

## รายงานการวิจัย



ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีงบประมาณ 2541

PC14  
TD  
455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกฉบับหนึ่งได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
เลขทะเบียน 54591  
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2548

12-11-2005  
i.....

## สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ	ภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ	ภาษาอังกฤษ	ข
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	8
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์	9
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	13
เอกสารอ้างอิง		14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทคัดย่อ

การศึกษาการลดปริมาณแคดเมียม โดย *Bacillus megatherium* TISTR 67, *Proteus vulgaris* TISTR 100 และ *Zoogloea ramigera* TISTR 1329 พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้สามารถดูดซับแคดเมียมโดยการเปลี่ยนรูปแคดเมียมในสารละลายให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของแบคทีเรียและความเข้มข้นสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น ต่อการลดปริมาณแคดเมียม พบว่าปริมาณแคดเมียมลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ 10 นาทีแรกของการดูดซับแบคทีเรียทุกชนิด สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้อย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้อย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะสูงสุด (0.085 นาที<sup>-1</sup>) ที่ 10 นาทีแรกของการดูดซับพบในเชื้อ *P.vulgaris* ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ค่าอัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะมากที่สุดของเชื้อ *B.megatherium* (0.073 นาที<sup>-1</sup>) และ *Z.ramigera* (0.075 นาที<sup>-1</sup>) ในสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น 1 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

แบคทีเรียที่สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้ดีที่สุดคือ *P.vulgaris* แต่จะมีประสิทธิภาพดีเฉพาะที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้นต่ำเท่านั้น (5 มิลลิกรัม/ลิตร) เชื้อ *B.megatherium* สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ 5 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ *Z.ramigera* มีศักยภาพสูงในการลดปริมาณแคดเมียมระหว่าง 5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

### Abstract

Cadmium reduction by three types of bacteria, *Bacillus megatherium* TISTR 67, *Proteus vulgaris* TISTR 1000 and *Zoogloea ramigera*, thereby transforming soluble cadmium to insoluble cadmium. Effect of bacterial type and initial cadmium concentration on cadmium reduction was studied. Comparison among these bacteria, cadmium could be reduced significantly at 95% confidence level. At first ten minutes, cadmium was reduced rapidly by all bacteria for 5, 10 and 20 mg/l of initial cadmium concentration. However, at high initial concentration (40 mg/l), cadmium could not be reduced. Highest specific reduction rate (0.085 per min.) at first ten minutes obtained in *P.vulgaris* at 5 mg/l of initial cadmium concentration. While maximum value of specific reduction rate of *B.megatherium* (0.073 per min) and *Z.ramigera* (0.075 per min) obtained at 10 and 5 mg/l, respectively. The best microorganism in cadmium reduction was *P.vulgaris*. However, *P. vulgaris* could reduce cadmium only at low concentration (5 mg/l). *B. megatherium* could reduce at wide range of initial concentration from 5 – 20 mg/l. While *Z.ramigera* had high potential to reduce cadmium between 5 – 10 mg/l.

## บทที่ 1 บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหมด มนุษย์ใช้น้ำสำหรับการอุปโภคบริโภค การเกษตร คมนาคมและพักผ่อนหย่อนใจ น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการดำรงชีวิตของประชากร การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการอุตสาหกรรมและด้านเกษตรทำให้เกิดมลสารขึ้นมากมายหลายชนิด มลสารเหล่านี้ก่อให้เกิดการทำลายสิ่งแวดล้อมต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะปล่อยของเสียลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง และทะเลของเสียเหล่านี้ มักอยู่ในรูปของเกลืออินทรีย์ และเกลืออนินทรีย์ของโลหะหนัก เช่น พวกเกลือแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี เป็นต้น เกลือของโลหะหนักเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้วจะถูกสะสมอยู่ในสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา และถูกถ่ายทอดมา และสะสมอยู่ในสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักสะสมอยู่ โลหะหนักนั้นจะถูกถ่ายทอดมาและสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงปริมาณหนึ่งก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย

แคดเมียมจัดเป็นโลหะหนักชนิดซึ่งไม่มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต และยังมีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น (Vallee และ Ulmer, 1972) ดังนั้นการกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งวิธีการบำบัดแคดเมียม ออกจากน้ำทิ้งมีหลายวิธีเช่น การทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี และการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้สามารถกำจัดแคดเมียมออกได้ค่อนข้างสูงจนมีปริมาณตกค้างน้อย แต่มีความยุ่งยากเสียค่าใช้จ่ายสูง และอาจมีผลต่อสิ่งแวดล้อมได้

