำนวนหมู่ฟังก์ชันใน Ca Beads นั้นมีน้อยกว่าและถูกยึดติดแน่น ในขณะที่ Ca Beads + HA นั้นจะมีจำนวนหมู่ฟังก์ชันมากกว่าเพราะมีทั้งหมู่ฟังก์ชันของ HA ด้วย ทำให้สามารถดูดซับไอออนของโลหะได้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมอัลจินเต (ชนิกานต์, 2545)

## 2.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ก็ไม่สูงนัก ดังนั้น ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ทันสมัย โดยทั่วไปจะมีเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของเทคนิคนี้มีสูงมาก เพราะสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ ซึ่งนับว่ามากพอควรสำหรับเครื่องมือเพียงอย่างเดียว ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแม่นยำ และอมร(2534) ได้อธิบายถึงหลักการ เทคนิคต่างๆ และส่วนประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทร โฟ โตมิเตอร์ ดังนี้

### 2.8.1 หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งๆ โดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เพราะแสงที่ความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น Spectroscopic Line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (Dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง 58549 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vaporization) หรืออาจจะแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นหรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

การเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชันอิมิสชันและฟลูออเรสเซนซ์นั้นมีลักษณะการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (First Excited State) มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรกโดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็นอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

แบบที่ 2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรกแล้วปล่อยพลังงานออกมาเมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะทำให้โฟตอนออกมา เรียกว่า อะตอมมิกอิมิสชัน

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับลงมาสู่สถานะพื้นก็จะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิกฟลูออเรสเซนส์

2.8.2 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

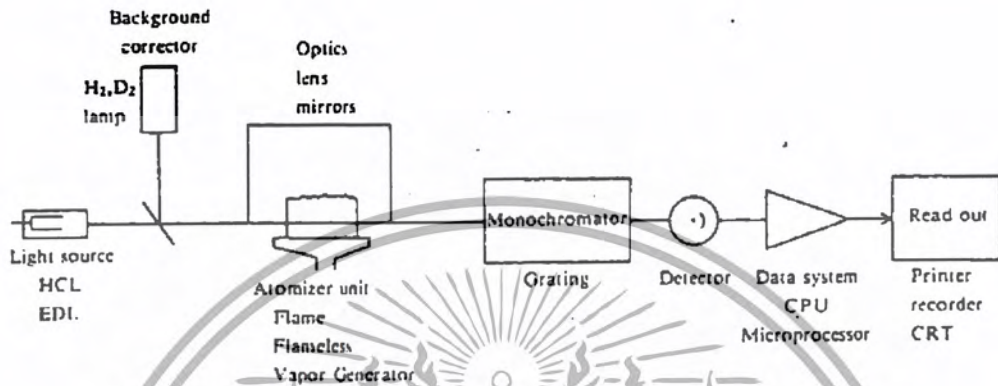
2.8.2.1 ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame) ที่เหมาะสม

2.8.2.2 ใช้ Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electrothermal Atomizer หรือ Graphite Furnance) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ค่าต่าง ๆ กันและใช้เวลาต่าง ๆ กันได้

2.8.2.3 ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดซึ่งเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่าย ๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้การวิเคราะห์ของธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb

2.8.2.4 ใช้ Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะเพื่อที่จะให้เข้าใจถึงขั้นตอนของเทคนิคการวิเคราะห์ทาง AAS ตลอดจนหน้าที่ของ

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง AAS ได้เข้าใจง่ายขึ้น โดยจะได้อธิบายและให้รายละเอียดเป็นส่วน ๆ ไปด้วยดังต่อไปนี้ ดังรูป 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (แมนและอมร, 2534)



รูปที่ 2.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Varian AA-1475)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.8.3.1 Hollow Cathode Lamp ใช้เป็น Light Source ใน Atomic Absorption Analysis Lamp ทำด้วยโลหะชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการศึกษา เช่น การศึกษาตะกั่วก็ต้องใช้ Hollow Cathode Lamp ที่ทำด้วยตะกั่วเช่นเดียวกัน ภายในบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อย เช่น Neon หรือ Argon ไว้ที่ความดันต่ำ ๆ ประมาณ 2-3 mm.Hg เมื่อ Apply Voltage ประมาณ 1000 Volt เข้าไปจะเกิด Discharged ขึ้น ซึ่งทำให้ Argon (Ar) เกิด Ionized ไปเป็น  $Ar^+$



ซึ่ง  $Ar^+$  ที่เกิดขึ้นจะวิ่งไปชนอะตอมของตะกั่ว ก็จะถ่ายเทพลังงานให้แก่อะตอมของตะกั่ว ซึ่งอยู่ที่ Ground State และถูกกระตุ้นไปอยู่ที่ Excited State เมื่อกลับสู่ Ground State อีกครั้ง ก็จะปล่อยพลังงานออกมาในรูป Electromagnetic Radiation ซึ่งมี Characteristic เป็น Resonance Line ของตะกั่ว

2.8.3.2 Flame Atomizer ใช้ Spray Sample Solution ให้เป็นฝอยเล็ก ๆ เพื่อลดการรบกวนที่เกิดจากสารอื่นปนเข้ามา และทำให้ Sample Absorb Thermal Energy จาก Flame กลายเป็น Vapor Atom ได้ง่ายขึ้น Flame ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่างกันจะให้อุณหภูมิต่างกันไปด้วย เช่น

Air/Acetylene ให้อุณหภูมิประมาณ 2300 องศาเซลเซียส

Air/Propene ให้อุณหภูมิประมาณ 1900 องศาเซลเซียส

Nitrous Oxide/Acetylene ให้อุณหภูมิประมาณ 3000 องศาเซลเซียส

2.8.3.3 Wavelength Selector แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

Chopper ใช้เลือก Wavelength ที่เหมาะสมในการวัดธาตุใดธาตุหนึ่งเพื่อให้ Absorbed Radiant Energy มากที่สุดในการวัดหาปริมาณของสาร

Monochromator มีหน้าที่ทำให้แสงจาก Source ที่กระจายทุกทิศทางเป็นลำแสงขนานเพื่อผ่านเข้าไปยัง Path Cell ของ Sample

2.8.3.4 Detector ใช้วัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกจาก Sample

2.8.3.5 Read Out System เป็นส่วนแสดงค่า Absorbance ที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เชื้อจุลินทรีย์

3.1.1 สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 จากห้องปฏิบัติการสาหร่ายภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 อาหารสูตร N-8
- 3.2.2 โซเดียมฮัลเจนไตต์
- 3.2.3 แคลเซียมคลอไรด์
- 3.2.4 สารละลายทองแดงเข้มข้น 1000 mg/l
- 3.2.5 สารละลายนิกเกิลเข้มข้น 1000 mg/l
- 3.2.6 สารละลายตะกั่วเข้มข้น 1000 mg/l
- 3.2.7 น้ำปราศจากไอออน

#### 3.3 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.3.1 เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.3.2 หลอดเลี้ยงสาหร่ายแบบให้อากาศ
- 3.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง  
(Sartorius Analytic:DR/14000V)
- 3.3.4 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH Meter : HM-7E)
- 3.3.5 หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave : LMS : VS –1321 – 60)
- 3.3.6 เครื่องเขย่า (Shaker : Innova 2000)
- 3.3.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge : Sanyo :Falcon 6/300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์  
(Atomic Absorption Spectrophotometer : Avanta)
- 3.3.9 ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow : FASTER :Bio48)
- 3.3.10 เข็มฉีดยาปริมาตร 25 มิลลิลิตร
- 3.3.11 Magnetic Stirror และ Magnetic Bar
- 3.3.12 กล้องจุลทรรศน์

#### 3.4 การเพิ่มปริมาณเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

วัดการเจริญของหัวเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่จะนำมาเพิ่มปริมาณโดยใช้วิธีการนับจำนวนเซลล์ใน Heamacytometer ซึ่งเป็นสไลด์สำหรับนับจำนวนจุลินทรีย์ ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว ขนาดเล็ก ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ให้มีปริมาณ  $1.68 \times 10^6$  เซลล์ต่อมิลลิเมตร นำหัวเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีอาหาร N-8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำพลาสติกทั้งหมดไปวางลงในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที โดยให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสงประมาณ 2400 ลักส์) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ ดังรูป 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 หัวเชื้อ *Chlorella* sp. A0505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที

เพิ่มปริมาณสาหร่ายให้มากขึ้น โดยเลี้ยงในหลอดเลี้ยงสาหร่ายแบบใช้อากาศขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้หัวเชื้อสาหร่าย 20 มิลลิลิตร ให้อาหาร N-8 ปริมาตร 180 มิลลิลิตร ให้อากาศและแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสงประมาณ 2400 ลักซ์) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ประมาณ 1-2 สัปดาห์ ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในหลอดเลี้ยงแบบให้อากาศ

### 3.5 การเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

เก็บเกี่ยวโดยนำสาหร่ายทั้งหมดที่เลี้ยงไว้ในข้อ 3.4 นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อดึงเอาน้ำออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบประมาณ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์เพื่อป้องกันเซลล์แตก เทส่วนในทิ้งไป ล้างเซลล์ที่เหลือด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว และทำการปั่นเหวี่ยงซ้ำอีก 1 รอบ เซลล์สำหรับ *Chlorella* sp. A0505 ที่ได้มีลักษณะคล้ายครีมสีเขียว

### 3.6 การเตรียมสารละลายโซเดียมอัลจินเตและการขึ้นรูปโซเดียมอัลจินเต

#### 3.6.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมอัลจินเต

ชั่งโซเดียมอัลจินเต 1 กรัม ในน้ำ DI (Deionization) ปริมาตร 99 มิลลิลิตร กวนด้วย Magnetic Stirrer ตลอดเวลาจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน

#### 3.6.2 การขึ้นรูปสาหร่ายด้วยโซเดียมอัลจินเต

3.6.2.1 เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 โมล โดยละลายแคลเซียมคลอไรด์ 14.7 กรัม ในน้ำ DI 1 ลิตร

3.6.2.2 เตรียมสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่จะใช้ตรึงกับโซเดียมอัลจินเต โดยชั่งเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่เตรียมไว้ให้ได้น้ำหนัก 4.00 กรัม นำไปผสมรวมกับสารละลายโซเดียมอัลจินเตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3.6.2.3 นำสาหร่ายที่ผสมรวมกับสารละลายโซเดียมอัลจินเต ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.2.2 ไปหยดลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.2.1 ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร และกวนด้วย Magnetic Stirrer ตลอดเวลาเมื่อหยดเสร็จแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดโซเดียมอัลจินเตมีความคงตัวดีขึ้นและล้างด้วยน้ำ DI 2 ครั้ง เพื่อปรับสภาพให้เป็นกลาง ดังรูป 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 การตรึง *Chlorella* sp. A0505 ด้วยโซเดียมอัลจินเต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 *Chlorella* sp. A0505 ที่ผ่านการตรึงด้วยโซเดียมอัลจินเตต

### 3.7 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก

3.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ระหว่างเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตต

3.7.1.1 เตรียมสาหร่ายที่จะตรึงรูปกับโซเดียมอัลจินเตต โดยซึ่งสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5 ให้ได้น้ำหนัก 4.00 กรัมจากนั้นนำไปผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจินเตตที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และขึ้นรูปตามวิธีในข้อ 3.6.2

3.7.1.2 นำสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด หนัก 4.00 กรัม ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.5 และ สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตตในข้อ 3.7.1.1 ใส่ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายผสมระหว่างสารละลายโลหะหนักและอาหาร N - 8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักนิกเกิล 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที และให้แสงต่อเนื่องตลอดเวลา (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์)

3.7.1.3 เก็บตัวอย่างจากพลาสติกทุกวัน วันละ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วัน (การทดลองละ 3 ซ้ำ) นำผลที่ได้มาวัดประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.7.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของ นิกเกิล ทองแดงและตะกั่วต่อสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

3.7.2.1 นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักมากที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.1) มาใส่ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายเริ่มต้นของ นิกเกิล 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกั่ว 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงอย่างต่อเนื่อง

3.7.2.2 เก็บตัวอย่างจากพลาสติกทุกวัน วันละ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วัน (การทดลองละ 3 ซ้ำ) นำผลที่ได้ไปวัดประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.7.3 การศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลทองแดง และตะกั่ว ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

3.7.3.1 นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักมากที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.1) มาใส่ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายโลหะหนักนิกเกิล พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ทองแดง พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ตะกั่ว พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 โดยที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักที่มีผลต่อการดูดซับมากที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.2) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงอย่างต่อเนื่อง (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์)

