

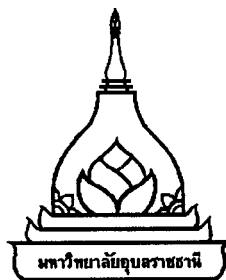
## การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก

พัฒนชวัลพร สินรัมย์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**BIOSORPTION OF LEAD FROM AQUEOUS SOLUTION USING**

***L. floribunda* Jack**

**PATCHAWANPORN SINRAM**

**AN INDEPENTDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING**

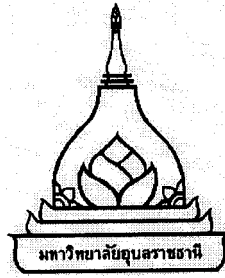
**MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**UBON RAJATHANEE UNIVERSITY**

**YEAR 2006**

**COPYRIGHT OF UBON RAJATHANEE UNIVERSITY**



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก

ผู้วิจัย นางสาวพัฒนัชวัลพร สีนรัมย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราข)

..... กรรมการ  
(นายประเดิม ภาคแก้ว)

..... คณบดี  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โกลา)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2549

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้โดยได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาและความช่วยเหลือต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการค้นคว้าข้อมูลและการแก้ปัญหานานาปัญหา ขอบคุณท่านอาจารย์ที่เป็นผู้ให้เวลาและคำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์หลายอย่างแก่ข้าพเจ้ารวมไปถึงสอนสั่งข้าพเจ้า ทั้งความรู้ในตำราและความรู้รอบตัว

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์พงษ์ มัตราข และนายประเดิม ภาคแก้ว กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับขอบเขตของการค้นคว้าอิสระและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะทำให้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ ในระหว่างทำการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ช่วยเหลือระหว่างทำการค้นคว้าอิสระ

ขอขอบคุณ คุณพรนภา แก้วประดิษฐ์ คุณธีระวุฒิ บุญล้อม คุณคมสัน มงคลสวัสดิ์ คุณภาณุวัฒน์ สีทา คุณชนยิตรี แสงวิจิตร และเพื่อนๆ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รุ่น 3 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพันตำรวจเอกสมพงษ์ คุณแม่อรุณฉานวดี สีนรัมย์ และนายปภาวิน สีนรัมย์ ที่ได้สนับสนุนและคอยให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

พัฒนา ชวัลพร สีนรัมย์  
(นางสาวพัฒนาชวัลพร สีนรัมย์)

ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ผลตะแบก  
 โดย : พัฒน์ชวัลพร สีนรัมย์  
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
 ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร

ศัพท์สำคัญ : การดูดซับ ตะกั่ว น้ำเสียสังเคราะห์ ผลตะแบก

ปัญหาด้านน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้น ซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ แม้จะมีการบำบัดหรือกำจัดโลหะหนักก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แต่อาจมีบางส่วนที่ยังตกค้างอยู่ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นส่วนสำคัญ ในการจัดการปัญหาด้านน้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้น ได้มีการใช้กระบวนการทางเคมีหรือฟิสิกส์และเคมีร่วมกันในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ในศึกษาครั้งนี้ได้ใช้กระบวนการดูดซับทางชีวภาพ โดยใช้ผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติมาใช้เป็นสารดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองแบบแบทช์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาด(แบบบดและไม่บด) ระยะเวลาสัมผัส ปริมาณ และพีเอช เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก ผลการศึกษาพบว่า ที่สารละลายตะกั่วความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. สารดูดซับแบบบดมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วดีกว่าสารดูดซับแบบไม่บด โดยมีปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสมเท่ากับ 1 ก./30 มล. ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับแบบบดเท่ากับร้อยละ 93.9 ที่พีเอช 2 และเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลา 30 นาที การดูดซับของสารดูดซับเป็นไปตาม ไอโซเทอรัมของ Langmuir และ Freundlich โดยให้ค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 18.761 มก./ก. ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะนำเอาผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากเหมาะที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำๆ

## ABSTRACT

TITLE : BIOSORPTION OF LEAD FROM AQUEOUS SOLUTION USING

*L. floribunda* Jack

BY : PATCHAWANPORN SINRAM

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST.PROF. PAIRAT KAEWSARN, Ph.D.

KEYWORDS : BIOSORPTION / LEAD / AQUEOUS SOLUTION / *L.floribunda* Jack

The problem of industrial wastewater effects human being and poses enormous problems. Industrial wastewater containing untreated heavy metal is discharged to natural water and there is an extremely need for treating technology. There are many processes which can be used for removing heavy metal such as chemical, physical and biological processes. *L. floribunda* Jack was used as biosorbent for lead removal from synthetic wastewater by biosorption technology. Batch experiment was employed for this study. Optimum uptake capacities were evaluated by different parameters of biosorbent sizes, contact time, dose and pH. The result showed that at the initial of lead 10 mg/l, the ground biosorbent had highest efficiency for lead removal. The optimum uptake capacity dose was 1 g/30 ml. The optimum uptake capacity by using grounded biosorbent was approximately 93.9 % at pH 2 and the adsorption reached to equilibrium at about 30 minutes. The adsorption behavior of *L. floribunda* Jack followed Langmuir and Freundlich isotherm and its maximum sorption capacities was about 18.761 mg/g. This study might conclude that this may use in treatment of low concentration of lead in wastewater.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายอักษรย่อ	ซ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โลหะหนัก	3
2.2 ตะกั่ว	4
2.3 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	5
2.4 การดูดซับ	8
2.5 ตะแบก	15
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สถานที่ทำการวิจัย	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	17
3.3 สารเคมี	17
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	18

## สารบัญ (ต่อ)

### หน้า

#### 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	22
4.2 ผลของปริมาณของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	24
4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	25
4.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	27

#### 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย	31
5.1.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	31
5.1.2 ผลของปริมาณของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	31
5.1.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	31
5.1.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32

#### เอกสารอ้างอิง

33

#### ภาคผนวก

ก ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดลอง	38
ข ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ	43
ค ภาพการทดลอง	45
ง ผลงานทางวิชาการ	48

#### ประวัติผู้วิจัย

63



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	23
4-2	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ	24
4-3	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับ ที่พีเอชต่างๆ	26
4-4	ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอช 2	28
4-5	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ที่พีเอช 2	28
4-6	ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับต่างๆ	30
ก-1	ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับแบบบด ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	39
ก-2	ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับแบบ ไม่บด ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ	39
ก-3	ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ	40
ก-4	ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ	40
ก-5	ผลของความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่ความเข้มข้นต่างๆ	41
ก-6	ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir ที่พีเอช 2	41
ก-7	ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich ที่พีเอช 2	42
ข-1	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ ในการปรับพีเอช (ไม่มีตัวดูดซับ)	44

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1	กราฟสำหรับสมการ (2) ของ Langmuir 10
2-2	กราฟสำหรับสมการ (3) ของ Langmuir 10
2-3	กราฟหาค่า $C_s$ สำหรับสมการ (4) ของ BET 11
2-4	กราฟสำหรับสมการ (5) ของ BET 11
2-5	กราฟสำหรับสมการ (6) ของ Freundlich 12
2-6	ลักษณะส่วนต่างๆ ของตะแบก 16
3-1	ขั้นตอนการหาระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว 19
3-2	ขั้นตอนการหาปริมาณที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว 20
3-3	ขั้นตอนการหาพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว 20
3-4	ขั้นตอนการหาความเข้มข้นที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว 21
4-1	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ 23
4-2	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ ณ เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง 25
4-3	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ 26
4-4	แสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ 27
4-5	แสดงไอโซเทอรัมของ Langmuir ที่พีเอช 2 29
4-6	แสดงไอโซเทอรัมของ Freundlich ที่พีเอช 2 29
ข-1	แสดงความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ ในการปรับพีเอช (ไม่มีตัวดูดซับ) 44
ค-1	ลักษณะของผลตะแบกที่แห้งอยู่ที่ดินตะแบก 46
ค-2	ลักษณะของผลตะแบกที่เก็บมาจากดินตะแบก 46
ค-3	ลักษณะของผลตะแบกที่ผ่านการบด 47
ค-4	ลักษณะของผลตะแบกแบบที่ผ่านการบดและแบบไม่บด 47

## คำอธิบายอักษรย่อ

อักษรย่อ	คำอธิบาย
มก.	มิลลิกรัม
มล.	มิลลิลิตร
มก./ล.	มิลลิกรัม/ลิตร
ล./มก.	ลิตร/มิลลิกรัม
ซ.ม.	เซนติเมตร
ตร.ม.	ตารางเมตร

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปนเปื้อนของสารพิษในระบบนิเวศ ส่งผลให้เกิดการสะสมของมลพิษ การปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งเป็นสารอันตรายนั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น จากอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ และกิจกรรมจากภาคเกษตรกรรม เป็นต้น (Esposito et al., 2001) โดยปกติน้ำเสียมักจะมีสารประกอบอนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะหนัก เช่น พวกเกลือของปรอท ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี เป็นต้น เกลือของโลหะหนักส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำก็จะสะสมของเสียไว้ ดังนั้นห่วงโซ่อาหารที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตามมา (Akar et al., 2005)

การเลือกใช้วิธีการบำบัดโลหะหนักที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับ กลุ่มของปัจจัย ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (วิธีการใช้และประสิทธิภาพ) ราคาของโลหะหนักในท้องตลาดที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการใช้ลดลง (Volesky, 1990) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) การดูดซับ (adsorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การระเหย (evaporation) และการใช้เมมเบรน (membrane processes) เป็นต้น (Kojima and Lee, 2001) ซึ่งวิธีการเหล่านี้เหมาะสำหรับนำไปใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงๆ แต่มักมีราคาแพงมาก และ/หรือไม่มีประสิทธิภาพเมื่อนำมาใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 100 มก./ล. (Volesky, 1987) แต่การดูดซับทางชีวภาพนั้นจะเหมาะสำหรับใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยๆ (Yu et al., 1998) อีกทั้งยังสามารถใช้สารดูดซับทั่วไปได้ (Zouboulis et al., 2004)

ดังนั้นการวิจัยนี้ จึงได้นำการดูดซับทางชีวภาพมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

### 1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผลตะแบกมาใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

### 1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ผลตะแบกโดยทำการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส พื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาณของสารดูดซับ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ผลตะแบกที่มีพื้นที่ผิวสัมผัส 2 แบบ คือ แบบที่ไม่มีการบด และแบบที่มีการบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 x 20 mesh

1.3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วออกไซด์ โดยให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และรูปแบบการศึกษาจะเป็นการดูดซับแบบแบทช์ (batch experiment)

1.3.3 ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้ในการทดลองคือ 5, 10, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที

1.3.4 พีเอชเริ่มต้นที่ใช้ในทดลองคือ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

1.3.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์คือ 10, 50, 100, 250 และ 500 มก./ล.