ปัจจุบันได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำจุลินทรีย์มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม โดยการนำเอาโครงสร้างบางส่วนของจุลินทรีย์ทั้งที่ตายแล้ว และยังมีชีวิตอยู่มาใช้ในการดูดซับแคดเมียม (Jirku, 1986) กลไกต่างๆ ในการดูดซับแคดเมียมโดยจุลินทรีย์ได้แก่ การดูดซับโดยผนังเซลล์การส่งผ่านสู่เซลล์โดยเมแทบอลิซึมของเซลล์ และการดูดซับโดยพอลิเมอร์ที่เซลล์สร้างขึ้น เป็นต้น การนำจุลินทรีย์มาใช้ในการดูดซับแคดเมียมมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ เป็นวิธีบำบัดทางชีวภาพที่เลียนแบบวิธีการตามธรรมชาติ เป็นการกำจัดแคดเมียมโดยใช้พอลิเมอร์ที่เซลล์สร้างขึ้น จึงเป็นวิธีการที่ประหยัดกว่าการบำบัดโดยใช้สารเคมี ซึ่งมีขั้นตอนมากมาย และมีผลต่อเนื่องต่อสิ่งแวดล้อม

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียม โดยแบคทีเรีย *Bacillus megatherium*, *Proteus vulgaris* และ *Zoogloea ramigera* เพื่อลดปริมาณแคดเมียมในน้ำทิ้งสังเคราะห์
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีทางชีวภาพ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนด้วยสารพิษแคดเมียม โดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมมากกว่าการใช้สารเคมี
2. เป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์ ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biosorption) เป็นการดูดซับทางชีวภาพที่สามารถใช้ในการดูดซับโลหะรวมทั้งธาตุหรือสารประกอบจากสารละลายทางชีวภาพ (Volesky และ Holan, 1995) จุลินทรีย์จะเป็นตัวสำคัญที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับทางอุตสาหกรรมรวมทั้ง แบคทีเรีย สาหร่าย รา และยีสต์ สามารถดูดซับโลหะหนักและสารประกอบ เช่น radionuclides, organometallic compound, metalloids และอนุภาคของโลหะ จากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีการปนเปื้อนสูงๆ กลไกชนิดต่างๆ อาจจะรวมทั้งการดูดซับและการตกตะกอน ซึ่งจะ เป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเมแทบอลิซึม เซลล์มีชีวิตและไม่มีชีวิตจะมีความสามารถในการปล่อยผลิตภัณฑ์ เช่น ผนังเซลล์, เม็ดสี และพอลิแซคคาไรด์ ทั้งหมดจะสามารถจับกับโลหะและกำจัดออกจากสารละลายได้ การนำการดูดซับทางชีวภาพมาใช้ในทางอุตสาหกรรมได้รับความสนใจ เพราะว่ามีศักยภาพในการกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ และสารกัมมันตรังสีของเหลวที่เป็นพิษ และส่งผลให้ความเป็นพิษหมดไป และช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม

#### วิธีการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียมีทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ ราและสาหร่าย ซึ่งจะมีลักษณะการให้อยู่ 2 แบบ คือการใช้ในรูปของมีชีวิตและไม่มีชีวิต ซึ่งการดูดซับในรูปเซลล์มีชีวิต มักมีปัญหาเรื่องปัจจัยที่ต้องควบคุมตามมา เช่น แหล่งอาหารสำหรับจุลินทรีย์ การปนเปื้อนโดยเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่น ปริมาณสารพิษในน้ำเสีย ลักษณะการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกโลหะหนักจะถูกจับไว้ที่ผิวเซลล์ และช่วงที่สองจะเป็นการนำโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ เพื่อกำจัดหรือลดความเป็นพิษต่อไป โดยกลไกการดูดซับในรูปมีชีวิต และรูปไม่มีชีวิต มีความแตกต่างกันคือ ในรูปมีชีวิตจะถูกดูดซับโลหะหนักโดยอาศัยกลไกการนำสารเข้าสู่เซลล์และกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ในส่วนรูปไม่มีชีวิตจะทำการดูดซับโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดกับหมู่ functional ขององค์ประกอบทางของผนังเซลล์ ความสามารถที่ใช้เซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตในระบบการดูดซับจะมีความสามารถในการกำจัดสารได้มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต (Volesky และคณะ, 1993)

การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์พบว่ามี 2 ขั้นตอน (Volesky และคณะ, 1993) โดยขั้นแรกจะเป็นการดูดซับทางฟิสิกส์หรือ การแลกเปลี่ยนประจุที่ผิวเซลล์ ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่รวดเร็ว และระยะเวลาที่จุลินทรีย์ดูดซับโลหะในสารละลายจะใช้เวลานั้นหลังจากจุลินทรีย์เข้าไปยึดเกาะกับโลหะ ในขั้นที่สองจะเป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งเป็นขั้นตอนที่ช้า และสัมพันธ์กับกระบวนการเมแทบอลิซึม ในระยะนี้ออกอนของโลหะหนักจะถูกเคลื่อนย้ายไปอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ในไซโตพลาสซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับด้วยจุลินทรีย์จะดูดซับประจุบวกของโลหะหนักจากสารละลายโดยการดูดซับโลหะหนักมาไว้ที่ผนังเซลล์ โลหะหนักสามารถสะสมและตกตะกอนได้บริเวณผิวเซลล์ การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์เกี่ยวข้องกับกลไกทางเคมีและทางโครงสร้างของเซลล์ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับขบวนการสร้างพลังงาน มีการเชื่อมกันบางส่วนของโลหะกับบริเวณผิวที่ถูกดูดซับและสะสมตะกอนอยู่สามารถนำออกมาจากของเสียได้ ขบวนการดูดซับที่ผิวเซลล์สามารถเกิดได้ทั้งในเซลล์ที่ไม่มีและเซลล์ที่มีชีวิต แต่เซลล์จุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตมีความสามารถกำจัดสารได้มากกว่าเซลล์ที่มีชีวิต (Volesky และ Holan, 1995) สำหรับกลไกการจับโลหะหนักมีหลายกลไกสรุปได้ดังนี้