3.7.3.2 เก็บตัวอย่างจากพลาสติกทุกวัน วันละ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วัน (การทดลองละ 3 ซ้ำ) นำผลที่ได้ไปวัดประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.7.4 การศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ต่อการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลายโลหะหนักผสม

3.7.4.1 นำเซลล์สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักมากที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.1) มาใส่ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายผสมระหว่าง นิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของแต่ละโลหะหนักที่ดีที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.2) และมีค่าพีเอชที่ดีที่สุด (จากการทดลองในข้อ 3.7.3) แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ให้แสงอย่างต่อเนื่อง (ความเข้มแสงประมาณ 2,400 ลักส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4.2 เก็บตัวอย่างจากพลาสติกทุกวัน วันละ 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วัน (การทดลองละ 3 ซ้ำ) นำผลที่ได้ไปวัดประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.7.5 การศึกษาการรอดชีวิตของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต โดยการส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตลักษณะของเซลล์ และการสังเกตสีของสาหร่ายจากภายนอก นำสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดไปเลี้ยงในอาหาร สูตร N-8 อีกครั้งเพื่อดูการรอดชีวิต

### 3.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ RCB และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

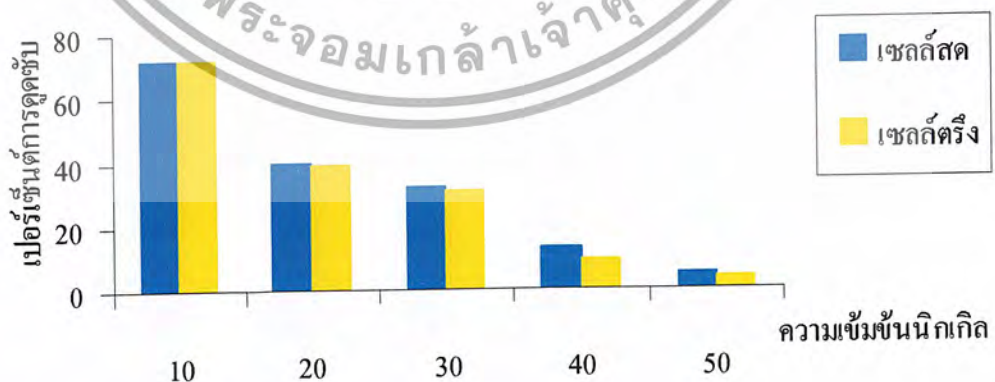
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

##### เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัมน้ำหนักสด ในการดูดซับโลหะหนักเกิดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 เป็นเวลา 5 วัน พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลได้ดีพอๆกับสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต นั่นคือสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุด 71.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 รองลงมาคือ 39.45, 32.54, 12.78 ในวันที่ 3 และ 5.12 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ที่ระดับความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตสามารถดูดซับได้ดีที่สุด 71.94 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 รองลงมาคือ 39.12, 31.13, 9.13 และ 3.53 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 ที่ระดับความเข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิลระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505

เซลล์สด และสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลของแต่ละตัวดูดซับ โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยไซเดียมอัลจินเต สามารถดูดซับนิกเกิลได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ในการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดง และตะกั่ว โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ ฟือซ และประสิทธิภาพการดูดซับโลหะในสารละลายโลหะผสมนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว จากการทดลองของ Abu Al – Rub และคณะ (2003) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลโดยใช้ไซเดียมอัลจินเตตรีงรูป สาหร่ายตรีงรูปด้วยไซเดียมอัลจินเต และสาหร่ายเซลล์สด พบว่า เซลล์สาหร่ายตรีงรูปและไซเดียมอัลจินเตตรีงรูปมีประสิทธิภาพการดูดซับได้ดีกว่าการใช้สาหร่ายเซลล์สด

#### 4.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล ทองแดง และ ตะกั่ว ต่อการดูดซับโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

จากผลการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายนิกเกิล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นนิกเกิล 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด น้ำหนัก 4 กรัม เป็นเวลานาน 5 วัน พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถดูดซับได้ 71.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 39.45, 32.54, 12.78 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 และ 5.12 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 (รูปที่ 4.2) คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.89, 9.76, 5.11 และ 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถดูดซับได้ 77.35 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.74 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 42.65 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3, 32.57 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2, 19.76 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 และ 6.77 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 8.53, 9.77, 7.90 และ 3.39 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.3) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถดูดซับได้ 94.10 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 คิดเป็นปริมาณ

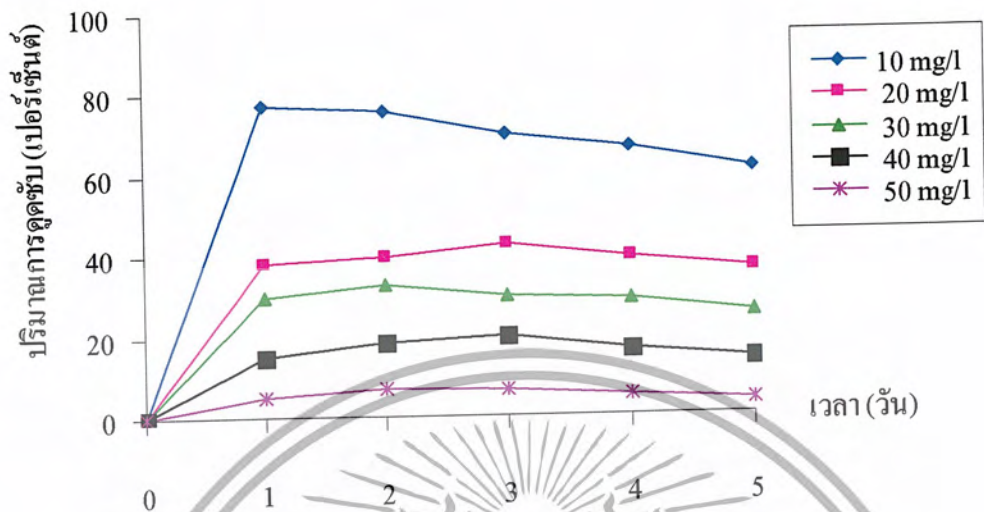
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับ 9.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 20.00, 30.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 48.62 , 33.86 และ 9.39 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 9.72, 10.16 และ 4.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 40.00 ดูดซับได้ 19.00 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 3 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.60 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่4.4) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

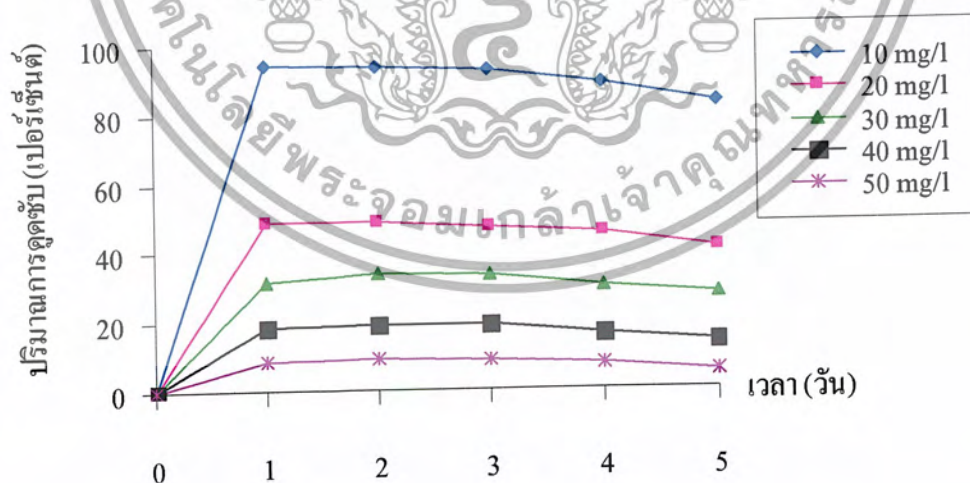


รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับที่เกิดโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับของแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505  
เซลล์สด



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505  
เซลล์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย นิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว ที่มีผลต่อการดูดซับ โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว ดีที่สุดคือ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งดีกว่าความเข้มข้นประมาณ 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกันการทดลองของวนิดาและคณะ(2541) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วจากน้ำทิ้งโรงงานแบตเตอรี่ที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วเท่ากับ 8.51 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเชื้อ *Zoogloea ramigera* และเชื้อ *Rhizopus arrhizus* พบว่า *Z. ramigera* และ *R. arrhizus* สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด คือ 89.82 และ 88.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วจากสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ โดยใช้กากมวนยีสต์จากโรงงานผลิตเบียร์ พบว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถถูกดูดซับได้ดีที่สุด คือ 91.76 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความเข้มข้น 100.00, 150.00 และ 200.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 91.27, 91.45 และ 51.18 ตามลำดับ ซึ่งที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้น จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง โดยที่ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับมากที่สุด คือ 2 ถึง 15 นาที หลังจากนั้นการดูดซับจะเข้าสู่จุดสมดุลคือมีการดูดซับคงที่ เนื่องจากพื้นที่ในการดูดซับลดลงและการดูดซับจะลดลงตามลำดับ สันชัย และคณะ(2541) ได้ศึกษาการดูดซับโครเมียม (+6) โดยสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 2.80, 5.94 และ 7.78 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้น 2.80 มิลลิกรัมต่อลิตร *C. vulgaris* สามารถดูดซับโครเมียม (+6) ได้ดีที่สุด และดีกว่าที่ความเข้มข้น 5.94 และ 7.78 มิลลิกรัมต่อลิตร Pagnanelli (2003) อธิบายว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักนั้นก็มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก โดยที่ความเข้มข้นโลหะต่างๆจะถูกดูดซับโดยบริเวณดูดซับจำเพาะ (specific adsorption site) ได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นของโลหะสูงๆ เพราะยังความเข้มข้นของโลหะเพิ่มมากขึ้น บริเวณดูดซับก็ยิ่งอิ่มตัวไปด้วยไอออน ทำให้บริเวณที่จะสามารถดูดซับได้นั้นลดลง การดูดซับโลหะก็จะลดลงด้วย Mehta and Gaur (2001) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิล และ ทองแดง โดย *C. vulgaris* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆพบว่า ที่ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิล และทองแดง 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร *C. vulgaris* สามารถดูดซับนิกเกิลและทองแดงได้มากถึง 93 และ 96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ดูดซับได้เพียง 85 และ 91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ Sag and Kutsal (1998) ศึกษาการดูดซับโครเมียม เหล็ก และทองแดง โดยเชื้อ *Rhizopus arrhizus* ในการดูดซับประจุของโลหะทั้ง 3 ชนิด จะแสดงระดับความเข้มข้นต่างๆ ของโลหะและอัตราส่วนของโลหะต่างๆ ที่มีอยู่ตั้งแต่อัตราการดูดซับเริ่มต้น สมดุลในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับ และการดูดซับจะลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าผลเป็นไปในทางเดียวกันคือยิ่งความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะสูงขึ้น การดูดซับจะลดลง