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว โดยใช้ผลตะแบกเป็นสารดูดซับ

1.4.2 ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส พื้นที่ผิวสัมผัส และค่าพีเอช ในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ผลตะแบก

1.4.3 เป็นการนำผลตะแบก ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เหลือทิ้งและหาได้ง่ายมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาใช้เป็นสารดูดซับโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่ำๆ ในการบำบัดน้ำเสียตามกระบวนการดูดซับทางชีวภาพ (biosorption)

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้จะกล่าวถึง ความหมายของโลหะหนัก คุณสมบัติของตะกั่ว การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (adsorption) และตะแบกซึ่งจะใช้เป็นสารดูดซับในการวิจัยนี้ ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

#### 2.1 โลหะหนัก

##### 2.1.1 ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป และมีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 ถึง 92 อยู่ในคาบที่ 4-7 โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง(ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ และสะท้อนแสงได้ดี คุณสมบัติทางเคมีของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นจึงสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ได้หลายรูปแบบและเสถียรกว่าการเป็นโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านทางห่วงโซ่อาหาร โลหะหนักเป็นสารซึ่งมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่มีโลหะหนักบางชนิดที่มีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต แต่ต้องได้รับในปริมาณที่เหมาะสม ถ้ามากเกินไปจะเป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี เป็นต้น สำหรับโลหะหนักบางชนิดที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอทและนิเกิล เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาตะกั่ว เนื่องจากเป็นโลหะหนักที่พบได้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งจะกล่าวถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี การใช้ประโยชน์ การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และอันตราย ในส่วนต่อไป

## 2.2 ตะกั่ว

### 2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ตะกั่วเป็นโลหะสีเทาเงิน มีความอ่อนตัวสามารถดัดหรือขึ้นรูปได้ง่าย น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 มีความถ่วงจำเพาะ 11.34 มีจุดหลอมเหลวที่ 327.50 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดที่ 1,740 องศาเซลเซียส

### 2.2.2 การใช้ประโยชน์

ตะกั่วที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 ประเภท คือ

#### 2.2.2.1 ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่

- 1) โลหะตะกั่ว ใช้ผสมในแท่งโลหะผสมหรือผงเชื่อมบัดกรีโลหะ
- 2) ออกไซด์ของตะกั่ว เช่น ตะกั่วโมนอกไซด์ ใช้เป็นสารสีเหลืองผสมสีทาบ้าน ตะกั่วไดออกไซด์ใช้ทำเป็นขั้วอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ ตะกั่วออกไซด์หรือตะกั่วแดงใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อกันสนิม

- 3) สารประกอบของเกลือตะกั่ว เช่น ตะกั่วอะซิเนต ใช้เป็นยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืช ตะกั่วซิลิเกตใช้ผสมในกระเบื้อง เครื่องเคลือบหรือเซรามิกให้เกิดความเงางามและมีผิวเรียบ

2.2.2.2 ตะกั่วอินทรีย์ ได้แก่ ตะกั่วเตตระเอทิลและตะกั่วเตตระเมทิล ซึ่งตะกั่วทั้งสองชนิดนี้ ใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ซึ่งสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ค่อนข้างเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอินทรีย์เพราะสามารถระเหยและกระจายไปในอากาศได้ดี

### 2.2.3 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดใหญ่ๆ ของตะกั่วที่จะเป็นตัวแพร่กระจายตะกั่วออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ เหมืองแร่ตะกั่ว การทำตะกั่ว ให้บริสุทธิ์ และการถลุงแร่ตะกั่ว โดยเฉพาะการใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน การแพร่กระจายของตะกั่วทั้งจากแหล่งที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนใหญ่แล้วจะปล่อยออกสู่อากาศ จากนั้นก็จะไปสู่พืช ดิน และแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

### 2.2.4 อันตรายจากตะกั่ว

สำหรับอันตรายต่อมนุษย์ที่เกิดจากพิษของสารตะกั่วสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามชนิดของสารตะกั่ว คือ การแพ้พิษจากสารตะกั่วอนินทรีย์ และการแพ้พิษจากสารตะกั่วอินทรีย์ ดังนี้

#### 2.2.4.1 การแพ้พิษจากสารตะกั่วอนินทรีย์ แบ่งอาการออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) ชนิดเฉียบพลัน จะเกิดอาการท้องอืด ท้องเสีย ปวดแสบปวดร้อน ในท้องคลื่นไส้ อาเจียน ในบางครั้งมีอาการท้องร่วง ไม่ค่อยพบอาการท้องผูก คนไข้อาจสลบ มีอาการทางประสาทและกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย ปวด และเป็นตะคิวซึ่งรวมถึงการปวดศีรษะ นอนไม่หลับ ประสาทสัมผัสผิดปกติ รู้สึกเซื่องซึม หดหู่ความรู้สึก และอาจตายได้เนื่องจาก ไตถูกทำลาย คนไข้อาจตายได้ภายใน 1 หรือ 2 วัน

2) ชนิดเรื้อรัง อาการแบบนี้ผู้ป่วยจะได้รับสารตะกั่วทีละน้อยๆ ค่อยๆ สะสมอยู่ในร่างกายของคนเราและจะพบอาการอ่อนเพลีย เหนื่อยหน่าย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ท้องผูก ซึม กระสับกระส่าย อาเจียนเป็นบางครั้ง อ่อนเพลีย และปวดศีรษะพบเส้นตะกั่วสีม่วงคล้ำที่เหงือก (lead line) โลหิตจาง จะมีอาการทางระบบประสาทเข้ามาาร่วมด้วยคือ ซึม ไม่รู้สึกตัวสมอง บวม ชัก ในรายที่มีระดับตะกั่วในเลือดค่อนข้างสูง อาการมักเริ่มเกิดขึ้นชัดเจนในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้ งานมากเช่น กล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือและข้อเท้ามีผลทำให้เกิดอาการมือและเท้า เป็นอัมพาต

#### 2.2.4.2 การแพ้พิษจากสารตะกั่วอนินทรีย์ แบ่งอาการออกได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1) ชนิดเฉียบพลัน อาการที่พบส่วนมากเป็นอาการทางประสาท เช่น หงุดหงิดนอนไม่หลับ คลุ้มคลั่ง เกิดความคิดสับสน และวิกลจริต

2) ชนิดเรื้อรัง พบทั้งอาการทางประสาท และอาการของระบบทางเดินอาหาร ระดับตะกั่วที่ถือว่าเป็นพิษที่มีค่าประมาณ 80 มก.ต่อเลือด 100 มล. อย่างไรก็ตาม แม้ระดับเลือดต่ำกว่านี้ก็อาจพบอาการทางประสาทได้เช่นกัน

### 2.3 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนมีหลายวิธี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ข้อจำกัดของแต่ละวิธี ความเป็นไปได้ทางเทคนิค วิธีการ ค่าใช้จ่าย และบุคลากร รวมทั้งความจำเป็นอีกทั้งความเหมาะสมอื่นๆ ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีหลักการโดยสังเขป ดังนี้



**2.3.1 การตกตะกอนทางเคมี** (chemical precipitation) เป็นการเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อให้ไอออนของโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำ เปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ เกิดเป็นตะกอนจมตัวลง แล้วจึงแยกออกจากน้ำด้วยวิธีตกตะกอนหรือการกรอง สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพอริกคลอไรด์ เพอริกซัลเฟต เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน ส่วนตะกอนหรือสลัดจ์ที่ได้จะมีส่วนประกอบของโลหะที่เป็นพิษต้องนำไปกำจัดต่อ

**2.3.2 การออสโมซิสย้อนกลับ** (reverse osmosis) เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรน ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน semipermeable membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงและต้องมีการบำบัดขั้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อน เพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ใช้ความดันสูงประมาณ 20-30 บาร์ ส่วนระบบบำบัดอีกระบบที่คล้ายกับระบบออสโมซิสย้อนกลับคือ ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) จะใช้เมมเบรนที่มีรูขนาดใหญ่กว่า จึงใช้แรงดันน้อยกว่า คือประมาณ 1-9 บาร์ เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับแยกโมเลกุลที่มีขนาดต่างกัน น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีความบริสุทธิ์น้อยกว่า น้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสย้อนกลับ จึงเหมาะกับการนำไปใช้เพื่อบำบัดขั้นต้น

**2.3.3 อิเล็กโตรไลซิส** (electrodialysis) เป็นขบวนการอาศัยเยื่อกรองเช่นเดียวกันแต่เป็นการแยกไอออนออกจากน้ำเสียโดยการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงรวมกับการใช้เมมเบรนเฉพาะเจาะจงสำหรับไอออนแต่ละชนิด (ion selective membrane) กลไกของวิธีนี้ เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน วิธีนี้มีต้นทุนในการก่อสร้างและการดำเนินงานที่สูง แต่มีข้อดีคือกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

**2.3.4 การทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน** (oxidation and reduction) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการให้และรับอิเล็กตรอนของอะตอม โดยการใช้สารออกซิแดนท์ (oxidant) และสารรีดิวซ์ซิง (reducing agent) ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ในน้ำเสียทำให้เปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารออกซิแดนท์มีหลายชนิด เช่น โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค้างทับทิม และคลอรีน ส่วนสารรีดิวซ์ซิง ได้แก่ ซัลเฟอร์เปอร์ออกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟด์ เมตาไบซัลไฟด์ ไฮโดรซัลไฟด์ และเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น

**2.3.5 การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)** เป็นการสับเปลี่ยนไอออนกลับป้อนกลับ (reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของตัวกลางของแข็งที่เรียกว่า สารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีโอไลต์ (zeolite) และเรซินแลกเปลี่ยนไอออน (resinuos ion exchange) ถ้าการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวก จะเรียกว่า แคทไอออน เอกเชนเจอร์ (cation exchanger) และถ้าเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ จะเรียกว่า แอนไอออน เอกเชนเจอร์ (anion exchanger) วิธีการนี้เหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย และให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย กล่าวคือถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่ต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

**2.3.6 การระเหย (evaporation)** เป็นการให้ความร้อนทำให้น้ำระเหยออกไป ทำให้น้ำเสียมีความเข้มข้นมากขึ้นหรือกลายเป็นตะกอน การระเหยมีทั้งกระทำที่บรรยากาศธรรมดา (atmospheric evaporation) และกระทำภายใต้สุญญากาศ (vacuum evaporation) วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักมาก เป็นวิธีง่ายต่อการควบคุม แต่ต้องลงทุนและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง

**2.3.7 การสกัดด้วยไฟฟ้า (electrolytic recovery)** เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่ง จะลดปริมาณไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลาย ให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทด และเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมใช้ เนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานสูงมาก และมีค่าการดำเนินงานสูง

**2.3.8 การดูดซับ (adsorption)** เป็นกระบวนการในการกำจัดมลทินของสารที่มีขนาดเล็กจนถึงระดับโมเลกุล โลหะหนักจะถูกจับไว้ในรูพรุนของสารดูดซับ (adsorbent) สารดูดซับที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นถ่านสังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด รูพรุนหรือโพรงจะมีขนาดตั้งแต่ 20 Å ถึง 20,000 Å กระบวนการนี้เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำการดูดซับโดยชีวมวล (biosorption) มาใช้ โดยจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในส่วนถัดไป

## 2.4 การดูดซับ (adsorption)

### 2.4.1 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับ(adsorption) เป็นปรากฏการณ์ในการที่โมเลกุลของไหลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของแข็ง โดยแรงดึงดูดที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของไหลนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่จับเกาะของโมเลกุลของไหลหรือคอลลอยด์เรียกว่าสารดูดซับ(adsorbent) ส่วน โมเลกุลของไหลหรือคอลลอยด์ที่มาเกาะจับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate)

### 2.4.2 พฤติกรรมการดูดซับ

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 แบบ ดังนี้

2.4.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดโดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงอ่อน ไม่ยึดติดแน่น อีกทั้งยังไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย ดังนั้นการกำจัดตัวถูกดูดซับจึงทำได้ง่าย และการดูดซับอาจเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (multilayer)

2.4.2.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เกิดเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นมาใหม่ โดยมีพันธะเคมีซึ่งแข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกผิวของตัวดูดซับทำได้ยาก และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)

2.4.2.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (exchange adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic) บริเวณผิวเมื่อตัวดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้ามกัน

2.4.2.4 การดูดซับแบบเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับแบบกายภาพและแบบเคมี

### 2.4.3 ขั้นตอนการดูดซับ อาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

2.4.3.1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าหาสารดูดซับ โดย การเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องจากการกวนน้ำจนทำให้เกิดการปั่นป่วน หรือเนื่องจากการกลไกการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบบราวเนียน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ

2.4.3.2 film diffusion เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้ามาถึงสารดูดซับ ซึ่งมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อต่างๆ โมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวของสารดูดซับได้

2.4.3.3 pore diffusion เนื่องจากสารดูดซับมีลักษณะของพื้นที่ผิวเป็นโพรงหรือช่องว่างภายในโมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่างภายในสารดูดซับ จึงจะมีการดูดซับเกิดขึ้น

2.4.3.4 โมเลกุลต้องเกาะติดบนผิวของสารดูดซับโดยไม่หลุด

### 2.4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การวิเคราะห์ระบบการดูดซับ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539) ระบบการดูดซับได้ ถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการอย่างง่ายแล้วนำสมการเขียนกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆได้ การวิเคราะห์ระบบดูดซับได้มีผู้วิเคราะห์ไว้อยู่ 3 กลุ่ม คือ

2.4.4.1 สมการของ Langmuir มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะติดเฉพาะผิวชั้นเดียวและโมเลกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว

$$q = \frac{q_{\max} bC_e}{1 + bC_e} \quad (1)$$

เมื่อ  $q$  = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวถูกละลาย, มก./ก.

$q_{\max}$  = ค่าการดูดซับสูงสุด, มก./ก.