1. การดูดกลืนเข้าไปในเซลล์ (Ingestion) หรือการจับ (Entrapment) ด้วยแฟลกเจลลา หรือ extracellular filament
2. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)
3. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexation)
4. การดูดซับ (Adsorption)
5. การตกตะกอนของสารอนินทรีย์ (Inorganic precipitation)

กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับโลหะ ด้วยสารชีวมวลแตกต่างกันในเชิงคุณภาพ และปริมาณทั้งนี้จะขึ้นกับประเภทของสารชีวมวล ได้แก่ การดูดซับที่เนื่องจากกระแสไฟฟ้า การเกิด chelation การดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์ การดูดซับจากโครงสร้างของเครือข่ายพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide network) การดูดซับที่ผิวของสารชีวมวล โดยกลุ่ม functional group ของไคติน อะมิโน เอไมด์ ฟอสเฟต ไนโตรคลอริก แอซิด หรือ อะมิโน เอไมด์ ซิลฟิวไดรด์ คาร์บอกซิลในโปรตีน และ ไฮดรอกซิล ในพอลิแซคคาไรด์ เป็นต้น ขบวนการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นขบวนการเดียวหรือหลายขบวนการ ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ ชนิดของจุลินทรีย์ (Sag และคณะ, 1995)

จุลินทรีย์จะดูดซับโลหะหนักจากสารละลายโดยการดูดซับโลหะหนักเข้าไปสะสมไว้ภายในเซลล์ โลหะหนักสามารถสะสมในจุลินทรีย์ได้จากขบวนการแพร่และขบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ตโดยเฉพาะในระบบทุติยภูมิของแบคทีเรีย การสะสมสารเหล่านี้ภายในเซลล์ค่อนข้างเป็นไปได้ยากเพราะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่นสภาพแวดล้อมของจุลินทรีย์ ความจำเพาะของสารที่จะส่งผ่านเมมเบรนของเซลล์ สภาพสรีรวิทยาของจุลินทรีย์ อัตราเมแทบอลิซึมของเซลล์ซึ่งถ้าอยู่ในระดับต่ำเซลล์จะมีพลังงานไม่พอที่จะใช้ขบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ตนำสารเข้าสู่เซลล์ ซึ่งขบวนการนี้เป็นขบวนการหลักในการบำบัดของเสียโดยวิธีทางชีวภาพให้ได้มีประสิทธิภาพการแพร่ธรรมดาของไอออนเกิดจากการตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เมมเบรนหรือความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างเมมเบรน พบว่าระดับความแตกต่างของความเข้มข้นจะค่อยๆ ลดลง เมื่อมีการแพร่จากความเข้มข้นสูงสุดที่มีความเข้มข้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตสารเมแทบอลิท์แล้วขับออกนอกเซลล์เพื่อสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักในสารละลาย ซึ่งจะทำให้โลหะหนักในสารละลายลดลงได้

### กลไกการดูดซับโลหะหนักโดยเชื้อแบคทีเรีย

การดูดซับโลหะหนักโดยเชื้อแบคทีเรียสามารถเกิดขึ้นจากกระบวนการใหญ่ๆ คือการใช้พลังงาน และไม่ใช้พลังงานในกระบวนการที่ใช้พลังงานนั้น แบคทีเรียนำพลังงานจากกลไกการเมแทบอลิซึมมาใช้ในการดูดซับโลหะหนักโดยใช้สมบัติทางเคมี และกายภาพของผนังเซลล์แบคทีเรียหรือเมแทบอลิท์ที่เซลล์สร้างขึ้น (Brierley, 1990)

#### 1. วิธีการดูดซับโลหะหนักของแบคทีเรียโดยการใช้พลังงาน

##### 1.1 การตกตะกอน (Precipitation)

การตกตะกอนโลหะหนักโดยแบคทีเรีย เกิดจากการที่แบคทีเรียผลิตหรือปล่อยสารซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหนักแล้วทำให้เกิดสารประกอบของโลหะหนักที่ไม่ละลายน้ำ