#### 4.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

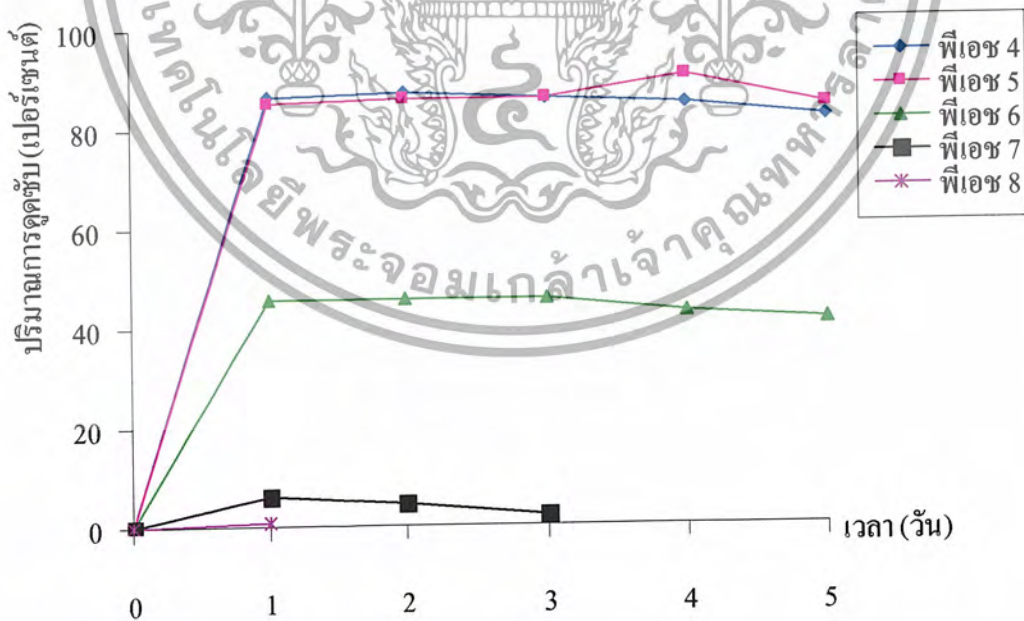
จากการทดลองศึกษาการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วที่พีเอช 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัมน้ำหนักสด เป็นเวลา 5 วัน พบว่า *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดสามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.0 คือสามารถดูดซับได้ 82.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพีเอช 4.0, 7.0, 6.0 สามารถดูดซับได้ 78.85, 76.62, 73.71 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ตามลำดับ ส่วนพีเอช 8.0 สามารถดูดซับได้ 69.33 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 8.27, 7.89, 7.66, 7.37 และ 6.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.5) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการดูดซับนิกเกิลโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ที่พีเอช 5.0 จะ แตกต่างจากพีเอช 4, 7, 6 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ การดูดซับทองแดงโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.0 คือสามารถดูดซับได้ 90.28 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 รองลงมาคือ 87.38, 45.59 ที่พีเอช 4.0 และ 6.0 ที่วันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 9.03, 8.74 และ 4.56 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการดูดซับทองแดงโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ที่พีเอช 5 แตกต่างจากพีเอช 4 และ 6 อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพีเอช 7.0 และ 8.0 นั้น *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด คือ 5.98 และ 0.96 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 0.59 และ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนวันที่ 4, 5 ของพีเอช 7.0 และ วันที่ 2, 3, 4 และ 5 ของพีเอช 8.0 นั้น ไม่สามารถหาประสิทธิภาพการดูดซับได้ ทั้งนี้เนื่องจากที่พีเอช 7.0 และ 8.0 จะทำให้สารละลายทองแดงเกิดการตกตะกอน ส่วนการดูดซับตะกั่วโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดพบว่าดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.0 คือสามารถดูดซับตะกั่วได้ 95.32 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 รองลงมาคือที่พีเอช 4.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 สามารถดูดซับได้ 91.39, 86.89, 64.46 และ 31.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่วันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 9.53, 9.14, 8.69, 6.45 และ 3.62 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.7) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่าการดูดซับตะกั่วโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ที่พีเอช 5 แตกต่างจากพีเอช 4, 6, 7 และ 8 อย่างมีนัยสำคัญ และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดพบว่าสามารถดูดซับตะกั่วได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีกว่าทองแดงและนิกเกิล คือสามารถดูดซับได้ 91.39, 90.28 และ 82.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.8)

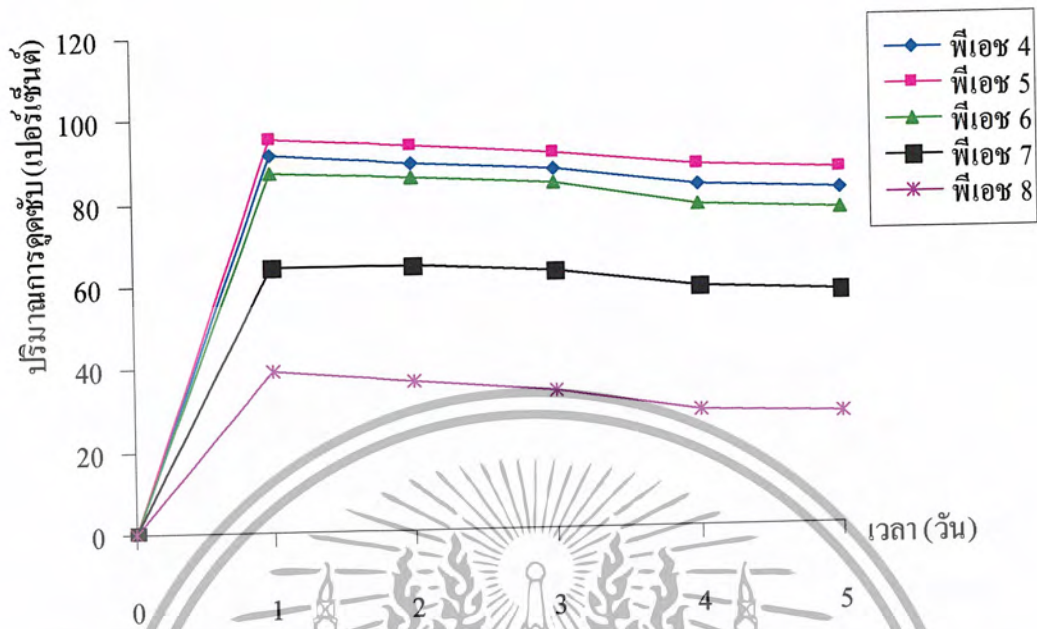


รูปที่ 4.5 ผลของฟิชที่มีต่อการดูดซับนิกเกิลโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

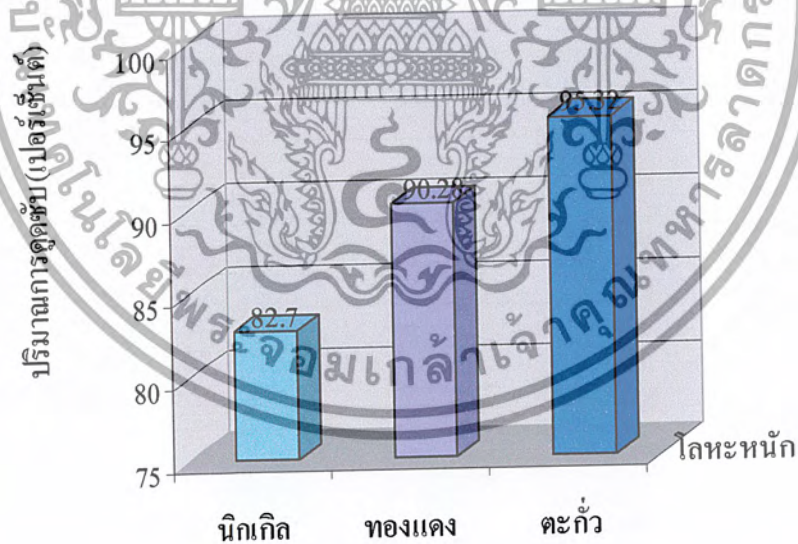


รูปที่ 4.6 ผลของฟิชที่มีต่อการดูดซับทองแดงโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับตะกั่วโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด



รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดในสารละลายโลหะเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองของชลผกาและคณะ(2543) พบว่าการละลายของตะกั่วในสารละลายนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ซึ่งที่พีเอชมากกว่า 8.0 ตะกั่วจะตกตะกอนอยู่ในรูปตะกั่วออกไซด์ ( $Pb(OH)_2$ ) ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลงได้เช่นเดียวกับการทดลองของ รพีพร (2542) ศึกษาความสามารถในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วโดยใช้กากยีสต์ ที่พีเอช 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 พบว่า *Saccharomyces cerevisiae* สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่พีเอช 4.0 คือดูดซับได้ 60.43 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพีเอช 3.0, 5.0, 6.0 และ 2.0 สามารถดูดซับได้ 58.23, 42.17, 40.14 และ 15.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การดูดซับทองแดงนั้นพบว่าพีเอชที่สามารถดูดซับได้ดีที่สุดคือพีเอช 4.0 สามารถดูดซับได้ 69.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพีเอช 3.0, 5.0, 6.0 และ 2.0 ซึ่งจะดูดซับได้ 67.89, 65.55, 45.26 และ 19.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงที่พีเอช 4.0 และ 3.0 นั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนการดูดซับตะกั่วนั้นพบว่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับมากที่สุดคือ พีเอช 5.0 ซึ่งสามารถดูดซับได้ 74.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพีเอช 4.0, 6.0, 3.0 และ 2.0 ซึ่งสามารถดูดซับได้ 72.94, 70.87, 65.16 และ 11.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Ozturk (2004) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ นิกเกิล และทองแดง โดยเชื้อจุลินทรีย์ *Streptomyces coelicolor* A3(2) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิล และทองแดงได้ดีที่สุดคือ 6.0 และ 5.0 ตามลำดับ ซึ่งที่พีเอชของสารละลายนิกเกิลและทองแดงมากกว่า 8.0 และ 7.0 จะทำให้สารละลายเกิดการตกตะกอนของนิกเกิลไฮดรอกไซด์ ( $Ni(OH)_2$ ) และคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ( $Cu(OH)_2$ ) ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง อีกทั้งยังเกิดจากธรรมชาติในการทำปฏิกิริยาของโลหะและผนังเซลล์ของแบคทีเรียพวกแกรมบวก ซึ่งจะประกอบด้วยสารพวก เปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ไตโคอิก (Teichoic) หรือ กรดไตคูโรนิก (Teichuronic acid) ทำให้ผนังเซลล์ที่มีสภาพเป็นลบและหากในสารละลายโลหะมีพีเอชเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงผลักรันอย่างมากระหว่างโลหะและผนังเซลล์ของแบคทีเรียทำให้การดูดซับลดลงได้

Padmavathy and Vasudevan (2003) ศึกษาถึงกลไกการดูดซับนิกเกิล โดยยีสต์ขนมปัง (*Saccharomyces cerevisiae*) พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับนิกเกิลมากที่สุดคือพีเอช 6.75 และที่พีเอชมากกว่า 6.75 การดูดซับจะลดลงซึ่ง Friis and Myers-Keith (1986) ได้อธิบายว่าที่พีเอชต่ำจะทำให้ในสารละลายมีไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) อยู่ในปริมาณมากกว่าประจุของนิกเกิล ทำให้ไฮโดรเนียมไอออนไปจับกับผนังเซลล์ของยีสต์แทนที่จะเป็นไอออนของนิกเกิล แต่ที่พีเอชเพิ่มมากขึ้นการแย่งกันจับกับผนังเซลล์ของไฮโดรเนียมไอออนจะลดลง ทำให้ไอออนของนิกเกิลซึ่งมีประจุบวกสอง สามารถจับกับผนังเซลล์มากขึ้น การดูดซับก็จะเพิ่มมากขึ้น

Pagnanelli (2003) ได้ทดลองใช้ *Sphaerotilus natans* ในการดูดซับตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ซึ่งผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับนั้น พบว่าโดยทั่วไปการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชเพิ่มขึ้นแต่ต้องไม่มากกว่าพีเอชที่ทำให้เกิดการตกตะกอน จากการทดลองที่พีเอชต่างๆ พบว่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและทองแดงมากที่สุดคือพีเอช 5.0 ซึ่งถ้าพีเอชต่ำและสูงเกินไปจะทำให้การดูดซับลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสระหว่างโลหะกับน้ำ ดังนี้



และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับแอกทิฟไซด์ของเซลล์ ดังนี้



ที่พีเอชต่ำๆจะทำให้พันธะไฮโดรเจนของน้ำ (HO-H) และ แอกทิฟไซด์ของเซลล์ (S-H) แตกตัวเป็นไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ซึ่งจะไปแข่งกันกับไอออนของโลหะในการจับกับตัวดูดซับทำให้การดูดซับลดลง Pagnanelli (2003) ยังรายงานว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโดย *Sphaerotilus natans* จะดูดซับตะกั่วได้มากกว่าทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ตามลำดับ เพราะตะกั่วมีค่า Adsorbent Affinity มากกว่าทองแดง สังกะสี และแคดเมียม ดังนี้ ตะกั่ว(-7.71) , ทองแดง(-8.00), สังกะสี(-8.96) และแคดเมียม(-10.80)

Ayla and Dursun (2003) ศึกษาการดูดซับตะกั่ว นิกเกิล และโครเมียม โดย *S. cerevisiae* พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับมากที่สุดคือ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการดูดซับจะลดลงเพราะบริเวณจำเพาะในการจับกับโลหะของผนังเซลล์นั้นเปลี่ยนไป และพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว และนิกเกิลมากที่สุดคือ 5.0 เพราะที่พีเอช 5.0 นั้นตะกั่ว และนิกเกิลซึ่งมีประจุบวกสองนั้นเหมาะสมอย่างยิ่งในการทำปฏิกิริยากับผนังเซลล์ ที่มีประจุเป็นลบมากที่สุด ส่วนพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมนั้นคือพีเอชต่ำกว่า 2.0 นอกจากนี้ยังพบว่า *S. cerevisiae* สามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่า นิกเกิลและโครเมียม แสดงว่าตะกั่วมีความสามารถในการจับกับผนังเซลล์ของ *S. cerevisiae* มากกว่านิกเกิล และ โครเมียม