$b$  = ค่าคงที่ของการดูดซับ, ลิตรของตัวถูกละลาย/มก.ของสารถูกดูดซับ

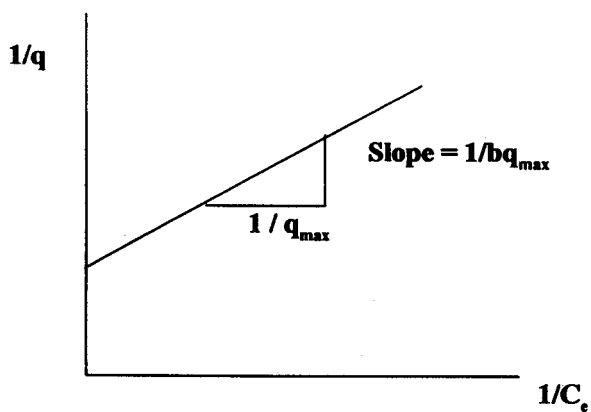
$C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับ, มก./ล.

เพื่อให้สามารถหาค่า  $q_{\max}$  และ  $b$  ได้ด้วยวิธีกราฟ จึงต้องจัดรูปแบบสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

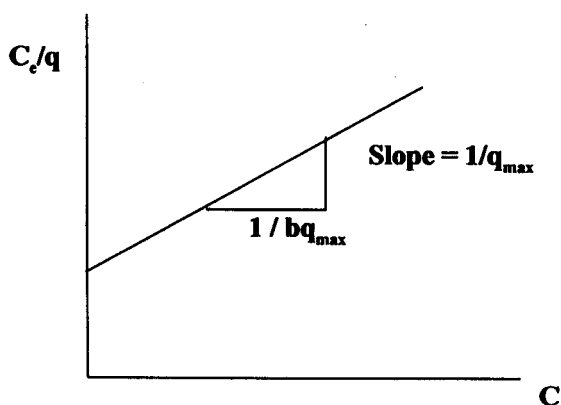
$$1/q = 1/q_{\max} + [1/bq_{\max}] * 1/C_e \quad (2)$$

$$C_e/q = 1/q_{\max} + 1/bq_{\max} \quad (3)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 2-1 กราฟสำหรับสมการ (2) ของ Langmuir



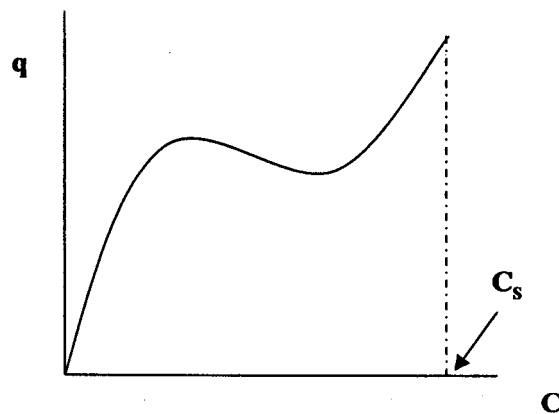
ภาพที่ 2-2 กราฟสำหรับสมการ (3) ของ Langmuir

2.4.4.2 สมการของ Brunauer – Emmett – Teller (BET) มีเงื่อนไขว่าโมเลกุลของสารดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว และการดูดซับมีระดับคงที่สำหรับทุกๆ โมเลกุล

$$q = \frac{q_m K_a C}{(C_s - C) [1 + (K_a - 1)(C/C_s)]} \quad (4)$$

เมื่อ  $C_s$  = ความเข้มข้นอิ่มตัวของสารดูดซับ ณ ทุกๆ ชั้น, มก./ล.

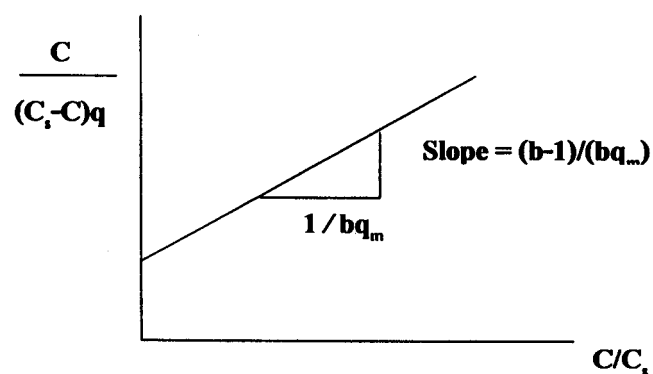
$K_a$  = ค่าคงที่ของการดูดซับ



ภาพที่ 2-3 กราฟหาค่า  $C_s$  สำหรับสมการ (4) ของ BET

เพื่อให้สามารถหาค่า  $K_a$  และ  $q_m$  ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟ จึงต้องจัดรูปให้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{C}{(C_s - C)q} = \frac{1}{K_a q_m} + \left[ \frac{K_a - 1}{K_a q_m} \right] \left[ \frac{C}{C_s} \right] \quad (5)$$



ภาพที่ 2-4 กราฟสำหรับสมการ (5) ของ BET

2.4.4.3 สมการของ Freundlich เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ใช้กับสารละลายที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

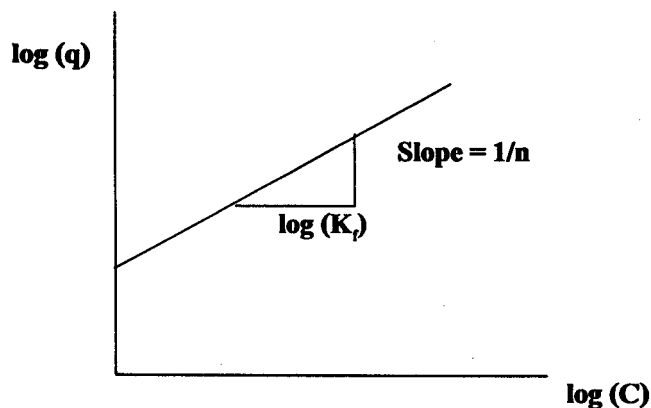
$$q = K_f C_e^{1/n}$$

เมื่อ  $K_f$  = ค่าคงที่

$n$  = ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถเขียนกราฟหาค่า  $K_f$  และ  $n$  ได้ด้วยวิธีการกราฟ จึงจำเป็นต้องใช้ Logarithm มาจัดรูปสมการใหม่ ให้เป็นสมการดังนี้

$$\log(q) = \log(K_f) + \frac{1}{n} \log(C) \quad (6)$$



ภาพที่ 2-5 กราฟสำหรับสมการ (6) ของ Freundlich

## 2.4.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (factors influencing adsorption)

### 2.4.5.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and surface area)

พื้นที่ผิวของสารดูดซับนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย ดังที่วรณี ตันกิตยานนท์ และคณะ (2540) ได้ศึกษาการดูดซับของสารดูดซับขนาด 1.397-1.981, 0.495-1.397 และ 0.240-0.495 มิลลิเมตร ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำมาทดสอบความสามารถในการดูดซับโครเมียม พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะสูงสุดของขนาดสารดูดซับที่มีขนาดเล็กดูดซับได้ดีที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ทำให้สารดูดซับสัมผัสกับโลหะหนักมากขึ้น ทำให้ดูดซับได้มากจากการทดลองของดวงดาว สัตยากุล และไพรัตน์ แก้วสาร (2549) ที่ใช้สารดูดซับจากต้นกกคั้นหุทำการดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า กกคั้นหุที่เป็นแบบปั่นละเอียดซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก จะมีประสิทธิภาพในการ

กำจัดโครเมียมได้ดีกว่าแบบตัดซึ่งมีพื้นที่ผิวน้อย และเมื่อทำการตรึงเซลล์จะดูดซับโลหะหนักได้มากกว่าก่อนตรึงเซลล์ (ธีรวิทย์ ทับทอง, 2541)

#### 2.4.5.2 ลักษณะของสารถูกดูดซับ (nature of adsorbate)

การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในกระบวนการดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวถูกละลาย จะถูกดึงออกจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ถ้าอัตราการดูดซับตัวถูกละลายด้วยอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย และขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

#### 2.4.5.3 พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนก็เป็นไอออนที่สามารถดูดซับได้ดี เมื่อ Zouboulis และคณะ (2004) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในสารละลายโดยใช้แบคทีเรียที่คัดแยกจากดินที่ปนเปื้อนโลหะ พบว่า เมื่อค่าพีเอชต่ำ จะทำให้ผิวหน้าของตัวดูดซับเปลี่ยนไปเป็นประจุบวก และเมื่อพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของตัวดูดซับเปลี่ยนไปเป็นประจุลบ ส่งผลให้มีการดูดซับโครเมียมซึ่งเป็นประจุลบและแคดเมียมซึ่งเป็นประจุบวกได้เพิ่มขึ้น และจากการพัฒนาวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่เพื่อกำจัดโครเมียม(III) พบว่าการละลายและการดูดซับโครเมียม (III) ของเปลือกไข่ทำให้พีเอช ของระบบสูงขึ้นจนโครเมียม (III) ตกตะกอนในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  ที่พีเอช 6.4 และ ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม (III) แปรผันตามพีเอชเริ่มต้นของสารละลาย (ศิริพร เผ่าพงษ์จันทร์, 2544) นอกจากนี้จากการทดลองของ Quek และคณะ (1998) ที่ใช้ขี้เถ้าในการดูดซับตะกั่วและการทดลอง Khalid และคณะ (1998) ที่ใช้เกล็ดในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุดที่พีเอช 3.5-4.5 และ 3.5-4 ตามลำดับ ในส่วนของ Conrad และคณะ (2004) ที่ได้ทำการทดลองโดยใช้ขี้เถ้าในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 2.5

#### 2.4.5.4 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อน นอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์และยังมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบชีวโมเลกุล เช่น การเกิด Denature โปรตีนเนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนสูญเสียคุณสมบัติ ซึ่งอาจทำให้



ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเปลี่ยนไป การศึกษาของนักวิจัยหลายท่านสามารถสรุปได้ว่า ผลของอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของเซลล์บางชนิดเท่านั้น

#### 2.4.5.5 ความปั่นป่วน (mixing speed)

อัตราการดูดซับของแข็งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขนส่งผ่านฟิล์ม (film transport) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้ film transport เป็นตัวควบคุมการดูดซับ ในทางตรงข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าสู่สารดูดซับเร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ จรรยาพร ไชยวิเศษ (2549) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วย เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 50 มก./ล. พิจารณาจากความเร็วรอบของเปลือกกล้วยดิบที่ความเร็วรอบ 100, 150 และ 200 รอบต่อนาที พบว่า ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่จะนำเปลือกกล้วยมากำจัดน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ในระบบมีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้ โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าสู่สารดูดซับได้เร็วขึ้น

#### 2.4.5.6 เวลาสัมผัส (contact time)

เวลาสัมผัสในกระบวนการดูดซับเป็นพารามิเตอร์สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ จรรยาพร ไชยวิเศษ (2549) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วย เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 50 มก./ล. ผลการศึกษาพบว่า ปฏิกริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 60 นาที จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในช่วงเวลาดังกล่าวมีแนวโน้มคงที่ นอกจากนี้ธีระวุฒิ บุญล้อม และ ไพรัตน์ แก้วสาร (2549) ใช้ใบหม่อนในการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 มก./ล. ผลการศึกษาพบว่าการดูดซับของใบหม่อนเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที ซึ่งการเข้าสู่สมดุลแสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสในการเกาะจับได้ถูกใช้หมดแล้ว

### 2.4.6 ประเภทของวัสดุดูดซับ อาจแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.4.6.1 ประเภทสารอนินทรีย์ (inorganic compounds) เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา (activated silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตร.ม./ก. มีข้อเสียคือ สามารถจับโมเลกุล หรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

2.4.6.2 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นสารดูดซับที่คิดกว่าสารอินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวประมาณ 600 – 1000 ตร.ม./ก. ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำไปทำการรีเจนเนอเรชันและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ การทำรีเจนเนอเรชันคาร์บอนต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากป็นกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

2.4.6.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว (synthetic exchange resins) สามารถดูดซับกับวัตถุอื่นที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ มีพื้นที่ผิวประมาณ 300 – 500 ตร.ม./ก. ซึ่งต่ำกว่าของถ่านกัมมันต์ (activated carbon) แต่มีข้อดีกว่าคือ สามารถฟื้นคืนอำนาจได้ง่าย (regenerate) ได้ง่าย และรีเจนเนอเรชันมักเป็นสารราคาถูกเช่น เกลือแกง