##### 1.2 การสะสมโลหะหนักภายในเซลล์

การสะสมโลหะหนักของจุลินทรีย์ ประกอบด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการจับโลหะหนักไว้ที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย จากนั้นโลหะหนักจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์โดยการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการขนส่งเมกนีเซียม และโปแตสเซียมเข้าออกผนังเซลล์

##### 1.3 ปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

การดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรียสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งปฏิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน

##### 1.4 การเติมหมู่เมทิล (methylation) และการกำจัดหมู่เมทิล (demethylation)

การเติมหมู่เมทิลและการกำจัดหมู่เมทิล เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียใช้ในการเปลี่ยนรูปโลหะหนักในสภาพแวดล้อม การเติมหมู่เมทิลสามารถเปลี่ยนรูปโลหะหนักบางชนิดที่มีอยู่ในน้ำและดินไปสู่บรรยากาศได้ ส่วนการกำจัดหมู่เมทิลทำให้เกิดสารประกอบโลหะอนินทรีย์ขึ้น ซึ่งเป็นรูปที่จุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ สามารถเปลี่ยนรูปต่อไปได้อีก อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้ยังไม่มี การนำมาใช้ในการบำบัดที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (Brierley, 1990)

#### 2. วิธีการดูดซับโลหะหนักของแบคทีเรียโดยไม่ใช้พลังงาน

##### 2.1 การจับโลหะหนักโดยสารที่แบคทีเรียปล่อยออกสู่ภายนอกเซลล์

การจับโลหะหนักภายนอกเซลล์เกิดขึ้นเมื่อ แบคทีเรียผลิตสารสำหรับจับกับโลหะหนักขึ้นภายนอกเซลล์ หรือปล่อยออกสู่ภายนอกเซลล์ ซึ่งสารนี้อาจเป็นสารที่มีสมบัติในการจับโลหะ (chelating agent) เช่น ไซเดอโรฟออร์ (siderophores) และพอลิเมอร์ที่แบคทีเรียสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการสร้างสารเหล่านี้ แบคทีเรียต้องใช้พลังงานในการเมแทบอลิซึม แต่ในกระบวนการที่สารเหล่านี้จับกับโลหะหนักนั้นไม่ต้องการพลังงานจากแบคทีเรีย ไฮเดรโอโรฟอร์เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความจำเพาะต่อการจับกับเหล็ก ซึ่งแบคทีเรียจะผลิตไฮเดรโอโรฟอร์มเพื่อวัตถุประสงค์ในการเก็บเหล็กไว้ใช้ในการเมแทบอลิซึมต่อไป แบคทีเรียสามารถผลิตไฮเดรโอโรฟอร์ได้ ได้แก่ *Pseudomonas*, *Actinomyces*, *Azotobacter* และ *Arthrobacter* ส่วนพอลิเมอร์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียนั้นประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ โปรตีน และ/หรือ กรดนิวคลีอิก ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถจับกับไอออนของโลหะหนักและตกตะกอนร่วมกันได้ (Brierley, 1990) พอลิเมอร์ที่เชื่อมสร้างขึ้นอาจอยู่ในรูปเมือกที่หลุดแยกจากเซลล์ (slime) หรือเป็นแคปซูล (capsule) ที่ติดกันแน่นกับผนังเซลล์ก็ได้ (Kasan, 1993)

## 2.2 การดูดซับโลหะหนักโดยผนังเซลล์

กระบวนการการดูดซับโลหะหนักโดยผนังเซลล์ประกอบด้วย 3 วิธี คือปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange reaction) การตกตะกอน (precipitation) และการเชื่อมจับโดยตรง (complexation)

ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวกมีสมบัติต่างกัน ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus* มีประสิทธิภาพสูงในการจับโลหะหนัก เนื่องจากประกอบด้วยร่างแหของเปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) ที่หนา และจับกับสารโมเลกุลใหญ่บางชนิด นอกจากนี้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกบางชนิดจะประกอบด้วยกรดไทโคอิก (teichoic acid) และการไทคูโรนิก (teichuronic acid) จึงมีผลให้ประจุของผนังเซลล์เป็นลบ และพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ (phosphodiester bond) ของกรดสองชนิดนี้จะให้หมู่คาร์บอกซิล ซึ่งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุที่ผนังเซลล์ได้ และยังพบว่าโมเลกุลของไนโตรเจนและออกซิเจนของผนังเซลล์สามารถทำหน้าที่เชื่อมจับโลหะหนักได้โดยตรง ส่วนผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีข้อจำกัดในการจับโลหะหนัก เนื่องจากประกอบด้วยชั้นของเปปติโดไกลแคนที่บาง (Brierley, 1990)