Gin and Tang (2002) ทดลองใช้สาหร่าย *Oocystis* sp. ในการดูดซับแคดเมียม และทองแดงที่พีเอชต่างๆพบว่าสามารถดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าทองแดง โดยแคดเมียมถูกดูดซับได้ดีที่สุดที่พีเอช 6.0 ถึง 7.0 ถ้าพีเอชมากกว่า 10.5 จะทำให้แคดเมียมเกิดการตกตะกอน ส่วนทองแดงนั้นพบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับมากที่สุดคือพีเอช 3.5 ถึง 5.5 แต่ที่พีเอชต่ำกว่า 2.5 และมากกว่า 7.0 จะทำให้การดูดซับต่ำมากหรือแทบจะไม่ดูดซับเลย เนื่องจากการตกตะกอน ส่วนพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดย *Oocystis* sp. มากที่สุดคือพีเอช 5.5

Mehta and Gaur (2001) ศึกษาลักษณะและสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิล และทองแดง โดย *C. vulgaris* ที่พีเอชต่างๆ พบว่า พีเอช 5.0 และ 3.5 เป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับนิกเกิลและทองแดงมากที่สุด

Romero และคณะ (2000) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีส โครเมียม นิกเกิล สังกะสี และทองแดง โดย *C. vulgaris* ที่พีเอช 4.0, 6.0 และ 8.0 พบว่า ที่พีเอช 4.0 การดูดซับนิกเกิลเกิดขึ้นน้อยมาก ที่พีเอช 6.0 สามารถดูดซับได้ 46.30 เปอร์เซ็นต์ และที่พีเอช 8.0 นั้นจะมีการดูดซับได้มากที่สุดคือ 81.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการดูดซับทองแดงพบว่า ที่พีเอช 4.0 สามารถดูดซับได้ 59.00 เปอร์เซ็นต์ และที่พีเอช 6.0 และ 8.0 สามารถดูดซับได้ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Romero ได้อธิบายว่า เนื่องจากที่พีเอช 8.0 นั้นจะเกิดการตกตะกอนทำให้ความเข้มข้นในสารละลายเริ่มต้นมีน้อยกว่าในสารละลายที่พีเอช 4.0 ทำให้สาหร่าย *C. vulgaris* สามารถดูดซับได้หมด 100.00 เปอร์เซ็นต์ หรือเกือบหมด

Donmez และคณะ (1999) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดง และนิกเกิล โดย *C. vulgaris* , *Scenedesmus obliquus* และ *Synechocystis* sp. พบว่า สาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงแลนิกเกิลได้ดีที่สุดที่พีเอช 5.0 และ 4.5 ตามลำดับ

Crist (1981) ได้อธิบายว่า ผนังเซลล์ของสาหร่ายที่ประกอบด้วยลิแกนด์ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล ฟอสเฟต อิมิดาโซล และหมู่อะมิโน จะมีประจุสุทธิเป็นลบจึงทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะซึ่งมีประจุบวกได้โดยจะทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกของโลหะและประจุลบของผนังเซลล์สาหร่าย

Matheikal and Yu (1999) ศึกษาถึงการใช้สาหร่ายทะเลจากออสเตรเลีย คือ *Durvillaea potatorum* (DP95Ca) และ *Ecklonia radiata* (ER95Ca) ในการดูดซับตะกั่ว และทองแดง พบว่า พีเอช ที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและทองแดง คือ 5.0 ซึ่ง Clayton (1981) ได้อธิบายว่าการดูดซับโลหะขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันของผนังเซลล์สาหร่ายว่าอยู่ในสภาพโปรโตเนชัน (protonation) หรือ ดีโปรโตเนชัน (deprotonation) และค่า pKa ด้วย โดยผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาลโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย พอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส กรดอัลจินิก และฟูแคน ซึ่งพอลิเมอร์ทั้งสามนี้จะมีผลต่อการจับกับไอออนของโลหะ โดยที่พีเอชต่ำหมู่ฟังก์ชันของเซลล์จะอยู่ในสภาพโปรโตเนชัน (ประจุเป็นบวก) ทำให้ไม่สามารถจับกับไอออนของโลหะที่มีประจุบวกได้ การดูดซับจะลดลง แต่ถ้าพีเอชเพิ่มขึ้นจะทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นดีโปรโตเนชัน(ประจุลบ) ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าลดลง การดูดซับก็จะเพิ่มมากขึ้น

Aksu and Kutsal (1990) ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนัก ทองแดง สังกะสี เหล็ก โครเมียม และตะกั่ว โดยสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 25 , 35, 25 - 35, 35 - 50 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 4.0 - 4.5, 4.0 - 4.5, 1.0 - 2.0 , 1.5 - 2.0 และ 5.0 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า *Chlorella* sp. A0505 สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ทองแดง และนิกเกิล ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Pagnanelli (2003) *Chlorella* sp. A0505 สามารถดูดซับโลหะทั้งสามชนิดได้ดีที่พีเอช 5.0 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ayla and Dursun (2003) และ Matheickal and Yu (1999)

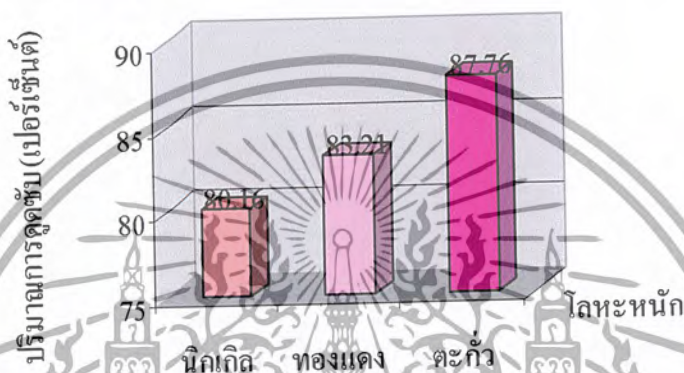
#### 4.4 ผลการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลายโลหะผสม โดย *Chlorella* sp.

##### A0505 เซลล์สด

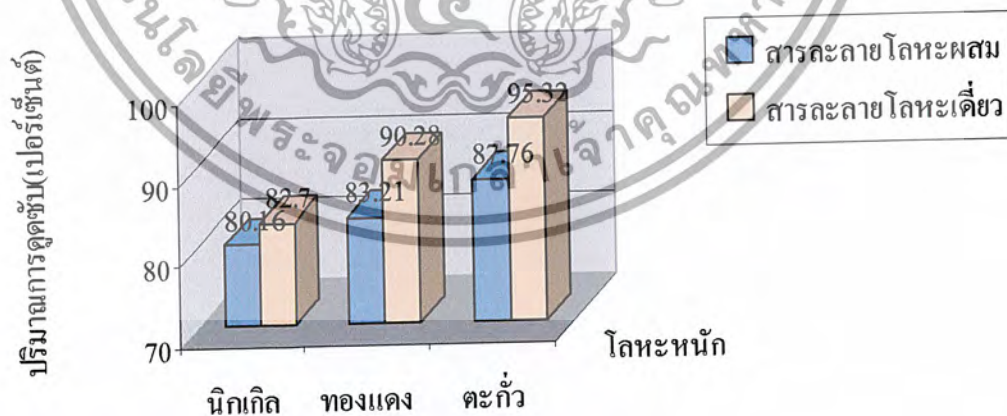
จากการทดลองศึกษาการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแต่ละโลหะ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัมน้ำหนักสด เป็นเวลา 5 วัน พบว่า *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดสามารถดูดซับตะกั่วได้มากที่สุด คือ 87.76 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 รองลงมาคือทองแดง และนิกเกิลที่สามารถดูดซับได้ 83.21 และ 80.16 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2 และ 1 ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการดูดซับตะกั่ว ทองแดง และนิกเกิล 8.77, 8.32 และ 8.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) และเมื่อนำผลการดูดซับในสารละลายโลหะผสมที่ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 มาเปรียบเทียบกับผลการดูดซับในสารละลายโลหะเดี่ยวที่ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว ในสารละลายโลหะเดี่ยวได้ดีกว่าในสารละลายผสม นั่นคือ สามารถดูดซับตะกั่ว ทองแดงและ นิกเกิลได้ 95.32, 90.28 และ 82.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณการดูดซับตะกั่ว ทองแดงและนิกเกิล 9.53, 9.03 และ 8.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ รพีพร (2541) ที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะทองแดงและตะกั่วโดย *S. cerevisiae* ในสารละลายโลหะเดี่ยว และสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง และตะกั่วเท่ากันคือ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 พบว่าการดูดซับทองแดงในสารละลายโลหะทองแดงได้ผลดังนี้ 67.89, 69.50, 65.55 และ 45.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการดูดซับทองแดงในสารละลายโลหะทองแดงผสมกับตะกั่วสามารถดูดซับได้ 64.04, 69.22, 64.17 และ 44.75 เปอร์เซ็นต์ที่พีเอชต่างๆตามลำดับ จากผลการดูดซับทองแดงจากทั้งสองสารละลายพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับตะกั่วในสารละลายโลหะตะกั่วสามารถดูดซับได้ 65.16, 72.94, 74.81 และ 70.87 เปอร์เซ็นต์ที่พีเอชต่างๆ ตามลำดับ ส่วนการดูดซับตะกั่วในสารละลายโลหะตะกั่วผสมกับทองแดง สามารถดูดซับได้ 59.80, 70.21, 71.80 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

67.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการดูดซับตะกั่วจากทั้งสองสารละลายพบว่าการดูดซับตะกั่วในสารละลายโลหะเดี่ยวดีกว่าในสารละลายโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance และเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยใช้ Duncan Multiple Rank Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะเดี่ยวดีกว่าการดูดซับในสารละลายโลหะผสม



รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดในสารละลายโลหะผสม



รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมและสารละลายโลหะเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลของสารละลายโลหะหนักเกิด ทองแดง และตะกั่ว ที่มีต่อลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp.

##### A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเต

การศึกษาลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเต ทำการศึกษาใน 2 ลักษณะคือ ศึกษาลักษณะจากภายนอก และศึกษา ลักษณะภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนำ *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเต ที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักเป็นเวลา 5 วันมาทำการศึกษา พบว่า ลักษณะของสาหร่ายจากการสังเกตจากภายนอกจะเปลี่ยนไปคือสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ก่อนที่จะดูดซับจะมีลักษณะเป็นสีเขียว หลังจากผ่านการดูดซับโลหะแล้วพบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดมีการเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวน้ำตาล (รูปที่ 4.11) *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตก่อนทำการดูดซับจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม สีเขียว หลังจากผ่านการดูดซับโลหะแล้วพบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตมีการ เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาล ขนาดของเม็ดเล็กลง (รูปที่ 4.12) ลักษณะของสาหร่ายจากการสังเกตภายใต้ กล้องจุลทรรศน์ของ *Chlorella* sp. A0505 และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตนั้น ก็จะเปลี่ยนไป คือลักษณะของสาหร่ายก่อนการดูดซับเซลล์จะมีลักษณะกลม มองเห็นคลอโรพิลล์สีเขียวชัดเจน (รูปที่ 4.13) หลังจากดูดซับแล้วพบว่าเซลล์มีลักษณะกลมเล็กกว่าปกติ มองเห็นเซลล์ เป็นสีน้ำตาลดำสลับกับคลอโรพิลล์ที่เป็นสีเขียว (รูปที่ 4.14)



ก.



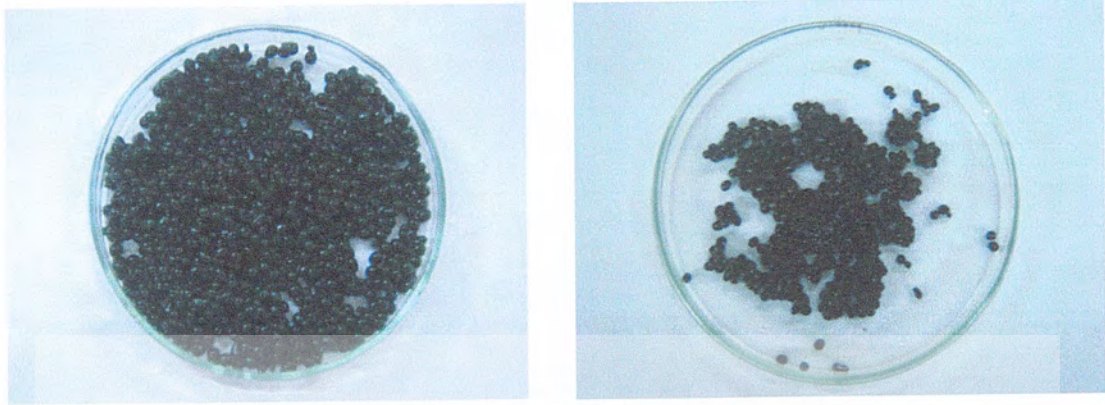
ข.