## 2.5 ตะแบก

### 2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ตะแบกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *L. floribunda* Jack อยู่ในวงศ์ LYTHRACEAE ตะแบกเป็นพรรณไม้ยืนต้นขนาดกลางและใหญ่ลำต้นสูงประมาณ 10-25 เมตร โคนต้นเป็นพูเป็นเหลี่ยม ผิวเปลือกมีสีเทาปนน้ำตาลอ่อนผิวเปลือกค่อนข้างเรียบ มีรอยขรุขระเป็นหลุมตื้นๆ เกิดสะเก็ดเป็นแผ่นบางๆ มีเปลือกใบเป็นใบเดี่ยวออกตามกิ่งก้านปลายยอด ลักษณะใบมนขอบขนาน เนื้อใบหนา ผิวเกลี้ยงเรียบเป็นมัน ขนาดใบกว้างประมาณ 8-10 ซม. ยาวประมาณ 10-14 ซม. ออกดอกเป็นช่อขาว ลักษณะดอกมีกลีบรอบดอกเป็นรูปถ้วยเชื่อมติดกับดอก มีกลีบดอกประมาณ 5-7 กลีบ ริมขอบกลีบจะย่นบาง ดอกมีสีม่วงอ่อน ขนาดผลยาวประมาณ 2-3 ซม. ผลเมื่อแก่จะแตกเป็นสี่ซีก 6 เสี้ยวภายในผลมีเมล็ดเล็กๆ พบตามป่าเบญจพรรณและป่าโปร่งทั่วไป ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด การนำไปใช้ประโยชน์เนื้อไม้ใช้ทำเครื่องเรือนและปลูกเป็นไม้ประดับให้ร่มเงา



**ภาพที่ 2-6** ลักษณะส่วนต่างๆ ของตะแบก

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีหลายวิธี แต่กระบวนการดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) นั้น เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยๆ อีกทั้งยังสามารถใช้สารดูดซับทั่วไปได้ ดังนั้นผลตะแบกที่เหลือทิ้งตามธรรมชาติและหาได้ง่าย จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ โดยนำมาใช้เป็นสารดูดซับโลหะหนักตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะที่พบมากในอุตสาหกรรมต่างๆ และมีความเป็นพิษสูง

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experiment research) การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก โดยทดลองหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองแบบแบทช์ (batch experiment)

#### 3.1 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี (ตึก EN2) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น Analyst 200 ยี่ห้อ Perkin elmer
- 3.2.2 เครื่องเขย่า (shaker machine) รุ่น VS-8480SF บริษัท วิชั่นไซแอนติฟิก จำกัด
- 3.2.3 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น PP25 ยี่ห้อ Sartorius
- 3.2.4 เครื่องชั่งสารน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น LC 6201S ยี่ห้อ Sartorius
- 3.2.5 กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
- 3.2.6 เครื่องแก้วสำหรับห้องปฏิบัติการ
- 3.2.7 ตู้อบความร้อน รุ่น (hot air oven) รุ่น 1375 FX ยี่ห้อ Shel lab
- 3.2.8 เครื่องปั่น รุ่น BE 122G ยี่ห้อ OTTO

#### 3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 ตะกั่วไนเตรท ( $Pb(NO_3)_2$ )
- 3.3.2 กรดไนตริก ( $HNO_3$ )
- 3.3.3 กรดไฮโดรคลอริก ( $HCl$ )
- 3.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ )
- 3.3.5 สารละลายตะกั่วมาตรฐาน

### 3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

#### 3.4.1 การเก็บข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง ถ้าข้อมูลไม่ใกล้เคียงกัน จึงทำการเก็บครั้งที่ 3 แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย โดยทำ Blank เหมือนที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างทุกครั้งที่มีการทดลอง

#### 3.4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์สำหรับตะกั่ว เตรียมได้จากนำตะกั่วไนเตรท( $Pb(NO_3)_2$ ) ผสมกับน้ำที่ปราศจากไอออน โดยขั้นแรกเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1000 มก./ล. (1 มล. = 1 มก.ตะกั่ว) โดยละลายตะกั่วไนเตรท ( $Pb(NO_3)_2$ ) 1.5999 กรัม ในกรดไนตริก ( $HNO_3$ , Sp.Gr. 1.42) 10 มล. เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ได้สารจากนั้น ค่อยนำสารละลายมาตรฐานมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ

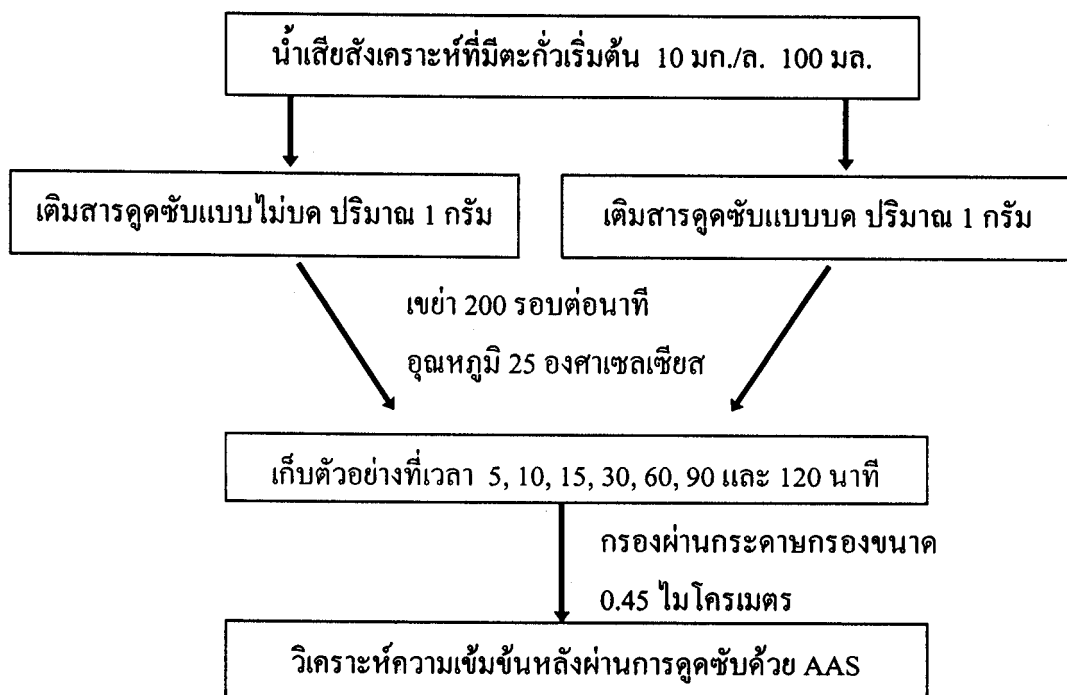
#### 3.4.3 การเตรียมสารดูดซับ

ในการทดลองนี้ใช้ผลตะแบกเป็นสารดูดซับ นำผลตะแบกไปล้างน้ำให้สะอาดแล้วทำให้แห้งโดยนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือ สารดูดซับแบบที่ไม่มีการบดและสารดูดซับแบบที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดฟิช แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 x 20 mesh เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

#### 3.4.4 การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการทดลองแบบแบทช์ (batch experiment)

##### 3.4.4.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว มีขั้นตอนดังนี้

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. จากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ปิเปิดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 100 มล. เติมสารดูดซับแบบที่ไม่ผ่านการบดและแบบที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดฟิช แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 x 20 mesh ปริมาณ 1 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง AAS เลือกระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของผลตะแบกที่ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีที่สุด ณ สมดุล มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



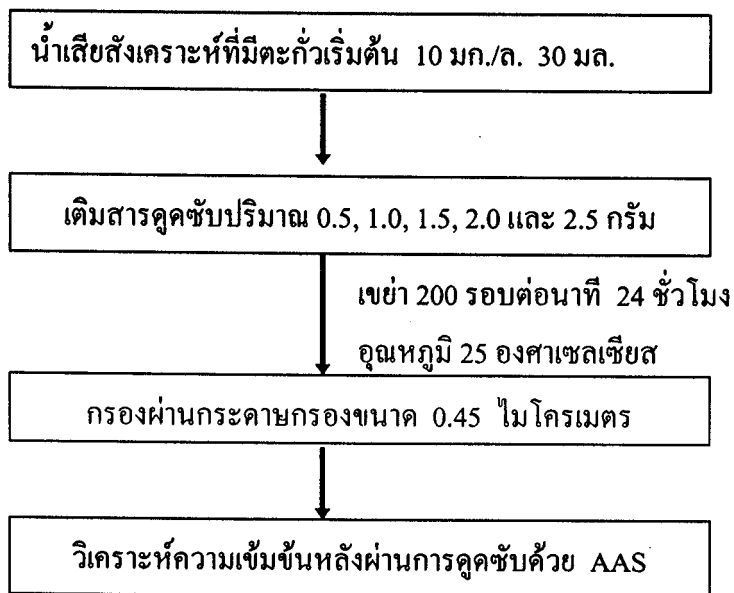
**ภาพที่ 3-1** ขั้นตอนการหาระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว

#### 3.4.4.2 ผลของปริมาณที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว มีขั้นตอนดังนี้

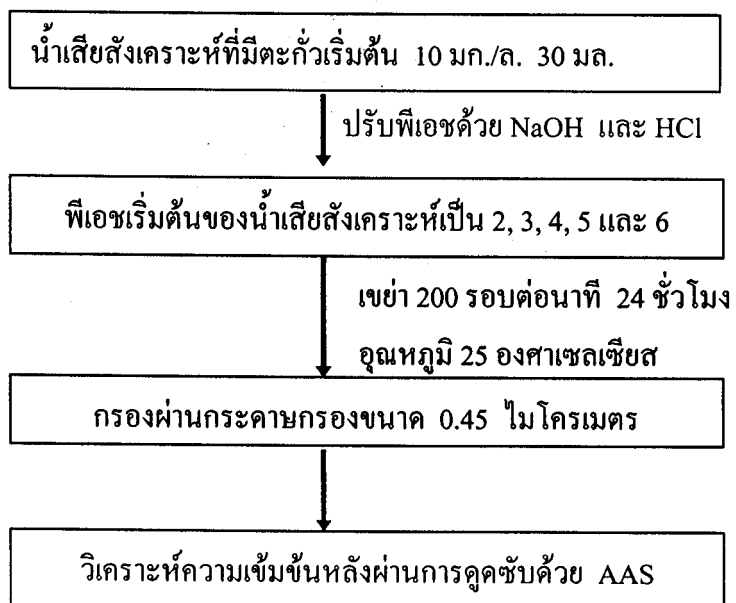
เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. จากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. เติมผลตะแบกจำนวน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยเครื่อง AAS เลือกปริมาณที่ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีที่สุด ณ สมดุลมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

#### 3.4.4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว มีขั้นตอนดังนี้

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. จากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ปิเปิดน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. ปรับพีเอชเริ่มต้นของสารละลายให้ได้ 2, 3, 4, 5 และ 6 เติมผลตะแบก (ตามแบบและปริมาณที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.4.1 และ 3.4.4.2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยเครื่อง AAS เลือกค่าพีเอชที่ให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีที่สุด ณ สมดุลมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป



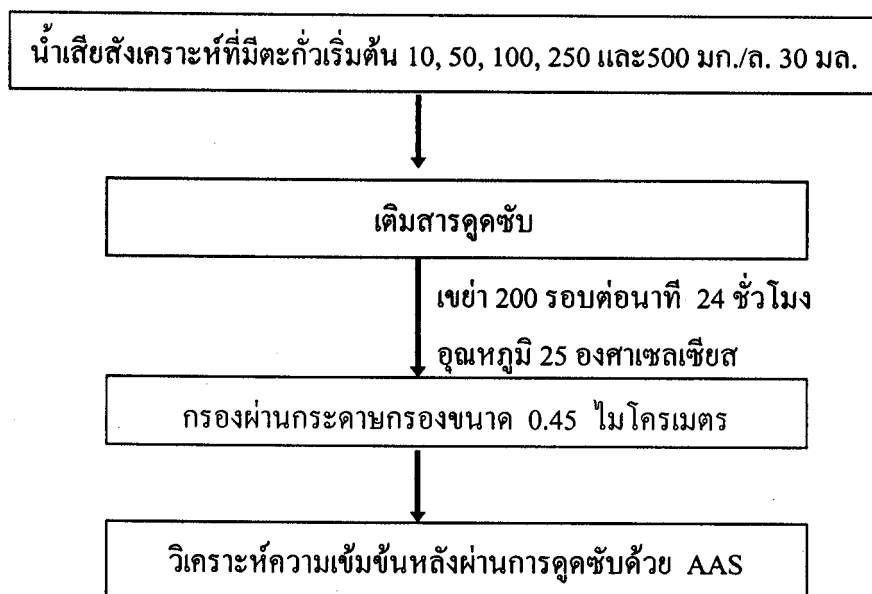
ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการหาปริมาณที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการหาพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว

#### 3.4.4.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว มีขั้นตอนดังนี้

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10, 50, 100, 250 และ 500 มก./ล จากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ปิเปตน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 30 มล. ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายตามที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.4.3 เติมผลตะแบก (ตามแบบและปริมาณที่ได้จากการทดลองที่ 3.4.4.1 และ 3.4.4.2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยเครื่อง AAS นำค่าที่ได้ไปหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ



**ภาพที่ 3-4** ขั้นตอนการหาความเข้มข้นที่มีผลต่อการกำจัดตะกั่ว

การหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก ในการทดลองแบบแบทช์ (batch experiment) ทำให้ทราบผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ปริมาณของสารดูดซับ พีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว และไอโซเทอร์มของการดูดซับ ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในส่วนต่อไป



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

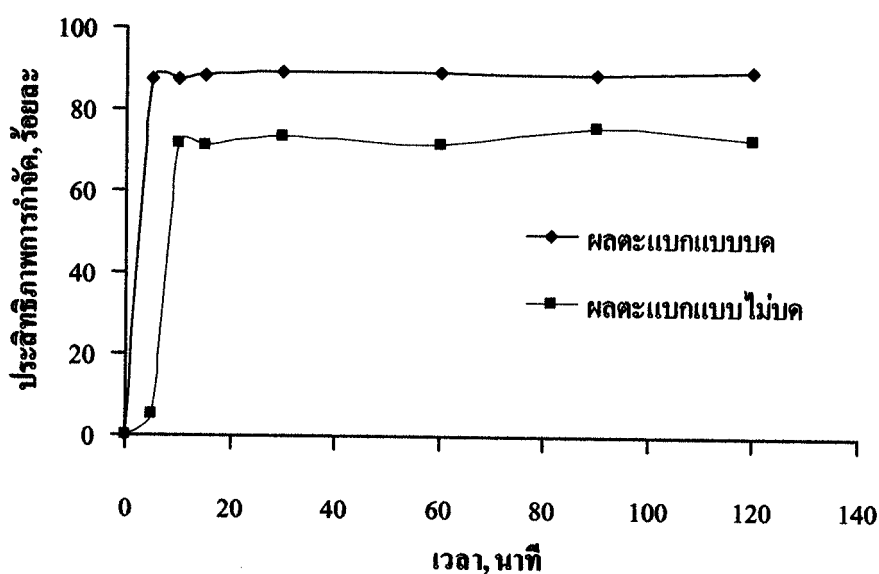
จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองแบบแบทช์ (batch experiment) โดยศึกษาผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว พืชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว และไอโซเทอร์มของการดูดซับสามารถแสดงผลได้ดังนี้

#### 4.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากการทดลองหาผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ที่มีต่อการกำจัดตะกั่วแสดงดังตารางที่ 4-1 เป็นผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. ของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับระยะเวลาสัมผัสต่างๆ พบว่า สามารถแบ่งช่วงเวลาของปฏิกิริยาออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก ตั้งแต่เวลา 5-15 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงแรกของการดูดซับ พื้นที่ในการดูดซับยังมีอยู่มาก จากนั้นในช่วง 15-30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ดูดซับเริ่มลดลงไปมากแล้วจึงทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ส่วนช่วงสุดท้าย คือ ตั้งแต่เวลา 30-120 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยเริ่มเข้าสู่ จุดสมดุลที่เวลา 30 นาที และจากภาพที่ 4-1 จะเห็นได้ว่า สารดูดซับแบบบดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าสารดูดซับแบบไม้บด แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี

ตารางที่ 4-1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ระยะเวลาสัมผัส (นาทึ)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของ ตะกั่ว (มก./ก.)		ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่ว (ร้อยละ)	
		แบบบด	แบบไม่บด	แบบบด	แบบไม่บด
5	10	1.259	9.478	87.41	5.22
10	10	1.235	2.813	87.65	71.87
15	10	1.155	2.851	88.45	71.49
30	10	1.069	2.658	89.31	73.42
60	10	1.085	2.837	89.15	71.63
90	10	1.110	2.391	88.90	76.09
120	10	1.026	2.697	89.74	73.03



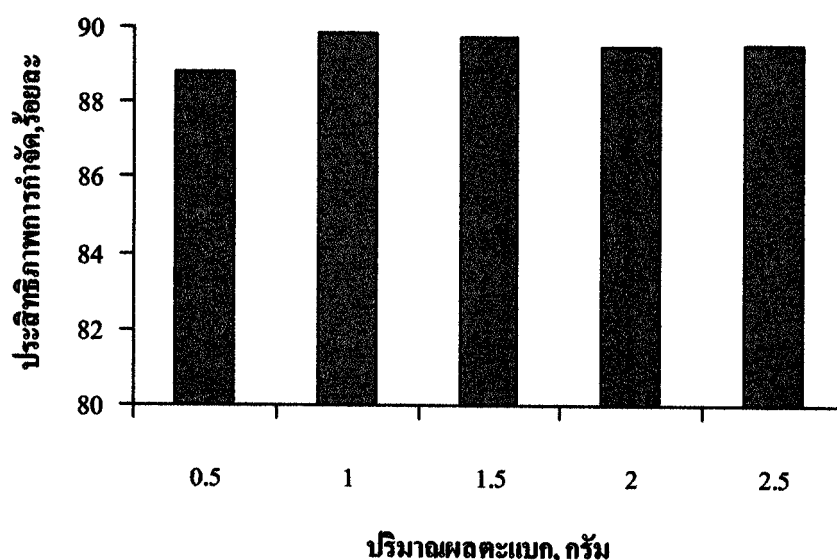
ภาพที่ 4-1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

## 4.2 ผลของปริมาณของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากการทดลองหาผลของปริมาณสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ปริมาณสารดูดซับเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ณ สถานะสมดุล เท่ากับร้อยละ 98.82, 99.83, 99.77, 99.51 และ 99.57 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-2 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับปริมาณของสารดูดซับแบบบด พบว่า ในช่วงแรก ปริมาณของผลตะแบกปริมาณ 0.5-1.0 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนช่วงที่สอง ที่ปริมาณตั้งแต่ 1.0-2.5 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วค่อนข้างคงที่ ทั้งที่มีการเพิ่มปริมาณสารดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มสารดูดซับถึงระดับหนึ่งจะส่งผลทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการชะละลาย (leaching) ของสารที่มีคุณสมบัติเป็นเบสบางชนิดในผลตะแบก ซึ่งผลจากปฏิกิริยาดังกล่าว มีส่วนขัดขวางหรือเป็นตัวยับยั้ง (inhibitor) การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วลดลง แสดงว่าปริมาณของผลตะแบกถูกจำกัดไว้ที่ 1 กรัม สำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล.

ตารางที่ 4-2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของ ตะกั่ว (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือ ของตะกั่ว (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว (ร้อยละ)
0.5	10	1.118	88.82
1.0	10	1.017	89.83
1.5	10	1.023	89.77
2.0	10	1.049	89.51
2.5	10	1.043	89.57



ภาพที่ 4-2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ ณ เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

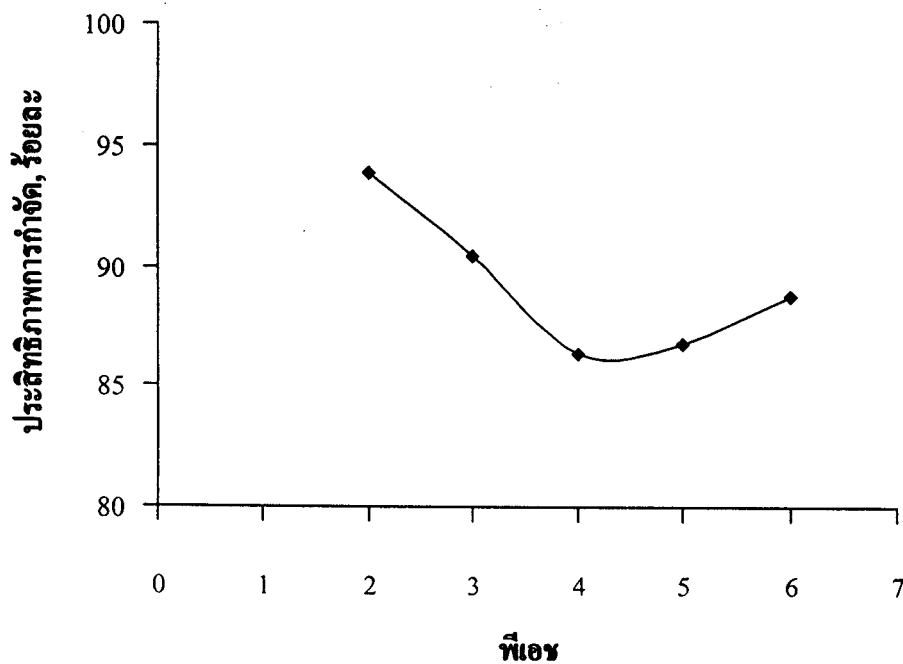
#### 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากการทดลองหาผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอช 2, 3, 4, 5 และ 6 ณ สภาวะสมดุล เท่ากับร้อยละ 93.90, 90.49, 86.36, 86.78 และ 88.78 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-3 และเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4-3 ที่แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอชต่างๆ พบว่า ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 2-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับจะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของสารดูดซับเปลี่ยนเป็นประจุบวก ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกลดลง โดยที่ พีเอช 2 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด เนื่องจากที่พีเอช 2 มีการแตกตัวของไฮโดรเนียมไอออนที่พื้นผิวของตัวดูดซับน้อยที่สุด ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้มาก ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Conrad และคณะ (2004) ที่ทำการทดลองโดยใช้โซมะพร้าวในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 2.5 แต่ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว กลับเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของสารดูดซับเป็นประจุลบ ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกเพิ่มขึ้น และที่พีเอชเท่ากับ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะต่ำที่สุด เนื่องจากมีการแตกตัวของไฮโดรเนียมไอออนที่พื้นผิวของตัวดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Quek

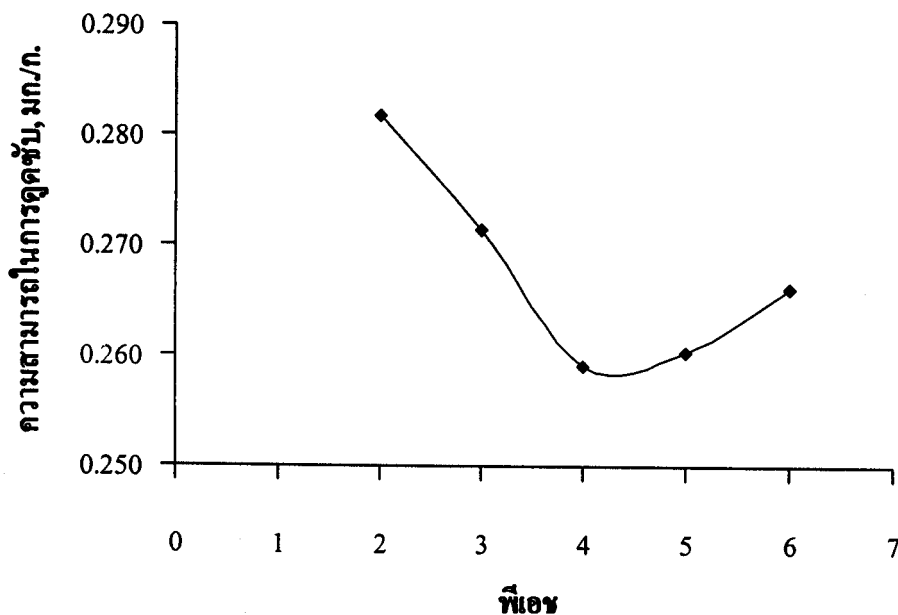
และคณะ (1998) ที่ใช้ไขมันพร้าวในการดูดซับตะกั่วและการทดลองของ Khalid และคณะ (1998) ที่ใช้เกลือในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 3.5-4.5 และ 3.5-4 ตามลำดับ และเมื่อเขียนกราฟแสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ ดังภาพที่ 4-4 พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับ ดังนั้นจึงเลือกค่าพีเอช 2 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ดีที่สุด ณ สมดุล ไปใช้ในการทดลองต่อไป

**ตารางที่ 4-3** ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือ ของตะกั่ว (มก./ก.)	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว (ร้อยละ)
2	10	0.610	93.90
3	10	0.951	90.49
4	10	1.364	86.36
5	10	1.322	86.78
6	10	1.122	88.78