Norberg และ Persson (1984) ศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะหนักทองแดง แคดเมียม และยูเรเนียมจากสารละลาย โดยใช้ *Zoogloea ramigera* ดูดซับ การวัดโดยสเปคโตรโฟโตเมตริกซ์ในสารละลายหลังจากการรวมตะกอน การวัดความสามารถด้วยขั้วไฟฟ้าของสารปรอทผสมกับโลหะอื่นๆ ในการศึกษาการดูดซับโลหะหนักโดยติดตามการสร้างสารเชิงซ้อนทั้งหมด โลหะ Bipolymer มีปฏิกิริยาต่อ 0.1 M NaClO<sub>4</sub> ซึ่งเหมาะที่จะทำปฏิกิริยาเหมือนกันเมื่อเติมด้วยเกลือที่เป็นไม่กลาง การดูดซับโลหะจะขึ้นอยู่กับพีเอชและวิธีการเลือกจับโดยพีเอชที่เหมาะสมของทองแดง แคดเมียม และยูเรเนียม เท่ากับ 4 4-5 และ 2 ตามลำดับ สามารถดูดซับได้ดีภายในเวลา 15 นาทีซึ่งดูดซับได้ถึง 0.15 0.17 และ 0.38 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.3 0.5 และ 1.3 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Norberg และ Enfors (1982) ศึกษาการผลิตพอลิแซคคาไรด์ภายนอกเซลล์โดย *Zoogloae ramingera* ในการเลี้ยงแบบกะที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส พีเอช 7 จะได้ผลผลิตของพอลิแซคคาไรด์มากที่สุด ซึ่งเกิดจากระบวนการ Growth-link Exopolysaccharide จะติดอยู่กับเซลล์กลายเป็นแคปซูล ซึ่งจะถูกล่อยออกมาจากผนังเซลล์ หลังจากการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 150 ชั่วโมง

Norberg และ Rydin (1984) ศึกษาการพัฒนากระบวนการดูดซับโลหะแบบต่อเนื่องโดยกากมวลชีวภาพของ *Zoogloea ramigera* จะประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นกรด ซึ่งจะนำไปใช้เป็นตัวดูดซับโลหะทองแดงและพบว่าการดูดซับขึ้นกับระยะเวลาการดูดซับ ความเข้มข้นของกากมวลชีวภาพและพีเอช โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น 0.58 กรัมต่อลิตร ปริมาณกากมวลชีวภาพที่ใช้เท่ากับ 22 กรัมต่อลิตร พีเอช 5 สามารถดูดซับได้ประมาณ 0.17 กรัมต่อกรัมของกากมวลชีวภาพภายใน 10 นาที

Kuhn และ Pfister (1989) ศึกษาการดูดซับโลหะผสม และแคดเมียม โดยการตรึง *Zoogloea ramigera* ด้วย Calcium alginate เพื่อตั้งแคดเมียม สังกะสี แมงกานีส ตะกั่ว ทองแดง และสตรอนเตียม จะดูดซับแคดเมียมได้ร้อยละ 99 สตรอนเตียมจะถูกดูดซับได้ร้อยละ 95.9 และดูดซับตะกั่วได้น้อยประมาณร้อยละ 81.3 และ 74.7 เมื่อสารละลายมีตะกั่วอยู่ 12 และ 23 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ

Mcroun และคณะ (1998) ศึกษาการใช้กากมวลชีวภาพของ *Myxococcus xanthus* ดูดซับตะกั่ว ซึ่งสามารถดูดซับได้ 1.28 มิลลิโมลของตะกั่วต่อกรัม และพบว่ากากมวลชีวภาพในสภาพแห้งมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดีกว่าการใช้กากมวลชีวภาพที่เปียก การดูดซับด้วยกากมวลชีวภาพแห้งจะพบว่า จะเกิดขึ้นได้เร็ว และถึงจุดสมดุลหลังจาก 5-10 นาที อายุของการเพาะเลี้ยงความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว และพีเอชมีผลกระทบต่อกระบวนการดูดซับ แต่อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการดูดซับ

Faison และคณะ (1990) ศึกษาการดูดซับสารละลายสตรอนเตียมโดยใช้ *Micrococcus luteus* เซลล์ที่อยู่ในระยะพักตัว พบว่าสามารถดูดซับสตรอนเตียมจากสารละลายที่เจือจางในรูป  $SrCl_2$  ที่พีเอช 7 ได้เท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเซลล์แห้งในสารละลายสตรอนเตียมเริ่มต้น 50 พีพีเอ็ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) การจับสตรอนเตียมจะเกิดขึ้นในที่ที่ไม่มีสารอาหารและไม่ต้องใช้กระบวนการเมแทบอลิซึม ในการจับครั้งแรกจะเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และจะช้าลงในเวลาต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 1. แหล่งของแบคทีเรีย

เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus megatherium* TISTR 67, *Proteus vulgaris* TISTR 100 และ *Zoogloea ramigera* TISTR 1329 ได้มาจากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

#### 2. อาหารเลี้ยงเชื้อ สภาวะการเลี้ยงเชื้อและการเก็บเกี่ยวเซลล์

อาหารเลี้ยงเชื้อ ประกอบด้วย ทริปโตน 5 กรัม/ลิตร ยีสต์สกัด 2.5 กรัม/ลิตร และกลูโคส 1 กรัม/ลิตร ทำการเลี้ยงเชื้อในอาหาร 100 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37°C และเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการเก็บเกี่ยวเซลล์โดยเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง และอบเซลล์ที่ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