#### รูปที่ 4.11 ลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

ก. ก่อนการดูดซับ

ข. หลังการดูดซับโลหะเป็นเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.

ข.

รูปที่ 4.12 ลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่เลี้ยงด้วยโซเดียมอัลจิเนต

ก. ก่อนการดูดซับ

ข. หลังการดูดซับโลหะเป็นเวลา 5 วัน



ก.

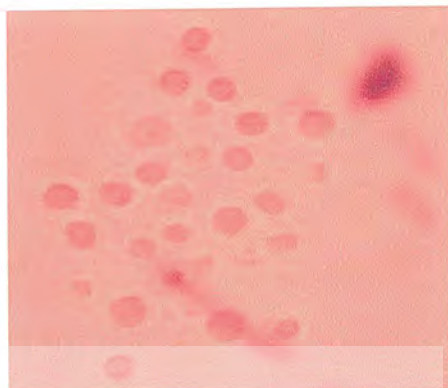
ข.

รูปที่ 4.13 ลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ก. ก่อนการดูดซับ ( กำลังขยาย 100X )

ข. หลังการดูดซับโลหะเป็นเวลา 5 วัน ( กำลังขยาย 100X )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.

ข.

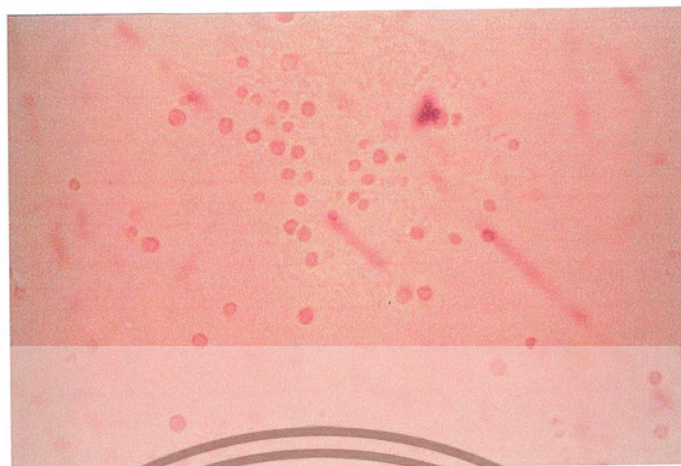
รูปที่ 4.14 ลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ครึ่งรูปด้วยโซเดียมอัลจินต ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ก. ก่อนการดูดซับ (กำลังขยาย 100X)

ข. หลังการดูดซับโลหะเป็นเวลา 5 วัน (กำลังขยาย 100X)

เมื่อนำสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ที่ผ่านการดูดซับแล้วนำมาเลี้ยงใหม่ในอาหารสูตร N-8 อีกครั้งเป็นเวลา 5 วัน เพื่อทดสอบความมีชีวิตพบว่าสาหร่ายยังคงมีสีน้ำตาลเหมือนเดิม ดังรูปที่ 4.15 จากการทดลองของ Wong และคณะ(2000) ได้ศึกษาการใช้ *Chlorella vulgaris* และ *Chlorella miniata* ในการดูดซับ  $Ni^{2+}$  แบบ Repeated Experiment โดยพบว่าการดูดซับใน 5 ครั้งแรกนั้น *C. miniata* จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ และในช่วง 5 ครั้งหลังจากนั้นการดูดซับจะลดลงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อทำการดูดซับครั้งที่ 10 พบว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสาหร่ายทั้ง 2 นี้ยังคงสามารถแบ่งเซลล์ได้ตามปกติ หลังจากที่ถูกทดลองในแต่ละครั้ง (24 ชั่วโมง) แสดงว่าเซลล์ของสาหร่ายนั้นไม่ตาย แต่  $Ni^{2+}$  จะไปมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์ และยังไปยับยั้งกิจกรรมของคลอโรฟิลล์เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ลดลง ดังนั้นจึงคาดว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ที่ใช้ในการทดลองนี้น่าจะยังคงมีชีวิตอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดภายใต้กล้องจุลทรรศน์หลังจากที่นำกลับมาเลี้ยงใหม่ในเป็นเวลา 5 วัน ( กำลังขยาย 40X )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต เป็นเวลา 5 วันที่ความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรพบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิลได้ดีพอๆกับสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต นั่นคือสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุด 71.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 รองลงมาคือ 39.45, 32.54, 12.78 ในวันที่ 3 และ 5.12 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ที่ระดับความเข้มข้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตสามารถดูดซับได้ดีที่สุด 71.94 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 รองลงมาคือ 39.12, 31.13, 9.13 และ 3.53 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 ที่ระดับความเข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะระหว่างสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ตรีงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

5.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล ทองแดงและตะกั่ว ต่อการดูดซับโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด เป็นเวลา 5 วัน แปรผันค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของแต่ละโลหะเป็น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด สามารถดูดซับนิกเกิลได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือสามารถดูดซับได้ 71.98 เปอร์เซ็นต์ ที่วันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ 39.45, 32.54, 12.78 เปอร์เซ็นต์ ที่วันที่ 3 และ 5.12 เปอร์เซ็นต์ ที่วันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.89, 9.76, 5.11 และ 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือสามารถดูดซับได้ 77.35 เปอร์เซ็นต์ ที่วันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.74 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 42.65 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3, 32.57 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2, 19.76 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 และ 6.77 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 8.53, 9.77, 7.90 และ 3.39 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือสามารถดูดซับได้ 94.10 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 9.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 20.00, 30.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 48.62 , 33.86 และ 9.39 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 2 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 9.72, 10.16 และ 4.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 40.00 ดูดซับได้ 19.00 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 3 คิดเป็นปริมาณการดูดซับ 7.60 มิลลิกรัมต่อลิตร และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**5.3 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505** เซลล์สด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 5 วัน แปรผันค่าพีเอชเป็น 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าที่พีเอช 5.0 *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด มีประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วมากที่สุดคือ สามารถดูดซับได้ 82.70, 90.28 และ 95.32 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 1 ซึ่งจากการเปรียบเทียบทางสถิติกับพีเอช 4.0 , 6.0, 7.0 และ 8.0 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 5.0 นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น พีเอชต่างๆ ประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วจะดีกว่าที่พีเอชสูงกว่า ซึ่งมักจะเกิดการตกตะกอนของโลหะ และเกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกของโลหะกับประจุลบของผนังเซลล์

**5.4 ผลการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และ ตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสมโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด** ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของแต่ละโลหะเท่ากัน คือ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสมจะลดลง โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วมากกว่าทองแดงและนิกเกิล คือสามารถดูดซับได้ 87.76 , 83.21 และ 80.16 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับในสารละลายโลหะเดี่ยวที่ความเข้มข้นและพีเอชเดียวกันพบว่า สามารถดูดซับได้ 95.32, 90.28 และ 82.70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วโดย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด ในสารละลายโลหะเดี่ยวๆจะดีกว่าในสารละลายโลหะผสม และเมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อถือ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ในสารละลายโลหะผสม และ สารละลายโลหะเดี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลของสารละลายโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว ที่มีต่อลักษณะของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ *Chlorella* sp. A0505 ที่ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเต พบว่าทั้งสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเต ก่อนที่จะทำการดูดซับจะมีลักษณะเป็นสีเขียว เซลล์มีรูปร่างกลม แต่เมื่อผ่านการดูดซับโลหะเป็นเวลา 5 วัน พบว่าทั้ง สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด และ สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตจะมีการเปลี่ยนแปลงคือสาหร่ายจะมีสีเปลี่ยนไปจากสีเขียวเป็นน้ำตาล และเมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า ขนาดของเซลล์มีขนาดเล็กลง และมองเห็นเซลล์เป็นสีน้ำตาล เมื่อนำสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดที่ผ่านการดูดซับแล้วมาเลี้ยงใหม่ในอาหารสูตร N-8 อีกครั้งเป็นเวลา 5 วัน เพื่อทดสอบความมีชีวิต พบว่าสาหร่ายยังคงมีสีน้ำตาลเหมือนเดิม และคาดว่ายังคงมีชีวิตอยู่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองพบว่าสามารถใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในการดูดซับโลหะได้ดี ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นน้อยๆ ดังนั้นหากน้ำเสียที่ต้องการบำบัดมีปริมาณโลหะอยู่ในความเข้มข้นที่สูงมากๆ ควรทำการบำบัดน้ำเสียนั้นก่อน โดยวิธีทางเคมี หรือวิธีอื่นๆก่อน เพื่อที่จะให้ปริมาณโลหะอยู่ในระดับที่สามารถใช้ *Chlorella* sp. A0505 ทั้งนี้เนื่องจากวิธีทางเคมีไม่สามารถกำจัดโลหะได้ในระดับต่ำ
2. เนื่องจากการดูดซับโลหะด้วย สาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 นั้นจะเห็นว่าการแยกเอาสาหร่ายออกจากสารละลายโลหะนั้นทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องนำมาปั่นเหวี่ยงจึงจะสามารถแยกออกมาได้ ซึ่งถ้าเป็นการใช้ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตนั้นการแยกจะทำได้ง่ายกว่า โดยอาจใช้เพียงแค่ตะแกรงเพื่อกรองเอาเม็ดสาหร่ายออก แต่การใช้ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจินเตจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลา ในขั้นตอนของการตรึงรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะ เพ็ชรมุ่งสัมพันธ์ , จิรภาคย์ แดงอินทรวัดน์ และชนิกานต์ ทักษณกุลวงศ์. 2545. การใช้ไซโตเดียมอัลจินเตตรังรูปสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในการดูดซับโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เกริกเกียรติ ไพบุลย์ศิลป์, ศิริพงษ์ เรืองเป็น และเอกภพ ภาเรือง. 2543. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ชนิกานต์ ทักษณกุลวงศ์. 2545. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง การคัดเลือกตัวดูดซับ  $Cr^{+6}$  จากสาหร่ายทะเล. ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ชลผกา เศรษฐพิทยกุล , ดร.ฉวี ศรีวิไล , นริศรา นิกมรัตน์ และมารศรี เพ็ชรดี. 2543. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมีและทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ธีรวิทย์ ทับทอง. 2541. การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ถูกตรึงเป็นเม็ด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- นवलพรรณ ณ ระนอง และมงคล เพ็ญสายใจ. 2544. น้ำและการบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปาจริย์ อินทองคำ , พงศ์อนันต์ กงดารา และวนิดา พนายิ่งไพศาล. 2540. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพิ่มปริมาณสาหร่าย *Chlorella* sp. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อ้างถึงใน กฤษณะ เพ็ชรมุ่งสัมพันธ์ , จิรภาคย์ แดงอินทรวัดน์ และชนิกานต์ ทักษณกุลวงศ์. 2545. การใช้ไซโตเดียมอัลจินเตตรังรูปสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในการดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชัยโครเมียม สังกะสี ทองแดง และนิกเกิล. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยา  
ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวย. 2539. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย
- พรพิมล ห่อสุวรรณชัย. 2542. การบำบัดโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสียชุมชนโดยวิธีห้ำกรอง.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2533. เคมีสภาวะแวดล้อม. 119 – 122
- เมี้ยน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่  
2. กรุงเทพฯ.
- รพีพร คำรัตน์. 2542. การดูดซับโลหะหนักโดยใช้กากยีสต์จากโรงงานเบียร์. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รังสรรค์ ปิ่นทอง. 2536. การใช้ประโยชน์ของเสียอุตสาหกรรม. อ้างถึงใน รงชัย พรรณสวัสดิ์  
(บรรณาธิการ). การประชุมระดับชาติ สวสท 36 เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ. 213 – 221.  
กทม. สำนักพิมพ์ไพนธ์อาร์ต พับลิชชิง
- รินดา คันธวร , อภิกา เรืองปรีดารมภ์ และอุดมฤทธิ วิฑูรชวลิตวงษ์. 2541. โครงการพิเศษ เรื่อง การ  
ใช้ไลโคซานตรึงรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* เพื่อดูดซับโครเมียม (+6). ภาควิชา  
ชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง
- ลัดดาวัลย์ วิระมิตรชัย. 2537. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าเพื่อลดปริมาณ  
ทองแดงและเหล็กโดยกระบวนการการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วนิดา มยุรฤทธิภิบาล, วไลลักษณ์ เชิดสุข และสุพรรณนิภา เวียนทอง. 2541. การดูดซับตะกั่ว (2+)  
โดยเชื้อแบคทีเรีย *Zoolea ramigera* เชื้อรา *Rhizopus arrhizus* และกากมวดชีวภาพจากน้ำ  
ทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม. โครงการระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะ  
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วิสัย วงศ์สายปิ่น. 2536. สาหร่ายเซลล์เดียวอาหารจากแสงตะวัน. สำนักพิมพ์ร่วมทรงศน์  
กรุงเทพมหานคร 139 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สัญญาชัย ไชยงค์ , อ่อนหวาน อาจสาคร และเอกราช ถิมวัฒนา. 2540. การดูดซับโครเมียม (+6) ด้วย *Chlorella* sp. โครงการระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อ้างถึงใน เกริกเกียรติ ไพบุลย์ ศิลป์, ศิริพงษ์ เรืองเป็่น และเอกภพ ภาเรือง.2543. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp.โครงการพิเศษ ระดับปริญญาตรี ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Abu Al – Rub, El – Nass, Benyahia and Ashour. 2003. Biosorption of nickel on blank alginate beads, free and immobilized algal cells. **Process Biochemistry**.