**ภาพที่ 4-3** แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ



ภาพที่ 4-4 แสดงความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ

#### 4.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากการทดลองหาผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่วที่พีเอช 2 ณ สภาวะสมดุล พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว เท่ากับ 10, 50, 100, 250 และ 500 มก./ล. หลังผ่านการดูดซับแล้วจะเหลือความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 0.767, 5.324, 9.278, 31.549 และ 101.900 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4-4 และเมื่อนำค่าที่ได้มาหาไอโซเทอรั่มการดูดซับของตะกั่ว พบว่า ไอโซเทอรั่มการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 2 สอดคล้องกับสมการของ Langmuir และ Freundlich ( $R^2 > 0.9$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4-6 และภาพที่ 4-7 โดยให้ค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุด เท่ากับ 18.761 มก./ก. ตามสมการของ Langmuir และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ของ Freundlich เท่ากับ 0.787 พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงได้ว่า สารดูดซับเป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4-5

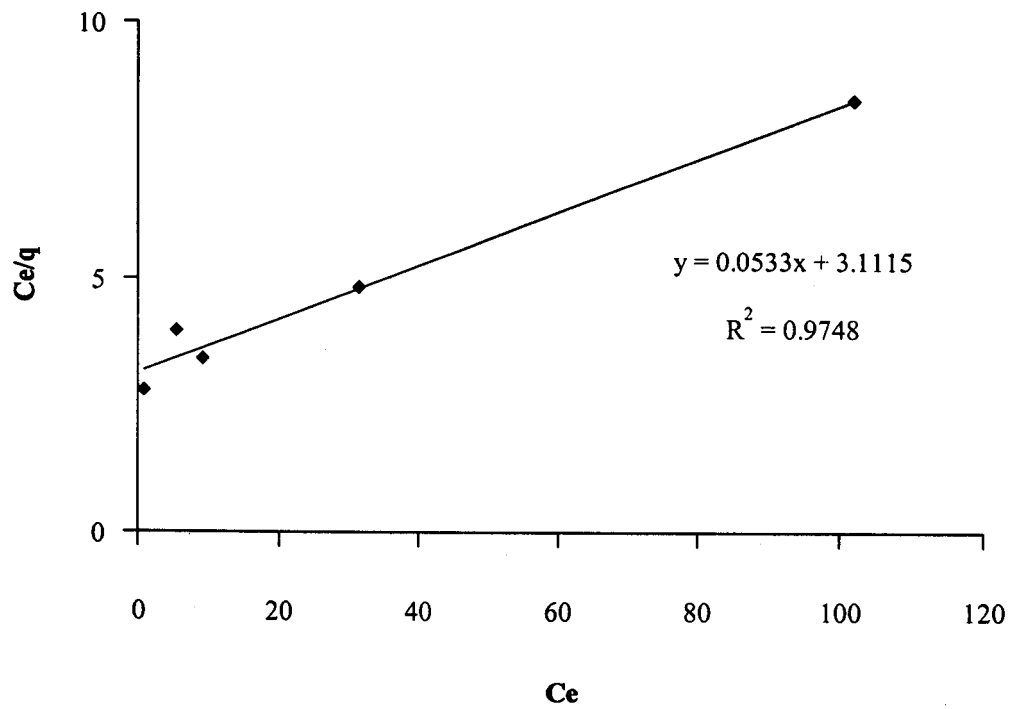
**ตารางที่ 4-4** ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอช 2

พีเอช	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือ ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความสามารถดูดซับตะกั่ว (มก./ก.)
2	10	0.767	0.277
	50	5.324	1.340
	100	9.278	2.722
	250	31.549	6.554
	500	101.900	11.943

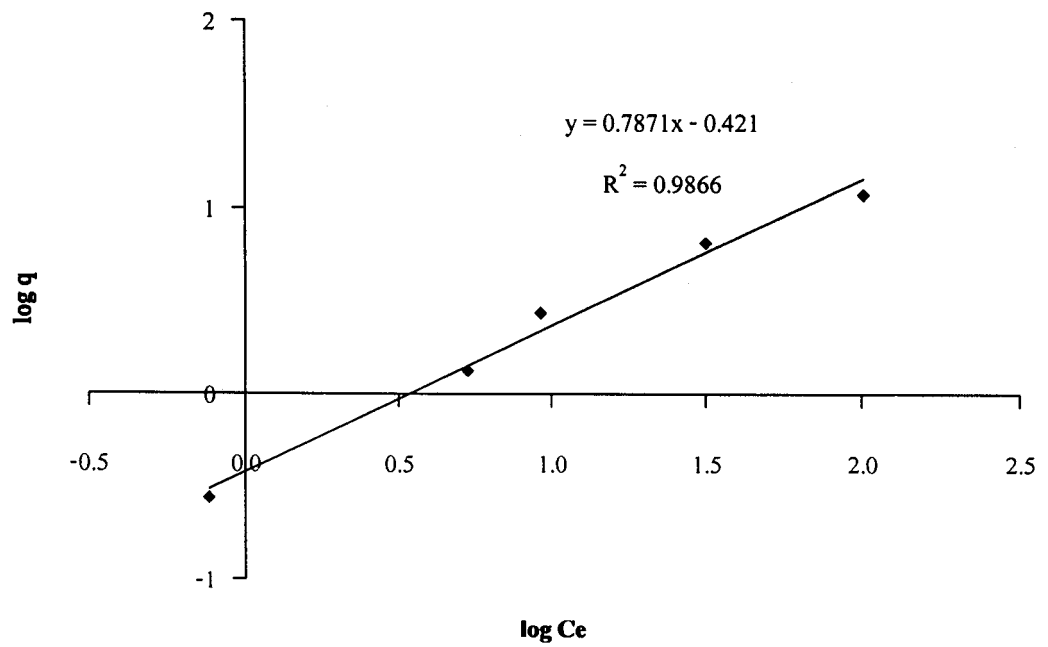
**ตารางที่ 4-5** ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ที่พีเอช 2

พีเอช	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Langmuir	ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบ Freundlich
2	$q = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e}$	$q = K_f C_e^{1/n}$
	$q_{\max} = 18.761 \text{ มก./ก.}$	$K_f = 0.379 \text{ มก./ก.}$
	$b = 0.017 \text{ ล./มก.}$	$1/n = 0.787$
	$R^2 = 0.9748$	$R^2 = 0.9866$

- เมื่อ
- $q$  = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวถูกดูดซับ, มก./ก.
  - $q_{\max}$  = ค่าการดูดซับสูงสุด, มก./ก.
  - $b$  = ค่าคงที่ของการดูดซับ, ล./มก.
  - $C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายหลังการดูดซับ, มก./ล.
  - $K_f$  = ค่าคงที่, มก./ก.
  - $n$  = ค่าคงที่



ภาพที่ 4-5 แสดงไอโซเทอรัมของ Langmuir ที่พีเอช 2



ภาพที่ 4-6 แสดงไอโซเทอรัมของ Freundlich ที่พีเอช 2



**ตารางที่ 4-6** ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับต่างๆ

สารดูดซับ	ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มก./ก.)	พีเอช	ที่มา
ฟางข้าวบาร์เลย์	15.20	5.5	Larsen and Schierup (1981)
แกลบ	4.00	6.0	Khalid et al. (1998)
โยมะพร้าว	48.84	4.5	Quek et al. (1998)
เปลือกสน	1.78	4.0	Cimino et al. (2000)
ลำต้นไธ้	0.75	5.2	Prasad and Freitas (2000)
กากมะกอก	9.62	5.5	Fiol et al. (2006)
ลำต้นองุ่น	49.93	5.5	Mart'inez et al. (2006)
เศษแครอท	28.98	5.0	พรนภา (2007)
ใบหม่อน	33.55	2.0	ธีระวุฒิ (2007)
ผลตะแบก	18.76	2.0	การศึกษานี้

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ความสามารถในการดูดซับของลำต้นองุ่นมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ โยมะพร้าว ใบหม่อน และเศษแครอท ตามลำดับ ส่วนลำต้นไธ้มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อสารดูดซับต่างกัน ความสามารถในการดูดซับก็แตกต่างกัน ส่วนหนึ่งเนื่องจากองค์ประกอบที่ต่างกัน เช่น องค์ประกอบพวก โพลีแซคคาไรด์ หมูอะมิโน หมูคาร์บอกซิล หมูซัลเฟต และหมูฟอสเฟต อีกทั้งผนังเซลล์ของ สารดูดซับชนิดต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไคติน กรดอะมิโน กรดเกลือ และองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีหมูฟังก์ชัน (functional group) หลายชนิด ที่สามารถจับกับโลหะหนักได้ ทำให้เกิดการดูดซับบนพื้นผิว โดยหมูฟังก์ชันที่ต่างชนิดกันจะมีความจำเพาะในการจับกับโลหะชนิดต่างๆ ได้แตกต่างกันด้วย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองแบบแบทช์ (batch experiment) โดยศึกษาผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว พีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว และไอโซเทอร์มของการดูดซับ สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากผลการทดลองหาผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. ของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ พบว่า ปฏิกริยาเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 30 นาที และจะเห็นได้ว่าสารดูดซับแบบบดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าสารดูดซับแบบไม่บด แสดงว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี

##### 5.1.2 ผลของปริมาณของสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากผลจากการทดลองหาปริมาณสารดูดซับที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว พบว่า ในช่วงแรก ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วค่อนข้างคงที่ ที่ปริมาณของสารดูดซับ 1 กรัมเป็นต้นไป ดังนั้น สารดูดซับ 1 กรัม จึงเหมาะสำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล.

##### 5.1.3 ผลของพีเอชที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว พบว่า ที่ช่วงพีเอช ตั้งแต่ 2-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับจะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น แต่ที่ช่วงพีเอช ตั้งแต่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกลับเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น โดยที่พีเอชเท่ากับ 2 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุดเท่ากับร้อยละ 93.90 และที่พีเอชเท่ากับ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 86.36 ดังนั้น พีเอช 2 จึงเหมาะสำหรับการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่สุด

#### 5.1.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดตะกั่ว

จากการหาไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกั่วในช่วงความเข้มข้น 10, 50, 100, 250 และ 500 มก./ล พบว่า ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วที่พีเอช 2 สอดคล้องกับสมการของ Langmuir และ Freundlich ( $R^2 > 0.9$ ) โดยให้ค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุดเท่ากับ 18.761 มก./ก. ตามสมการของ Langmuir และ เมื่อพิจารณาค่าคงที่ของ Freundlich เท่ากับ 0.7516 พบว่าค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงได้ว่า สารดูดซับเป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นๆ เช่น โครเมียม, นิกเกิล, สังกะสี และแคดเมียม เป็นต้น โดยใช้ผลตะแบกเป็นสารดูดซับ

5.2.2 ควรศึกษาผลของการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับ เมื่อมีการปรับสภาพทางเคมี

5.2.3 ควรศึกษาผลของการกำจัดตะกั่ว โดยใช้ผลตะแบกเป็นสารดูดซับกับน้ำเสียจริง

เอกสารอ้างอิง

## เอกสารอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร, 2539.
- จรรยาพร ไชยวิเศษ. การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.
- ดวงดาว สัตยากุล และไพรัตน์ แก้วสาร. “การดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ชีวมวล ที่เตรียมจากต้นกกคุ้มหู”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, 26-27 ตุลาคม 2549, โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ : กรุงเทพมหานคร, 2549.
- ศิริพร เผ่าพงษ์จันทร์. การพัฒนาวัสดุดูดซับจากเปลือกไข่เพื่อกำจัดโครเมียม (III). วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- วรรณิ์ ดันกิตยานนท์ และคณะ. “การดูดซับโลหะหนักบนกากชีวมวลเหลือทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรม”, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 23-25 ตุลาคม 2540, ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540.
- ธีระวิทย์ ทับทอง. การดูดซับไอออนโลหะหนักในน้ำเสียด้วยวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ถูกตรึงเป็นเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
- ธีระวุฒิ บุญล้อม และ ไพรัตน์ แก้วสาร. “การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดย ไบโหม่อน”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, 26-27 ตุลาคม 2549, โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ : กรุงเทพมหานคร, 2549.
- พรนภา แก้วประดิษฐ์ และคณะ. “การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เศษแครอท”, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 6, 7-9 มีนาคม 2550, โรงแรมอมรินทร์ ลาภาน : พิษณุโลก, 2550.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Akar T. and Tunali S. "Biosorption performance of *Botrytis cinerea* fungal by-products for removal of Cd(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions", Miner. Eng. 18: 1099–1109; 2005.
- Cimino, G., Passerini, A. and Toscano, G. "Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell", Water Res. 34(11): 2955–2962; 2000.
- Conrad, K., Christian, H. and Hansen, B. "Sorption of zinc and lead on coir," Bio.Technol.; 2006.
- Esposito, A. and other. "Cadmium and copper biosorption on *Sphaerotilus natans*: influence of pH and biomass concentration on the biosorption modeling", Hydrometallurgy. 60: 129–141; 2001.
- Fiol, N., Villaescusa, I. and Mart'inez, M. "Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste", Separation and Purification Technology. 50: 132–140; 2006.
- Khalid, N. and other. "Removal of lead from aqueous solutions using rice husk", Sep. Sci. Technol. 33(15): 2349–2362; 1998 .
- Kojima, H. and Lee, K.Y. Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology. Hong Kong: Springer-Verlag Hong Kong Ltd., 2001.
- Larsen, V.J. and Schierup, H.H. "The use of straw for removal of heavy metals from wastewater", J. Environ. Qual. 10(2): 188–193; 1981.
- Mart'inez, M. and other. "Removal of lead(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using grape stalk waste", Journal of Hazardous Materials. B133: 203–211; 2006.
- Prasad, M.N.V. and Freitas, H. "Removal of toxic metals from solution by leaf, stem and root phytomass of *Quercus ilex* L. (holly oak)", Environ. Pollut. 110(2): 277–283; 2000.
- Quek, S.Y. and other. "Coir as a biosorbent of copper and lead", Process Safety Environ. Prot. 76 (B1): 50–54; 1998 .
- Volesky, B. Biosorption for metals recovery. Trends in Biotechnol. 5: 96-101; 1987.
- Volesky, B. Biosorption of Heavy Metals. Boca Raton, USA: CRC Press, 1990.