#### 3. การวิเคราะห์การลดปริมาณแคดเมียม

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตรโดยแต่ละพลาสติกประกอบด้วย เซลล์แบคทีเรียบดละเอียด 0.5 กรัม และสารละลายแคดเมียม 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น จะแปรผันตั้งแต่ 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเขย่าที่ 200 รอบต่อนาทีที่ 37°C จะทำการเก็บตัวอย่างออกมา 10 มิลลิลิตร ของแต่ละพลาสติก ที่เวลา 10, 20, 30 และ 40 นาที เพื่อวัดค่าแคดเมียมที่เหลืออยู่ เปรียบเทียบกับปริมาณแคดเมียมเมื่อเริ่มต้น โดยวิธีวิเคราะห์ไดโครโซน ตามคู่มือมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย เล่มที่ 19 (APHA, AWWA และ WEF, 1995)

#### 4. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี complete randomized design

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. การดูดซับแคดเมียม

ผลการลดปริมาณแคดเมียมโดยแบคทีเรีย *Bacillus megatherium*, *Proteus vulgaris* และ *Zoogloea ramigera* ในรูปของความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือ แสดงไว้ดังรูปที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

เชื้อ *B.megatherium* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก สามารถดูดซับแคดเมียมเมื่อ 10 นาทีแรกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 75.2% ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ 81.4% และที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ 61.7% อย่างไรก็ตาม พบว่าการดูดซับหลังจาก 10 นาทีแรก จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และยังพบว่า *B.megatheium* ไม่สามารถลดปริมาณแคดเมียมลงได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมสูง (40 มิลลิกรัมต่อลิตร)

สำหรับแบคทีเรียแกรมลบคือ *P.vulgaris* และ *Z.ramigera* พบว่า *P.vulgaris* สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้สูงสุด ถึง 87.0% ที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อ 10 นาทีแรกของการดูดซับ และที่เวลาเดียวกันพบว่า *Z.ramigera* ลดปริมาณแคดเมียมได้ต่ำกว่า คือเพียง 34.7% และที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 20 และ 40 มก./ล. จะพบว่าการลดปริมาณแคดเมียม โดย *P.vulgaris* จะน้อยมาก โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

*Z.ramigera* สามารถดูดซับแคดเมียมได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น ตั้งแต่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าการลดปริมาณแคดเมียมเป็น 84.7% 78.7% และ 23.2% ที่ระดับความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 5, 10 และมิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

สำหรับที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเริ่มต้นสูง (40 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าเชื้อทั้งสามคือ *B.megatherium*, *P.vulgaris* และ *Z.ramigera* ไม่สามารถลดปริมาณแคดเมียมโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญลงได้

จากกราฟการลดปริมาณแคดเมียม พบว่าการดูดซับแคดเมียมเกิดขึ้นภายใน 10 นาทีแรก และหลังจากนั้นการดูดซับแคดเมียมจะเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง Ting และคณะ (1991) ได้อธิบายว่าการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่หนึ่ง จะเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการดูดซับที่ผิวของผนังเซลล์จุลินทรีย์ สำหรับขั้นที่สองจะเกิดการดูดซับอย่างช้าๆ เนื่องจากการขนส่งอิออนโลหะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ไซโตพลาสซึม จากผลการทดลองใช้เวลาขั้นที่หนึ่งประมาณ 10 นาที ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Matis และ Zouboulis (1994) ที่ใช้เวลาชั้นที่หนึ่งประมาณ 15 นาที กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในบางการทดลองพบว่าในเวลาเพียงไม่กี่วินาที การดูดซับโลหะหนักอาจจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์, โปรตีน และไขมัน ดังนั้นโครงสร้างของส่วประกอบเหล่านี้ จะมีหมู่ต่างๆ ที่สามารถเชื่อมต่อกับโลหะหนักได้ด้วยอย่างของหมู่ดังกล่าว ได้แก่ หมู่อะมิโน, คาร์บอกซิลิก, ซัลไฟดริล, ฟอสเฟต และไทออล เป็นต้น Matis และ Zouboulis (1994) รายงานว่าหมู่เหล่านี้เป็นหมู่ที่ทำให้ผิวเซลล์แบคทีเรียมีประจุเป็นลบ ดังนั้นจึงสัมพันธ์กับการดูดซับแคดเมียม ซึ่งมีประจุเป็นบวก