Aksu, Z. 2002. Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of the batch biosorption of nickel (II) ions onto *Chlorella vulgaris*. **Process Biochemistry** 38: 89-99.

Aksu, Z., A. Oziurk, T. Kutsal and G. Cetinkaya. 1999. A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. **Process Biochemistry** 34, Issue 9, October : 885 – 892.

Aksu, Z., Y. Sag and T. Kutsal. 1992. The biosorption of copper by *C. vulgaris* and *Z. ramigera*. **Environment Technology** , 13 : 579 – 586

Aksu, Z. and T. Kutsal. 1990. A comparative study for biosorption characteristics of heavy metal ions with *C. Vulgaris*. **Environmental Technology** 11: 979-987.

Ashok, P.K., P. Shri Dhar and M. Virendra. 2002. Removal of toxic metals from leachates from hazardous solid wastes and reduction of toxicity to microtox by the use of calcium alginate beads containing humic acid. **Ecotoxicology and Environmental Safety**; 52: 92-96.

Ayla and Dursun .2003. Comparative study of the biosorption of Pb (II), Ni (II) and Cr (VI) ions onto *S. cerevesiae* :determination of biosorption heats. **Hazardous Material B100**; 219-229.

Brierly.1990. **Metal immobilization using bacteria in microbial mineral recovery**. New York :

**Mcgraw-Hill, pp. 302-339.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Clayton.1981. Phaeophyta, In; Clayton, M.N., King, R.J. (Eds.). **Marine Botany – An Australasian perspective**, Longman Cheshire Melbourne, Australia : 105 – 137.
- Crist, H.R. and K.Oberholser. 1981. Nature of bonding between metallic ions and algal cell walls. **Environmental Science Technology** 15; 1212-1217.
- Donmes, G., Z. Aksu, A. Ozturk and T. Kutsal. 1999. A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. **Process Biochemistry** : (34); 885-892
- Friis and Myers – Keith. 1986. Biosorption of uranium and lead by *Streptomyces longwoodensis*. **Biotechnology Bioengineering**, 28: 21 – 28.
- Gin and Tang. 2002. Derivation and application of a new model for heavy metal biosorption by algae. **Water Research**; 36 : 1313-1323.
- Holan and Valseky. 1994. **Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae**; 43(11): 1001-1009.
- Lester.1987. **In heavy metal in wastewater and sludge treatment process**. CRC Press, Florida
- Matheickal and Yu. 1999. Biosorption of lead (II) and copper (II) from aqueous solution by pre-treated biomass of Australian marine algae. **Bioresource Technology**; 69 : 223-229
- Mehta and Gaur. 2001. Characterization and optimisation of Ni and Cu sorption from aqueous solution by *Chlorella vulgaris*. **Ecological Engineering** ; 18: 1-13.
- Ozturk and Ayar .2004. Biosorption of nickel (II) and Copper (II) ions from aqueous solution by *Streptomyces coelicolor* A3 (2). **Colloids and Surface B: Biointerfaces**; 34: 105-111.
- Padmavathy V., Vasudevan P. and Dhingra S.C. 2003. Biosorption of nickel (II) ions on baker's yeast. **Process Biochemistry**; 38: 1389-1395.
- Pagnanelli F., Esposito A., Toro L., Veglio F. 2003. Metal speciation and pH effect on Pb, Cu, Zn and Cd biosorption onto *Sphaerotilus natans* : Langmuir-type empirical model. **Water Research**; 37: 627-633.
- Romero, Lope Suarez C.E., Gonzalez-Rodriguez M.V., Gonzalez-Soto E., Perez-Iglesias J., Seco-Lago H.M. and Fernandez-Solis J.M.. 2000. Study of the parameters affecting the binding of metals in solution by *Chlorella vulgaris*. **Talanta**; 50: 1313-1318.
- Sag Y. and Kutsal. 1998. The simultaneous biosorption of Cr (VI), Fe (III) and Cu (II) on *Rhizopus arrhizus*: **Process Biochemistry**. 33(5); 511-579.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Visvanathan.1992.**Printed circuit board industry wastewater treatment.National Seminar on Convention and Advanced Techniques for Wastewater Treatment.Environmental Enginerring Division,A.I.T.,Bangkok.15p** อ้างถึงใน ลัดดาวัลย์ วิจารณ์ชัย. 2537. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าเพื่อลดปริมาณทองแดงและเหล็กโดยกระบวนการการตกตะกอนทางเคมี.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Volesky B. 1990. **Removal and recovery of heavy metal by biosorption** In : B. Volesky (Ed.), **Biosorption of heavy metals**. CRC Press, Boca Raton, pp. 7- 44
- Volesky, Holan Z.R. and Praseyo I. 1993. Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. **Biotechnology Bioengineering**. (41); 819-825.
- Wong J.P.K., Wong Y.S. and Tam N.F.Y. 2000. Nickel biosorption by two *Chlorella* species, *C. vulgaris* (a commercial species) and *C. miniata* (a local isolate). **Bioresource Technology**; 73: 133-137.
- Wong J.P.K. , Wong Y.S. and Tam N.F.Y. 2001. Repeated use of two *Chlorella* species, *C. vulgaris* and *WWT* for cyclic nickel biosorption. **Environmental Pollution**; 114: 85-92.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สูตรอาหาร N-8 ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Chlorella*

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	260.0 มิลลิกรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	740.0 มิลลิกรัม
$\text{CaCl}_2$	10.0 มิลลิกรัม
Fe EDTA	10.0 มิลลิกรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	50.0 มิลลิกรัม
$\text{KNO}_3$	1000.0 มิลลิกรัม
trace element mixture*	1.0 มิลลิกรัม
Distill 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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากระบวนการผลิต PCB

Constituent	Range, mg/liter
Total Suspended Solids	0.998-408.7
Cyanide (Total)	0.002-5.333
Cyanide (Amenable to Chlorination)	0.005-4.645
Copper	1.582-535.7
Nickle	0.027-8.440
Lead	0.044-9.701
Chromium (Hexavalent)	0.004-3.543
Chromium (Total)	0.005-38.52
Fluorides	0.648-680.0
Phosphorus	0.075-33.80
Silver	0.036-0.220
Palladium	0.008-0.097
Gold	0.007-0.190
EDTA	15.80-35.80
Citrate	0.900-1342.0
Tartrate	1.300-1108.0
NTA	47.600-810.0

ที่มา : Visvanathan (1992) อ้างถึงใน ลัดดาวัลย์ (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ลักษณะ	ค่ามาตรฐาน (มก./ลิตร)	
	ต่ำสุด	สูงสุด
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5	9.0
ค่าทีดีเอส (TDS)	3,000	5,000
สารแขวนลอย	50	150
อุณหภูมิ (°c)	-	40
สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่รังเกียจ	
ซัลไฟด์ (ในรูป H <sub>2</sub> S)	-	1.0
ไซยาไนด์ (ในรูป HCN)	-	0.2
โลหะหนัก	-	-
ปรอท	-	0.005
เซเลเนียม	-	0.02
แคดเมียม	-	0.03
ตะกั่ว	-	0.2
อาร์เซนิก	-	0.25
โครเมียม (Cr <sup>6+</sup> )	-	0.25
โครเมียม (Cr <sup>3+</sup> )	-	0.75
แบเรียม	-	1.0
นิกเกิล	-	1.0
ทองแดง	-	2.0
สังกะสี	-	5.0
แมงกานีส	-	5.0
ฟอร์มาลดีไฮด์	-	1.0
สารประกอบฟีนอล	-	1.0
คลอรีนอิสระ	-	1.0
เพสตีไซด์	ต้องไม่มี	
น้ำมันและไขมัน	5.0	15.0
ค่าบีโอดี	20.0	60.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย (ต่อ)

ลักษณะ	ค่ามาตรฐาน (มก./ลิตร)	
	ต่ำสุด	สูงสุด
ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	100.0	200.0
ค่าซีโอดี	120.0	400.0

ที่มา; ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 113 ตอนที่ 529 วันที่ 27 มิถุนายน 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตามวิธีของ แม้นและอมร (2534)

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานและน้ำตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์
2. เปิดเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องให้พร้อมที่จะทำงาน ประมาณ 2-3 ชั่วโมง เพื่อให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมีความแน่นอนตัวเลขไม่วิ่งไปวิ่งมา
3. บรรจุ Cathode Lamp ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์
4. ตั้ง Wave Length และตั้งค่า Lamp Current ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์
5. ตั้งชนิดของ Flame Stoichiometry ที่ใช้
6. ตั้ง Flow Fuel และ Flow Support air
7. ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากค่าความเข้มข้นต่ำไปหาความเข้มข้นสูง ซึ่งเป็นการวัดค่า Absorbance
8. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยเป็นการวิเคราะห์ธาตุที่วัดค่ามาตรฐานในข้อ 7 ซึ่งเป็นการวัดค่า Absorbance เช่นกัน
9. เมื่อทำการวิเคราะห์ธาตุชนิดที่หนึ่งเสร็จ จะวิเคราะห์ธาตุอื่นต่อไป จะต้องถอดเอา Cathode Lamp ของธาตุตัวแรกออกเสียก่อน แล้วใส่ Cathode Lamp ของธาตุที่ต้องการวัดเข้าไปแทน แล้วทำการทดลองข้อ 4-8 ต่อไปจนครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	72.43	76.41	67.12	71.98
2	70.05	73.72	65.74	69.84
3	67.42	70.84	65.02	67.76
4	61.80	67.65	60.46	63.30
5	55.46	56.19	46.68	52.78

ตารางที่ 2 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	34.77	34.87	35.10	34.91
2	37.06	37.26	35.66	36.66
3	40.87	39.85	37.64	39.45
4	36.06	35.80	34.33	35.40
5	29.92	30.55	29.53	30.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	25.60	23.37	24.52	24.50
2	30.13	28.58	27.71	28.81
3	33.20	32.17	32.25	32.54
4	26.69	25.99	26.08	26.25
5	24.64	23.38	24.69	24.24

ตารางที่ 4 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	10.00	9.35	10.86	10.07
2	11.48	10.28	11.94	11.24
3	12.11	13.59	12.65	12.78
4	10.30	10.91	10.89	10.70
5	8.15	8.83	8.93	8.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลของเซลล์สดต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	5.57	5.40	4.39	5.12
2	3.29	4.60	4.63	4.17
3	2.88	4.80	3.68	3.79
4	2.61	3.45	3.15	3.07
5	1.17	2.64	2.41	2.07

ตารางที่ 6 ผลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตต่อการดูดซับนิกเกิล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	71.22	72.61	71.98	71.94
2	67.83	69.50	68.59	68.64
3	66.32	66.49	65.75	66.19
4	61.33	63.85	60.83	62.00
5	55.86	56.26	52.93	55.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตตต่อการดูดซับนิกเกิล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนัก เซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	37.10	37.05	37.95	37.37
2	39.10	35.69	40.08	38.29
3	40.43	38.94	37.98	39.12
4	37.54	37.00	37.06	37.20
5	31.34	31.84	33.31	32.16

ตารางที่ 8 ผลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจินเตตต่อการดูดซับนิกเกิล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนัก เซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	26.93	25.06	24.59	25.53
2	29.17	28.38	28.01	28.52
3	32.45	30.37	30.57	31.13
4	27.95	24.71	24.65	25.77
5	25.21	23.73	24.41	24.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ผลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตต่อการดูดซับนิกเกิล ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	4.83	4.06	5.37	4.95
2	6.99	7.66	8.70	7.78
3	7.99	8.98	10.43	9.13
4	6.34	10.19	9.11	8.55
5	6.09	8.01	8.02	7.37

ตารางที่ 10 ผลของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตต่อการดูดซับ นิกเกิลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	2.02	1.92	1.62	1.85
2	3.81	3.78	2.66	3.42
3	3.97	3.91	2.71	3.53
4	3.57	3.22	2.48	3.09
5	1.94	1.79	1.50	1.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับนิกเกิลโดย *Chlorella* sp. A0505 และ *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

ตัวดูดซับ	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)				
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร
<i>Chlorella</i> sp. A0505	71.98	39.45	32.54	12.78	5.12
<i>Chlorella</i> sp. A0505 ตรึงรูปด้วย โซเดียมอัลจิเนต	71.94	39.12	31.13	9.13	3.53

ตารางที่ 12 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	72.43	76.41	67.12	71.98
2	70.05	73.72	65.74	69.84
3	67.42	70.84	65.02	67.76
4	61.80	67.65	60.46	63.30
5	55.46	56.79	46.68	52.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 20.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	34.77	34.87	35.10	34.91
2	37.06	37.26	35.66	36.66
3	40.87	39.85	37.64	39.45
4	36.06	35.80	34.33	35.40
5	29.92	30.55	29.53	30.00

ตารางที่ 14 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 30.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	25.60	23.38	24.52	24.50
2	30.13	28.58	27.71	28.81
3	33.20	32.17	32.25	32.54
4	26.69	25.99	26.08	26.25
5	24.64	23.38	24.69	24.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 40.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	10.00	9.35	10.86	10.07
2	11.48	10.28	11.94	11.24
3	12.11	13.59	12.65	12.78
4	10.30	10.91	10.89	10.70
5	8.15	8.83	8.93	8.64

ตารางที่ 16 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 50.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	5.57	5.40	4.39	5.12
2	3.29	4.60	2.63	4.17
3	2.88	4.80	3.68	3.79
4	2.61	3.45	3.15	3.07
5	1.17	2.64	2.41	2.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)				
	นิกเกิล	นิกเกิล	นิกเกิล	นิกเกิล	นิกเกิล
	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร
0	0	0	0	0	0
1	71.98	34.91	24.50	10.07	5.12
2	69.84	36.66	28.81	11.24	4.17
3	67.76	39.45	32.54	12.78	3.79
4	63.30	35.40	26.25	10.70	3.07
5	52.78	30.00	24.24	8.64	2.07

ตารางที่ 18 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00	ทองแดง 10.00	ทองแดง 10.00	
	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	80.83	72.04	79.19	77.35
2	79.47	70.70	77.08	75.75
3	74.59	64.18	71.28	70.02
4	67.68	60.91	69.85	60.15
5	62.67	56.33	63.47	60.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 20.00 มก./ลิตร	ทองแดง 20.00 มก./ลิตร	ทองแดง 20.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	37.17	39.43	37.71	38.10
2	38.85	38.88	40.57	39.44
3	43.31	41.58	43.07	42.65
4	38.02	38.68	41.19	39.30
5	35.77	36.30	37.00	36.35

ตารางที่ 20 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 30.00 มก./ลิตร	ทองแดง 30.00 มก./ลิตร	ทองแดง 30.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	30.24	29.97	28.52	29.57
2	31.37	32.93	33.43	32.57
3	26.18	30.49	32.45	29.71
4	28.01	28.51	28.90	28.47
5	24.54	25.68	26.10	25.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 21 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้น เริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 40.00 มก./ลิตร	ทองแดง 40.00 มก./ลิตร	ทองแดง 40.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	13.28	15.75	16.17	15.07
2	16.22	19.55	19.09	18.28
3	17.10	20.30	21.88	19.76
4	14.31	17.46	17.19	16.32
5	12.91	14.36	14.35	13.87

ตารางที่ 22 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 50.00 มก./ลิตร	ทองแดง 50.00 มก./ลิตร	ทองแดง 50.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	4.48	4.05	6.61	5.05
2	6.54	6.23	7.53	6.77
3	6.03	6.31	7.00	6.45
4	4.53	4.08	5.53	4.71
5	3.46	2.87	3.41	3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)				
	ทองแดง	ทองแดง	ทองแดง	ทองแดง	ทองแดง
	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร
0	0	0	0	0	0
1	77.35	38.10	29.57	15.07	5.05
2	75.75	39.44	32.57	18.28	6.77
3	70.02	42.65	29.71	19.76	6.45
4	66.15	39.30	28.47	16.32	4.71
5	60.82	36.35	25.46	13.87	3.25

ตารางที่ 24 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00	ตะกั่ว 10.00	ตะกั่ว 10.00	
	มก./ลิตร	มก./ลิตร	มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	94.15	94.77	93.37	94.10
2	93.04	94.39	93.29	93.57
3	92.95	92.97	92.16	92.69
4	88.04	89.59	87.83	88.49
5	82.68	83.25	82.90	82.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกัวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกัว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกัว 20.00 มก./ลิตร	ตะกัว 20.00 มก./ลิตร	ตะกัว 20.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	51.51	43.78	48.27	47.85
2	53.10	45.40	47.37	48.62
3	49.90	44.96	47.14	47.33
4	49.78	43.05	43.84	45.22
5	44.18	38.32	39.88	40.79

ตารางที่ 26 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกัวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกัว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกัว 30.00 มก./ลิตร	ตะกัว 30.00 มก./ลิตร	ตะกัว 30.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	33.43	31.58	29.36	31.46
2	33.77	35.83	31.99	33.86
3	30.31	36.21	33.14	33.22
4	27.37	31.52	29.99	29.63
5	26.61	27.68	27.72	27.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 27 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกัวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกัว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกัว 40.00 มก./ลิตร	ตะกัว 40.00 มก./ลิตร	ตะกัว 40.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	18.69	18.26	18.13	18.36
2	18.79	18.15	20.07	19.00
3	16.57	19.58	20.37	18.84
4	14.10	16.19	17.20	15.83
5	12.00	14.58	14.64	13.74

ตารางที่ 28 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกัวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกัว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกัว 50.00 มก./ลิตร	ตะกัว 50.00 มก./ลิตร	ตะกัว 50.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	7.27	8.29	10.13	8.56
2	8.51	9.21	10.44	9.39
3	8.13	9.17	8.19	8.50
4	6.85	7.35	7.90	7.37
5	4.03	5.27	5.64	4.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 29 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.00, 20.00, 30.00, 40.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)				
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 20.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 30.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 40.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 50.00 มก./ลิตร
0	0	0	0	0	0
1	94.10	47.85	31.46	18.36	8.56
2	93.57	48.62	33.86	19.00	9.39
3	92.69	47.33	33.22	18.84	8.50
4	88.49	45.22	29.63	15.83	7.37
5	82.94	40.79	27.34	13.74	4.98

ตารางที่ 30 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิลที่พีเอช 4 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	79.50	78.86	78.18	78.85
2	78.36	77.08	77.24	77.56
3	65.50	63.88	63.47	64.28
4	64.56	62.62	61.43	62.87
5	66.07	63.51	64.57	64.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 31 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิลที่พีเอช 5 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	82.22	81.96	83.93	82.70
2	78.06	76.81	76.64	77.17
3	70.69	69.43	67.76	69.96
4	68.43	68.33	68.31	68.35
5	64.64	63.25	63.61	63.83

ตารางที่ 32 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิลที่พีเอช 6 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	73.35	75.61	72.15	73.71
2	67.54	70.42	68.02	68.66
3	60.26	62.87	60.43	61.78
4	55.79	58.86	56.30	56.98
5	57.11	60.04	57.45	58.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 33 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิลที่พีเอช 7 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	80.63	77.27	71.95	76.62
2	78.41	76.00	70.92	75.11
3	65.99	62.91	56.50	61.80
4	64.35	57.51	52.84	57.23
5	64.36	61.07	54.80	60.08

ตารางที่ 34 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิลที่พีเอช 8 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	67.20	66.02	66.63	66.62
2	69.68	68.36	69.95	69.33
3	56.31	56.67	59.08	57.36
4	56.09	54.66	55.42	55.39
5	58.55	57.12	58.39	58.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 35 ผลของพีเอชต่อการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0	0
1	78.85	82.70	73.71	76.62	66.62
2	77.56	77.17	68.66	75.11	69.33
3	64.28	69.96	61.78	61.80	57.36
4	62.87	68.35	56.98	57.23	55.39
5	64.72	63.83	58.20	60.08	58.02

ตารางที่ 36 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้น ของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดงที่พีเอช 4 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	86.55	89.18	83.38	86.37
2	88.61	89.83	83.72	87.38
3	86.92	89.23	81.46	85.87
4	86.26	87.27	80.65	84.73
5	82.49	85.63	77.39	81.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 37 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดงที่พีเอช 5 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	91.09	93.66	71.43	85.39
2	92.02	92.79	73.75	86.19
3	91.81	92.86	72.82	85.83
4	95.68	97.28	77.98	90.28
5	91.39	94.84	66.81	84.35

ตารางที่ 38 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดงที่พีเอช 6 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	50.07	44.48	41.57	45.48
2	50.64	43.75	42.40	45.59
3	50.80	44.64	40.81	45.42
4	48.23	42.31	38.27	42.94
5	47.41	39.31	36.30	41.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 39 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดงที่พีเอช 7 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	5.21	6.59	6.15	5.98
2	4.82	4.53	3.86	4.40
3	1.93	2.33	2.06	2.11
4	*	*	*	*
5	*	*	*	*

หมายเหตุ \* ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 40 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดงที่พีเอช 8 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	0.45	0.75	1.09	8.96
2	*	*	*	*
3	*	*	*	*
4	*	*	*	*
5	*	*	*	*

หมายเหตุ \* ไม่สามารถวัดค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 41 ผลของพีเอชต่อการดูดซับทองแดงโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0	0
1	86.37	85.39	45.48	5.98	8.96
2	87.38	86.19	45.59	4.40	*
3	85.87	85.83	45.42	2.11	*
4	84.73	90.28	42.94	*	*
5	81.84	84.35	41.01	*	*

หมายเหตุ \* ไม่สามารถวัดค่าได้

ตารางที่ 42 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 4 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	91.40	91.36	91.42	91.39
2	88.62	88.94	88.99	88.85
3	86.76	87.18	87.33	87.09
4	82.64	83.21	83.07	82.97
5	81.56	81.36	81.55	81.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 43 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 5 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	95.68	95.37	94.93	95.32
2	93.81	93.06	93.41	93.43
3	91.90	90.62	90.77	91.10
4	87.86	87.48	87.66	87.67
5	86.74	86.05	86.22	86.33

ตารางที่ 44 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 6 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	85.99	87.70	86.96	86.89
2	84.77	86.03	85.97	85.59
3	82.50	84.05	84.12	83.56
4	77.28	77.09	78.85	77.74
5	75.06	77.07	76.60	76.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 45 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 7 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 7 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	64.56	66.42	62.40	64.46
2	64.24	66.24	62.05	64.18
3	62.64	63.93	60.49	62.36
4	57.77	59.87	56.45	58.03
5	56.70	57.98	54.64	56.44

ตารางที่ 46 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 8 (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	37.96	39.68	39.82	39.16
2	35.39	36.89	35.97	36.08
3	32.57	34.03	33.02	33.20
4	27.62	29.17	28.11	28.30
5	26.56	28.12	27.06	27.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 47 ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่ว โดยสาย่าย *Chlorella* sp. A0505 ที่พีเอช 4, 5, 6, 7 และ 8 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาย่ายเริ่มต้น 4 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0	0	0	0	0
1	91.39	95.32	86.89	64.46	39.16
2	88.85	93.43	85.59	64.18	36.08
3	87.09	91.10	83.56	62.36	33.20
4	82.97	87.67	77.74	58.03	28.30
5	81.49	86.33	76.24	56.44	27.25

ตารางที่ 48 การดูดซับโลหะหนักนิกเกิล โดยสาย่าย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาณสาย่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	72.07	83.31	78.15	77.84
2	77.06	87.04	76.38	80.16
3	75.26	84.18	74.58	78.01
4	69.70	79.73	74.24	74.56
5	67.60	78.70	69.85	72.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 49 การดูดซับโลหะหนักทองแดง โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นของทองแดง 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	83.29	81.40	83.06	82.58
2	85.21	80.80	82.22	82.74
3	84.81	81.01	83.81	83.21
4	81.86	82.49	79.95	81.43
5	78.31	80.54	76.65	78.50