## 2. จลนศาสตร์ของการดูดซับ

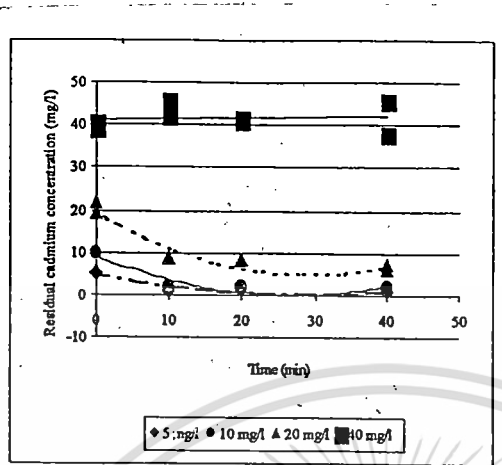
การดูดซับแคดเมียมแตกต่างกันในแบคทีเรียต่างชนิดกัน ดังนี้ *B.megatherium* ตั้งแต่ 5 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร *P.vulgaris* ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และ *Z.ramigera* ตั้งแต่ 5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3 สำหรับแต่ละแบคทีเรีย

อัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะคำนวณจากลอคการริบมิกของการลดความเข้มข้นแคดเมียมต่อเวลาความเข้มข้นที่ได้จากลิเนียร์รีเกรสชันได้แสดงไว้ในรูปของอัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะในหน่วยของต่อนาที (นาที่<sup>-1</sup>)

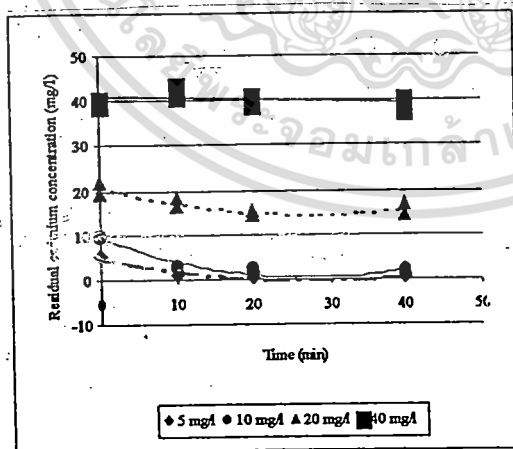
อัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะของแบคทีเรียแต่ละชนิดและที่แต่ละระดับความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น แสดงไว้ดังตารางที่ 1 พบว่าอัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะสูงสุด (0.085 นาที่<sup>-1</sup>) ที่ 10 นาทีแรก พบจาก *P.vulgaris* ที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่อัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะมากที่สุดของ *B.megatherium* (0.073 นาที่<sup>-1</sup>) และ *Z.ramigera* (0.075 นาที่<sup>-1</sup>) ที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น 10 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

Matis และ Zouboulis (1994) รายงานว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีศักยภาพในการจับกับโลหะ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่ *B.megatherium* สามารถลดปริมาณแคดเมียม ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ในช่วงที่กว้าง (5-20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่ *Z.ramigera* มีความสามารถที่จะลดปริมาณแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ *P.vulgaris* มีความสามารถดีที่สุดในการลดปริมาณแคดเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำ (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่ง Kefala และคณะ (1994) ได้อธิบายถึงความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก ซึ่งอาจส่งผลถึงความสามารถในการดูดซับแคดเมียมเข้าสู่เซลล์ทั้งสองแบบ โดยแบคทีเรียแกรมลบจะดูดซับแคดเมียมโดยตรงเข้าสู่เซลล์เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม และมีหมู่ฟอสฟอริล และคาร์บอกซิล ในลิโปโพลีแซคคาไรด์ ในการดักจับแคดเมียมไว้ นอกจากนี้ Kefala และคณะ (1994) ยังพบว่าแบคทีเรียแกรมลบสามารถทนทานต่อแคดเมียมได้สูงกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

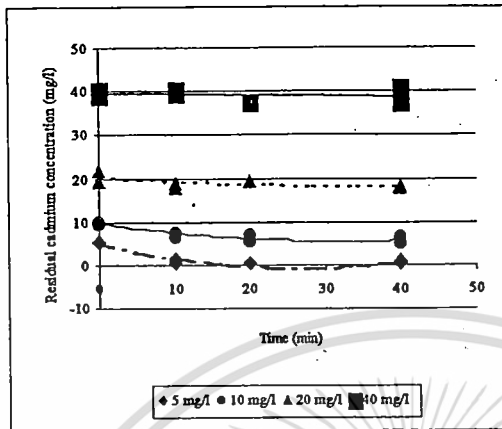


รูปที่ 1 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในสารละลายภายหลังจากการถูกดูดซับโดย *B. megatherium*



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในสารละลายภายหลังจากการถูกดูดซับโดย *P. vulgaris*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในสารละลายภายหลังจากการถูกดูดซับ  
โดย *Z. ramigera*