ตารางที่ 50 การดูดซับโลหะหนักตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)			เฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร	
0	0	0	0	0
1	81.61	87.03	94.62	87.76
2	79.78	85.18	93.13	86.03
3	79.90	87.27	92.77	86.65
4	70.85	79.49	82.13	77.49
5	73.41	83.74	83.60	80.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 51 การดูดซับโลหะหนัก นิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นแต่ละโลหะหนัก 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.0 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)		
	นิกเกิล 10.00 มก./ลิตร	ทองแดง 10.00 มก./ลิตร	ตะกั่ว 10.00 มก./ลิตร
0	0	0	0
1	77.84	82.58	87.76
2	80.16	82.74	86.03
3	77.01	83.21	86.65
4	74.56	81.43	77.49
5	72.05	78.49	80.25

ตารางที่ 52 การเปรียบเทียบการดูดซับโลหะ นิกเกิล ทองแดง และตะกั่วโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ในสารละลายโลหะผสมที่มีความเข้มข้นของแต่ละโลหะ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร กับสารละลายโลหะเดี่ยว ที่พีเอช 5.0 ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 4.0 กรัม (น้ำหนักเซลล์สด) เป็นเวลา 5 วัน

โลหะหนัก	ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	
	สารละลายโลหะผสม	สารละลายโลหะเดี่ยว
นิกเกิล	80.16	82.70
ทองแดง	83.21	90.28
ตะกั่ว	87.76	95.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับนิกเกิลโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สดและสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 ตรึงรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนต

ความเข้มข้นของนิกเกิล	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)	
	<i>Chlorella</i> sp. A0505	<i>Chlorella</i> sp. ตรึงรูป
10.00	71.98 <sup>a</sup>	71.94 <sup>a</sup>
20.00	39.45 <sup>b</sup>	39.12 <sup>b</sup>
30.00	32.54 <sup>c</sup>	31.13 <sup>c</sup>
40.00	12.78 <sup>d</sup>	9.13 <sup>d</sup>
50.00	5.12 <sup>e</sup>	3.53 <sup>e</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๒ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิลที่มีผลต่อการดูดซับ  
โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)				
	นิกเกิล 10.00 มก./ล.	นิกเกิล 20.00 มก./ล.	นิกเกิล 30.00 มก./ล.	นิกเกิล 40.00 มก./ล.	นิกเกิล 50.00 มก./ล.
0	0 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>
1	71.98 <sup>a</sup>	34.91 <sup>b</sup>	24.50 <sup>d</sup>	10.07 <sup>b</sup>	5.12 <sup>a</sup>
2	69.84 <sup>ab</sup>	36.66 <sup>b</sup>	28.81 <sup>b</sup>	11.24 <sup>b</sup>	4.17 <sup>ab</sup>
3	67.76 <sup>ab</sup>	39.45 <sup>a</sup>	32.54 <sup>a</sup>	12.78 <sup>a</sup>	3.79 <sup>ab</sup>
4	63.30 <sup>c</sup>	35.40 <sup>b</sup>	26.25 <sup>c</sup>	10.70 <sup>b</sup>	3.07 <sup>bc</sup>
5	52.78 <sup>d</sup>	30.00 <sup>c</sup>	24.24 <sup>d</sup>	8.64 <sup>c</sup>	2.07 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์นี้แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความเข้มข้น ของนิกเกิล (มก./ล.)	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
ปริมาณการ ดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)	71.98 <sup>a</sup>	39.45 <sup>b</sup>	32.54 <sup>c</sup>	12.78 <sup>d</sup>	5.12 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของทองแดงที่มีผลต่อการดูดซับ  
ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)				
	ทองแดง10.00 มก./ล.	ทองแดง20.00 มก./ล.	ทองแดง30.00 มก./ล.	ทองแดง40.00 มก./ล.	ทองแดง50.00 มก./ล.
0	0 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>
1	77.35 <sup>a</sup>	38.10 <sup>b</sup>	29.57 <sup>a</sup>	15.07 <sup>bc</sup>	5.05 <sup>b</sup>
2	75.75 <sup>a</sup>	39.44 <sup>b</sup>	32.57 <sup>a</sup>	18.28 <sup>ab</sup>	6.77 <sup>a</sup>
3	70.02 <sup>b</sup>	42.65 <sup>a</sup>	29.71 <sup>b</sup>	19.76 <sup>a</sup>	6.45 <sup>a</sup>
4	66.15 <sup>c</sup>	39.30 <sup>b</sup>	28.47 <sup>b</sup>	16.32 <sup>bc</sup>	4.71 <sup>b</sup>
5	60.82 <sup>d</sup>	36.35 <sup>c</sup>	25.46 <sup>c</sup>	13.87 <sup>c</sup>	3.25 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น  
ร้อยละ 95

ความเข้มข้น ของทองแดง (มก./ล.)	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
ปริมาณการ ดูดซับ ทองแดง (เปอร์เซ็นต์)	77.35 <sup>a</sup>	42.65 <sup>b</sup>	32.57 <sup>c</sup>	19.76 <sup>d</sup>	6.77 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น  
ร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่มีผลต่อการดูดซับ  
ของสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)				
	ตะกั่ว 10.00 มก./ล.	ตะกั่ว 20.00 มก./ล.	ตะกั่ว 30.00 มก./ล.	ตะกั่ว 40.00 มก./ล.	ตะกั่ว 50.00 มก./ล.
0	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>
1	94.10 <sup>a</sup>	47.85 <sup>a</sup>	31.46 <sup>ab</sup>	18.36 <sup>a</sup>	8.56 <sup>ab</sup>
2	93.57 <sup>a</sup>	48.62 <sup>a</sup>	33.86 <sup>a</sup>	19.00 <sup>a</sup>	9.39 <sup>a</sup>
3	92.69 <sup>a</sup>	47.33 <sup>a</sup>	33.22 <sup>ab</sup>	18.84 <sup>ab</sup>	8.50 <sup>ab</sup>
4	88.49 <sup>b</sup>	45.22 <sup>a</sup>	29.63 <sup>bc</sup>	15.83 <sup>bc</sup>	7.37 <sup>b</sup>
5	82.94 <sup>c</sup>	40.79 <sup>b</sup>	27.34 <sup>c</sup>	13.74 <sup>c</sup>	4.98 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความเข้มข้น ของตะกั่ว (มก./ล.)	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
ปริมาณการ ดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)	94.10 <sup>a</sup>	48.62 <sup>b</sup>	33.86 <sup>c</sup>	19.00 <sup>d</sup>	9.39 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับนิกเกิล โดยสาหร่าย

*Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0 <sup>c</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>
1	78.85 <sup>a</sup>	82.70 <sup>a</sup>	73.71 <sup>a</sup>	76.62 <sup>a</sup>	66.62 <sup>b</sup>
2	77.56 <sup>b</sup>	77.17 <sup>b</sup>	68.66 <sup>b</sup>	75.11 <sup>a</sup>	69.33 <sup>a</sup>
3	64.28 <sup>c</sup>	69.96 <sup>c</sup>	61.78 <sup>c</sup>	61.80 <sup>b</sup>	57.36 <sup>c</sup>
4	62.87 <sup>d</sup>	68.35 <sup>d</sup>	56.98 <sup>d</sup>	57.23 <sup>c</sup>	55.39 <sup>d</sup>
5	64.72 <sup>c</sup>	63.83 <sup>c</sup>	58.20 <sup>c</sup>	60.08 <sup>b</sup>	58.02 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร ไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พีเอช	4	5	6	7	8
ปริมาณการดูดซับนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)	78.85 <sup>b</sup>	82.70 <sup>a</sup>	73.71 <sup>c</sup>	76.62 <sup>b</sup>	69.33 <sup>d</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษร ไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับทองแดง โดยสายหว่าย  
*Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0	0
1	86.37 <sup>a</sup>	85.39 <sup>ab</sup>	45.48 <sup>a</sup>	*	*
2	87.38 <sup>a</sup>	86.19 <sup>ab</sup>	45.59 <sup>a</sup>	*	*
3	85.87 <sup>ab</sup>	85.83 <sup>ab</sup>	45.42 <sup>a</sup>	*	*
4	84.73 <sup>b</sup>	90.28 <sup>a</sup>	42.94 <sup>b</sup>	*	*
5	81.84 <sup>c</sup>	84.35 <sup>b</sup>	41.01 <sup>b</sup>	*	*

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

\* ไม่สามารถคำนวณผลทางสถิติได้

พีเอช	4	5	6	7	8
ปริมาณการดูดซับทองแดง (เปอร์เซ็นต์)	87.38 <sup>b</sup>	90.28 <sup>a</sup>	45.59 <sup>c</sup>	*	*

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

\* ไม่สามารถคำนวณผลทางสถิติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย

*Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
0	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>e</sup>	0 <sup>f</sup>
1	91.39 <sup>a</sup>	95.32 <sup>a</sup>	86.89 <sup>a</sup>	64.46 <sup>a</sup>	36.16 <sup>a</sup>
2	88.85 <sup>b</sup>	93.43 <sup>b</sup>	85.59 <sup>b</sup>	64.18 <sup>b</sup>	36.08 <sup>b</sup>
3	87.09 <sup>c</sup>	91.10 <sup>c</sup>	83.56 <sup>c</sup>	62.36 <sup>c</sup>	33.20 <sup>c</sup>
4	82.97 <sup>d</sup>	87.67 <sup>d</sup>	77.74 <sup>d</sup>	58.03 <sup>d</sup>	28.30 <sup>d</sup>
5	81.49 <sup>c</sup>	86.33 <sup>c</sup>	76.24 <sup>c</sup>	56.44 <sup>c</sup>	27.25 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พีเอช	4	5	6	7	8
ปริมาณการดูดซับตะกั่ว (เปอร์เซ็นต์)	91.39 <sup>b</sup>	95.32 <sup>a</sup>	86.89 <sup>c</sup>	64.46 <sup>d</sup>	36.16 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับ โลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลาย  
โลหะเดี่ยวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)		
	นิกเกิล	ทองแดง	ตะกั่ว
0	0 <sup>f</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>f</sup>
1	82.70 <sup>a</sup>	85.39 <sup>ab</sup>	95.32 <sup>a</sup>
2	77.17 <sup>b</sup>	86.19 <sup>ab</sup>	93.43 <sup>b</sup>
3	69.96 <sup>c</sup>	85.83 <sup>ab</sup>	91.10 <sup>c</sup>
4	68.35 <sup>d</sup>	90.28 <sup>a</sup>	87.67 <sup>d</sup>
5	63.83 <sup>e</sup>	84.35 <sup>b</sup>	86.33 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โลหะหนัก	นิกเกิล	ทองแดง	ตะกั่ว
ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	82.70 <sup>c</sup>	90.28 <sup>b</sup>	95.32 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑ ๑ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลาย  
โลหะผสมโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

เวลา (วัน)	ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)		
	นิกเกิล	ทองแดง	ตะกั่ว
0	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
1	77.84 <sup>ab</sup>	82.58 <sup>a</sup>	87.76 <sup>a</sup>
2	80.16 <sup>a</sup>	82.74 <sup>a</sup>	86.03 <sup>a</sup>
3	78.01 <sup>ab</sup>	83.21 <sup>a</sup>	86.65 <sup>a</sup>
4	74.56 <sup>b</sup>	81.43 <sup>ab</sup>	77.49 <sup>b</sup>
5	72.05 <sup>b</sup>	78.50 <sup>b</sup>	80.25 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โลหะหนัก	นิกเกิล	ทองแดง	ตะกั่ว
ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	80.16 <sup>b</sup>	83.21 <sup>b</sup>	87.76 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละแถวแสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑ 10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการดูดซับโลหะนิกเกิล ทองแดง และตะกั่วในสารละลาย  
โลหะผสมและสารละลายโลหะเดี่ยวโดยสาหร่าย *Chlorella* sp. A0505 เซลล์สด

โลหะหนัก	ปริมาณการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	
	สารละลายโลหะผสม	สารละลายโลหะเดี่ยว
นิกเกิล	80.16 <sup>b</sup>	82.70 <sup>c</sup>
ทองแดง	83.21 <sup>b</sup>	90.28 <sup>b</sup>
ตะกั่ว	87.76 <sup>a</sup>	95.32 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรไม่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์แสดงว่าแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น  
ร้อยละ 95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้