ตารางที่ 1 อัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะของแบคทีเรีย

Type of bacteria	Initial cadmium concentration (mg/l)	Specific reduction rate ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$
<i>B. megatherium</i>	5	0.055	0.92
	10	0.073	0.99
	20	0.036	0.99
	40	0	-
<i>P. vulgaris</i>	5	0.085	0.75
	10	0.014	0.90
	20	0	-
	40	0	-
<i>Z. ramigera</i>	5	0.075	0.99
	10	0.059	0.99
	20	0.007	0.88
	40	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการลดปริมาณแคดเมียมโดยแบคทีเรียพบว่าปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น มีอิทธิพลต่อการดูดซับแคดเมียม โดยถ้าความเข้มข้นสูงจะทำให้การดูดซับแคดเมียมโดยแบคทีเรียลดลง โดยที่ 10 นาทีแรกของการดูดซับแบคทีเรียทุกชนิดสามารถลดปริมาณแคดเมียมได้อย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มข้นสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น 5, 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่กลับไม่สามารถลดปริมาณแคดเมียม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร แบคทีเรียที่สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้ดีที่สุด คือ *P.vulgaris* เนื่องจากอัตราการลดปริมาณแคดเมียมจำเพาะสูงสุด ( $0.085 \text{ นาที}^{-1}$ ) ที่ 10 นาทีแรกของการดูดซับ แต่มีข้อเสียคือ จะมีประสิทธิภาพดีเฉพาะที่ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้นต่ำ (5 มิลลิกรัมต่อลิตร) เชื้อ *B.megatherium* สามารถลดปริมาณแคดเมียมได้ในช่วงที่กว้างตั้งแต่ 5 - 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ *Z.ramigera* มีศักยภาพสูง ในการลดปริมาณแคดเมียมระหว่าง 5 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้จึงควรศึกษาความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้นให้เหมาะสมกับเชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้การกำจัดแคดเมียมมีประสิทธิภาพสูงสุด

### เอกสารอ้างอิง

- APHA, AWWA and WEF 1995. Standard methods for the examination of water and Wastewater. 19<sup>th</sup> ed., United Book Press, Inc. Bultimore.
- Brierley, C.L. 1990. Metal Immobilization using bacteria. In Microbial Mineral Recovery. 302 – 339.
- Faison, B.D., Cancel, C.A., Lewis, S.N. and Adler, H.I. 1990. Binding of dissolved strentium by *Micrococcus luteus*. Applied and Environmental Microbiology. 56 (12) : 3649 – 3656.
- Jirku, V. 1986. Immobilized cell wall as a biopecific sorbent. Biotechnology Letter 8 : 639 – 642.
- Kasan, H.C. 1993. The role of waste activated sludge and bacteria in metal-ion removal form solution. Critical Review in Enveronmental Science and Technology. 23 (1) : 79 – 117.
- Kefala, M.I. Ekateriniason, L.V., Zouboulis, A.J., Matis, K.A. and Kyriakidis, D.A. 1994. Cadmium biosorption and toxicity to laboratory grown *Xanthomonas campestris* In Pyle, D.L. (ed). Separations for biotechnology 3. London, pp. 249-254.
- Kuhn, S.P. and Pbister, R.M. 1989. Adsorption of mixed metals and cadmium by calcium alginate immobilized *Zoogloea ramigera*. Applied Microbiology and Biotechnology. 31 : 613 – 618.
- Matis, K.A. and Zouboulis, A.I. 1994. Flotation of cadmium-loaded biomass. Biotechnology and Bioengineering. 44 : 354 – 360.
- Merroun, M.L. Ben Omar, N. Gonzalez, M.T. and Arias, J.M. 1998. *Myxococcus xanthus* biomass as biosorbent for lead. Journal of Applied Microbiology. 84 : 63 – 67.
- Norberg, A. and Enfors, S.D. 1982. Product of extracellular polysaccharide by *Zoogloea ramigera*. Applied and Environmental Microbiology. 44(5) : 1231 – 1237.
- Norberg, A. and Persson, H. 1984. Accumulation of heavy metal ions by *Zoogloea ramigera*. Biotechnology and Bioengineering. 26 : 239 – 246.

- Norberg, A. and Rydin, S. 1984. Development of continuous process for metal accumulation by *Zoogloea ramigera*. *Biotechnology and Bioengineering* 26 : 265 – 268.
- Sag, Y., Ozer, D. and Kutsal, T. 1995. A comparative study of the biosorption of lead (II) ions to *Z. ramigera* and *R. arrhizus*. *Process Biochemistry*. 30 (20) : 169 – 174.
- Ting, Y.P., Lawson, F. and Prince, I.G. 1991. Uptake of cadmium and zinc by the alga *Chloralla vulgaris* : II. Multi-ion situation. *Biotechnology and Bioengineering*. 37 : 445-455.
- Vallee, B.L. and Ulmer, D.D. 1972. Biochemical effects of mercury, cadmium and lead. *Annual Review of Biochemistry*. 41 : 91 – 128.
- Vobsky, B. and Holan, Z.R. 1995. Biosorption of heavy metals. *Biotechnology Progress*. 11 : 235 – 250.
- Volesky, B., May, H. and Holan, Z.R. 1993. Cadmium biosorption by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioengineering*. 41 : 826 – 829.