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Yu, Q., Matheickal, J.T. and Latten, J. "Heavy Metal adsorption properties of marine alga *E. radiata*, *D. potatorum* and *L. japonica*", Chinese J. Chem. 6: 68-72; 1998.

Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X. and Matis, K.A. "Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metalpolluted soils", Process Biochemistry. 39: 909-916; 2004.

## ภาคผนวก



**ภาคผนวก ก**  
**ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดลอง**

**ภาคผนวก ก**  
**ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดลอง**

**ตารางที่ ก-1** ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับแบบบด ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ระยะเวลา สัมผัส (นาที่)	ความเข้มข้น เริ่มต้นของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว(ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
5	10	1.321	1.197	1.259	87.41
10	10	1.249	1.221	1.235	87.65
15	10	1.169	1.141	1.155	88.45
30	10	1.072	1.066	1.069	89.31
60	10	1.101	1.069	1.085	89.15
90	10	1.123	1.097	1.110	88.90
120	10	1.017	1.035	1.026	89.74

**ตารางที่ ก-2** ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับแบบไม่บด ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

ระยะเวลา สัมผัส (นาที่)	ความเข้มข้น เริ่มต้นของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
5	10	9.523	9.433	9.478	5.22
10	10	2.825	2.801	2.813	71.87
15	10	2.864	2.838	2.851	71.49
30	10	2.684	2.632	2.658	73.42
60	10	2.842	2.832	2.837	71.63
90	10	2.394	2.388	2.391	76.09
120	10	2.725	2.669	2.697	73.03

**ตารางที่ ก-3** ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ก.)			ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
0.5	10	1.128	1.108	1.118	88.82
1.0	10	1.021	1.013	1.017	89.83
1.5	10	1.031	1.015	1.023	89.77
2.0	10	1.063	1.035	1.049	89.51
2.5	10	1.055	1.031	1.043	89.57

**ตารางที่ ก-4** ผลการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ

พีเอช	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ก.)			ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
2	10	0.637	0.583	0.610	93.90
3	10	0.963	0.939	0.951	90.49
4	10	1.433	1.295	1.364	86.36
5	10	1.342	1.302	1.322	86.78
6	10	1.132	1.112	1.122	88.78

**ตารางที่ ก-5** ผลของความสามารถในการดูดซับตะกั่วของสารดูดซับที่ความเข้มข้นต่างๆ

พีเอช	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ก.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ก.)			ความสามารถดูดซับ ตะกั่ว (มก./ก.)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
2	10	0.814	0.720	0.767	0.277
	50	5.336	5.312	5.324	1.340
	100	9.304	9.252	9.278	2.722
	250	31.581	31.517	31.549	6.554
	500	102.010	101.790	101.900	11.943

**ตารางที่ ก-6** ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบ Langmuir ที่พีเอช 2

$m_i$ (g)	V (L)	$C_i$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$q = [(C_i - C_e) \times V] / m_i$	$C_e / q$
1.000	0.030	10.000	0.767	0.277	2.769
1.000	0.030	50.000	5.324	1.340	3.972
1.000	0.030	100.000	9.278	2.722	3.409
1.000	0.030	250.000	31.549	6.554	4.814
1.000	0.030	500.000	101.900	11.943	8.532

$$q_{\max} = 18.761 \text{ mg/g}$$

$$b = 0.017 \text{ l/mg}$$

ตารางที่ ก-7 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอรั่มการดูดซับแบบ Freundlich ที่พีเอช 2

$m_i$ (g)	V (L)	Ci (mg/L)	Ce (mg/L)	$q = [(C_i - C_e) \times V]/m_i$	log q	log Ce
1.000	0.030	10.000	0.767	0.277	-0.558	-0.115
1.000	0.030	50.000	5.324	1.340	0.127	0.726
1.000	0.030	100.000	9.278	2.722	0.435	0.967
1.000	0.030	250.000	31.549	6.554	0.816	1.499
1.000	0.030	500.000	101.900	11.943	1.077	2.008

$$K_f = 0.3793 \text{ mg/g}$$

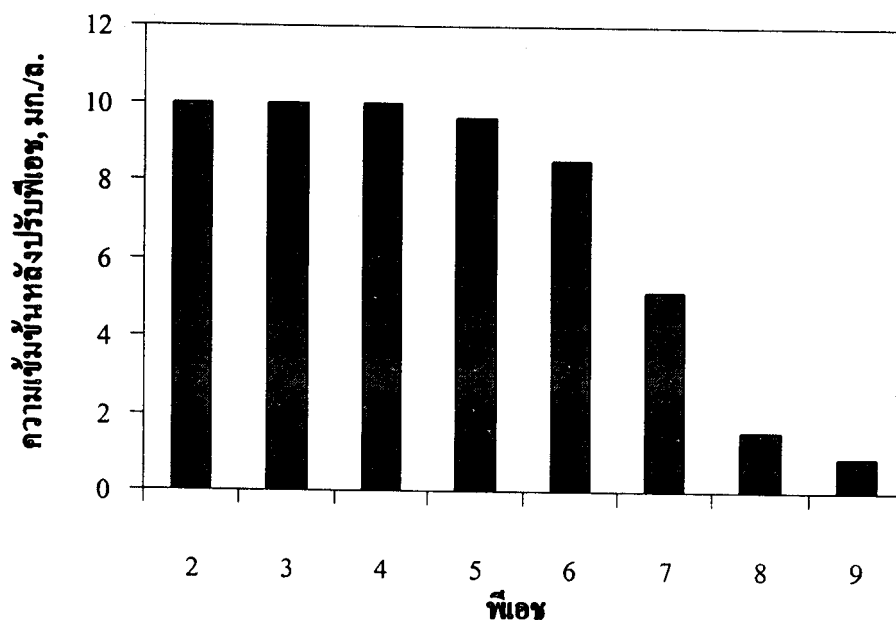
$$1/n = 0.7871$$

**ภาคผนวก ข**  
**ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ**

**ภาคผนวก ข**  
**ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ**

**ตารางที่ ข-1** ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ ในการปรับพีเอช (ไม่มีตัวดูดซับ)

ค่าพีเอช	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียเริ่มต้น (มก./ด.)	ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียหลังปรับ ค่าพีเอช (มก./ด.)
2	10.00	10.00
3	10.00	10.00
4	10.00	10.00
5	10.00	9.61
6	10.00	8.50
7	10.00	5.15
8	10.00	1.57
9	10.00	0.89

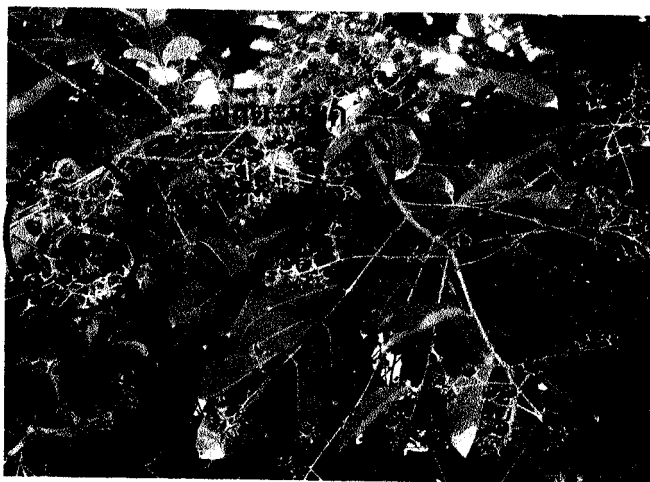


**ภาพที่ ข-1** แสดงความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆ ในการปรับพีเอช (ไม่มีตัวดูดซับ)

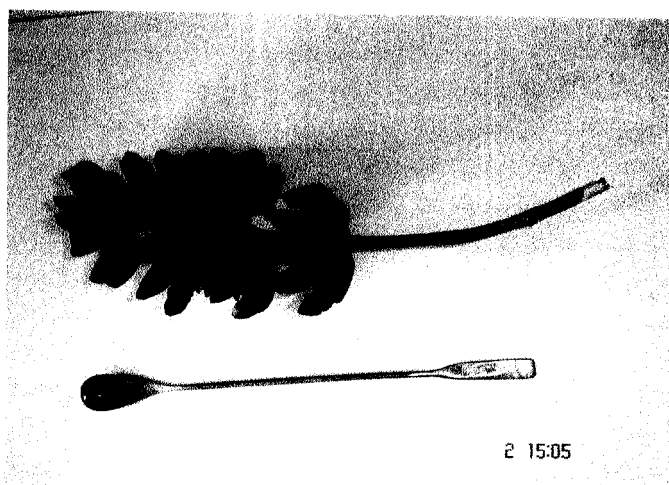
**ภาคผนวก ก**  
**ภาพการทดลอง**



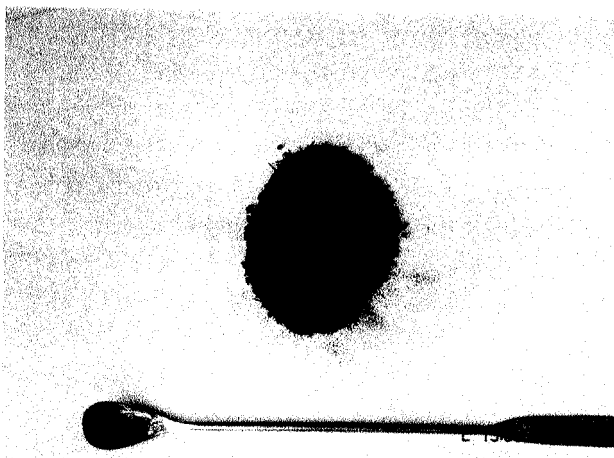
ภาคผนวก ก  
ภาพการทดลอง



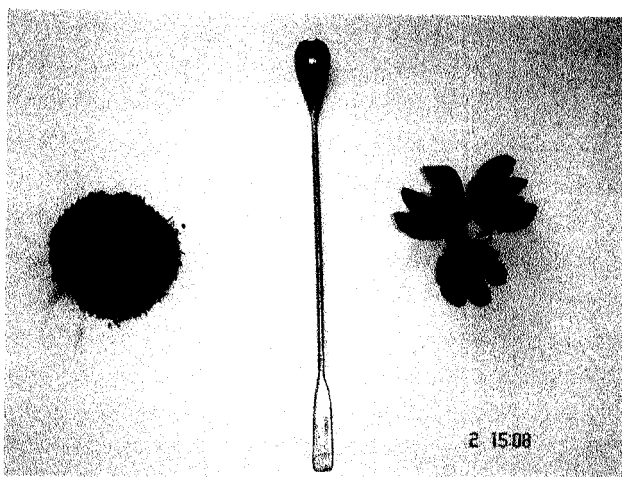
ภาพที่ ก-1 ลักษณะของผลตะแบกที่ห้อยอยู่ที่ต้นตะแบก



ภาพที่ ก-2 ลักษณะของผลตะแบกที่เก็บมาจากต้นตะแบก



ภาพที่ ก-3 ลักษณะของผลตะแบกที่ผ่านการบด



ภาพที่ ก-4 ลักษณะของผลตะแบกแบบที่ผ่านการบดและแบบไม่บด

**ภาคผนวก ง**  
**ผลงานทางวิชาการ**

## ผลงานทางวิชาการ

- 1) **พัฒนัษวัตร อินรัมย์** และ ไพรัตน์ แก้วสาร. “การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, 26-27 ตุลาคม, โรงแรมราม่า การ์เด้นส์, กรุงเทพมหานคร, 2549.
- 2) ไชยพร เกตุแก้ว **พัฒนัษวัตร อินรัมย์** คมสัน มงคลสวัสดิ์ และไพรัตน์ แก้วสาร. “การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก”, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 6, 7-9 มีนาคม, โรงแรมอมรินทร์ลาญ, พิษณุโลก, 2550.

## การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก

พัฒนชวัลพร สีนรัมย์ ไพรัตน์ แก้วสาร\*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 85 ถ.สถลมารค, อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190.

### บทคัดย่อ

ปัญหาด้านน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้น ซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักไม่มีการบำบัดหรือกำจัดโลหะหนักก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นส่วนสำคัญในการจัดการปัญหาด้านน้ำที่เกิดขึ้น ได้มีการใช้กระบวนการทางเคมีหรือฟิสิกส์และเคมีร่วมกันในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ในศึกษารังนี้ได้นำใช้ผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยจะทำการศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส พื้นที่ผิวสัมผัส และพีเอช ที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ระยะเวลาเข้าสู่สมดุลอยู่ที่ 30 นาที พื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่เตรียมด้วยผลตะแบกที่มีผิวสัมผัสมากทำให้มีการดูดซับได้ดี ในขณะที่พีเอชมีผลทำให้การดูดซับแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะนำเอาผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย, การดูดซับ, ตะกั่ว, ผลตะแบก

### 1. บทนำ

การปนเปื้อนของสารมลพิษในระบบนิเวศส่งผลให้เกิดการสะสมของมลพิษ ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นสารอันตรายนั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น จากอุตสาหกรรม, การทำเหมืองแร่ และกิจกรรมจากภาคเกษตรกรรม เป็นต้น (Esposito et al., 2001). โดยปรกติ น้ำเสียมักจะมีสารประกอบ อนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะหนัก เช่น พวกเกลือของปรอท, ตะกั่ว, โครเมียม และสังกะสี เป็นต้น เกลือของโลหะหนักส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำ

ธรรมชาติ สัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้นจะสะสมของเสียในไว้ ดังนั้นห่วงโซ่อาหารที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตามมา (Akar et al., 2005)

การเลือกใช้วิธีการบำบัดโลหะหนักที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับ 1) กลุ่มของปัจจัยความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (วิธีการใช้และประสิทธิภาพ) 2) ราคาของโลหะหนักใน ท้องตลาดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการใช้ลดลง (Volesky, 1990) ซึ่งการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ chemical precipitation, carbon adsorption, ion exchange, evaporation และ membrane processes เป็นต้น (Kojima and Lee, 2001) ซึ่งวิธีการเหล่านี้เหมาะสำหรับนำไปใช้กำจัดโลหะหนัก ที่มีความ

\* Authors to correspondence should be addressed via e-mail:

p\_kaewsam@hotmail.com

เข้มข้นสูงๆ แต่มักมีราคาแพงมาก และ/หรือไม่มีประสิทธิภาพเมื่อนำมาใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 100 มก./ล. (Volesky, 1987) แต่การดูดซับทางชีวภาพนั้นจะเหมาะสมสำหรับใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยๆ (Yu et al., 1998) อีกทั้งยังสามารถใช้สารดูดซับทั่วไปได้ (Zouboulis et al., 2004)

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้นำการดูดซับทางชีวภาพมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก โดยใช้ผลตะแบกซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

## 2. วิธีการทดลอง

ในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูล 2 ซ้ำ ถ้าข้อมูลไม่ใกล้เคียงกันจึงทำการเก็บครั้งที่ 3 แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย และทำ blank ทุกครั้งที่มีการทดลอง ในการทดลองนี้ใช้ผลตะแบกเป็นสารดูดซับ โดยนำไปล้างน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยเลือกใช้สารดูดซับแบบที่ไม่มีกรบดและแบบที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดพืชแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับตะกั่วจะนำตะกั่วไนเตรท ( $Pb(NO_3)_2$ ) ผสมกับน้ำที่ปราศจากไอออน (DI) โดยขั้นแรกเตรียมน้ำสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1000 มก./ล. (1 มล. = 1 มก. ตะกั่ว) โดยละลายตะกั่วไนเตรท ( $Pb(NO_3)_2$ ) 1.5999 กรัม ในกรดไนตริก ( $HNO_3$ , Sp.Gr. 1.42) 10 มล. เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร จากนั้นค่อยนำสารละลายมาตรฐานมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ

การศึกษาถึงผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. จะใช้สารดูดซับจำนวน 1 กรัม เติมลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มล. นำไปเขย่าด้วย

เครื่องเขย่า (Shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่เวลา 5, 10, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การหาปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. เติมสารดูดซับจำนวน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ตามลำดับ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง AAS

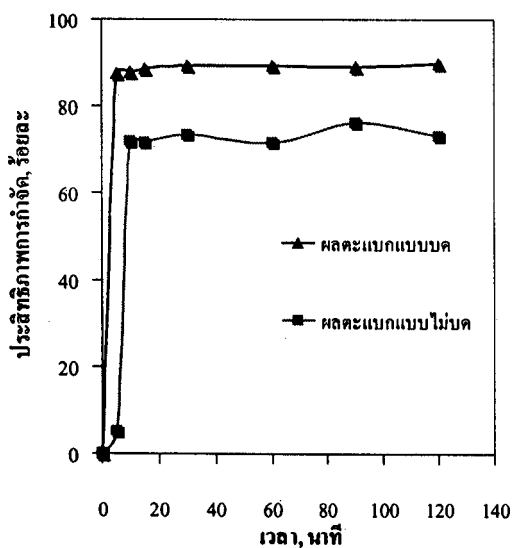
การหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. เติมสารดูดซับลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. ที่มีค่าพีเอช 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง AAS

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัส

จากผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 เป็นผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. ของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ พบว่า สามารถแบ่งช่วงเวลาของปฏิกิริยาออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก ตั้งแต่เวลา 5-15 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงแรกของการดูดซับ พื้นที่ในการดูดซับยังมีอยู่มาก จากนั้นในช่วง 15-30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ดูดซับเริ่มลดลงไปมาก แล้วจึงทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ส่วนช่วงสุดท้าย คือ ตั้งแต่เวลา 30-120 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 30 นาที และจากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า ที่สารดูดซับแบบบด จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าสารดูดซับแบบไม่บด แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี

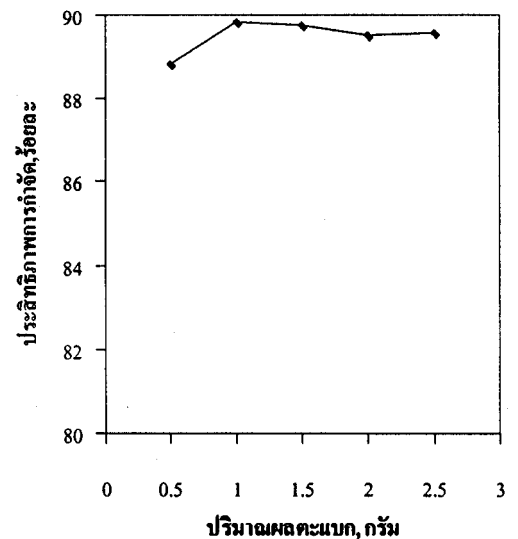


ภาพที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ

### 3.2 ผลของปริมาณ ของสารดูดซับ

จากผลจากการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า ในช่วงแรก ปริมาณของผลตะแบกปริมาณ 0.5 - 1 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนช่วงที่สอง ที่ปริมาณตั้งแต่ 1 - 2.5 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วค่อนข้างคงที่

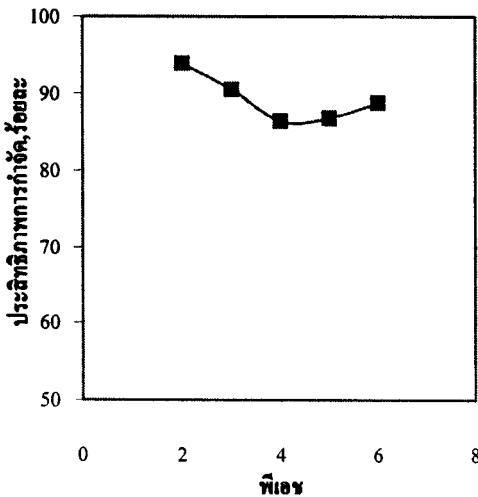
ทั้งที่มีการเพิ่มปริมาณสารดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มสารดูดซับถึงระดับหนึ่ง จะส่งผลทำให้ที่เอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการชะละลาย (leaching) ของสารที่มีคุณสมบัติเป็นเบสบางชนิดในผลตะแบก ซึ่งผลจากปฏิกิริยาดังกล่าว มีส่วนขัดขวางหรือเป็นตัวยับยั้ง (inhibitor) การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วลดลง แสดงว่าปริมาณของผลตะแบกถูกจำกัดไว้ที่ 1 กรัม สำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล.



ภาพที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ ณ เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

### 3.3 ผลของพีเอช

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอช 2, 3, 4, 5 และ 6 ณ สภาวะสมดุลเท่ากับร้อยละ 93.90, 90.49, 86.36, 86.78 และ 88.78 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พีเอชต่างๆ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอชต่างๆ พบว่า ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 2-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับจะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่า พีเอชสูงขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของสารดูดซับเปลี่ยนเป็นประจุบวก ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกลดลง โดยที่ พีเอช 2 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด เนื่องจากที่พีเอช 2 มีการแตกตัวของไฮโดรเนียมไอออนที่พื้นผิวของตัวดูดซับน้อยที่สุด ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้มาก ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Conrad และคณะ (2004) ที่ทำการทดลองโดยใช้โซลิมะพราวในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 2.5 แต่ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกลับเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าของสารดูดซับเป็นประจุลบ ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกเพิ่มขึ้น และที่พีเอชเท่ากับ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะต่ำที่สุด เนื่องจากมีการแตกตัวของไฮโดรเนียมไอออนที่พื้นผิวของตัวดูดซับมากที่สุด

ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Quek และคณะ (1998) ที่ใช้โซลิมะพราวในการดูดซับตะกั่วและการทดลองของ Khalid และคณะ (1998) ที่ใช้แคลบในการดูดซับตะกั่ว พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 3.5-4.5 และ 3.5-4 ตามลำดับ

#### 4. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการหาระยะเวลาของการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสีย สังเคราะห์โดยการใช้ผลตะแบก พบว่าจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 30 นาที โดยที่สารดูดซับแบบบดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าสารดูดซับแบบไม่บด แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี

ปริมาณของผลตะแบก 1 กรัม เหมาะสำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล.

ผลของพีเอชของสารละลายจะทำให้เกิดการดูดซับของโลหะหนักที่ผิวหน้าของสารดูดซับแตกต่างกัน โดยที่พีเอช 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด ส่วนที่พีเอช 4 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วต่ำที่สุด



## เอกสารอ้างอิง

- Akar, T., Tunalı S. (2005), *Biosorption performance of Botrytis cinerea fungal by-products for removal of Cd(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions*, Miner. Eng. 18, 1099–1109.
- Conrad, K. , Christian, H., and Hansen, B. (2006), *Sorption of zinc and lead on coir*, Bio. Technol. xxx, xxx–xxx.
- Esposito, A., Pagnanelli, F., Beolchini, F., Dovi, V., Veglio, F. (2001), *Cadmium and copper biosorption on Sphaerotilus natans: influence of pH and biomass concentration on the biosorption modeling*, Hydrometallurgy. 60, 129–141.
- Khalid, N., Ahmad, S., Kiani, S.N., Ahmed, J., (1998), *Removal of lead from aqueous solutions using rice husk*, Sep. Sci. Technol, 33 (15), 2349–2362.
- Kojima, H., Lee, K.Y., (2001), *Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology*, Springer-Verlag Hong Kong Ltd., Hong Kong.
- Quek, S.Y., Al Duri, B., Wase, D.A.J., Forster, C.F., (1998), *Coir as a biosorbent of copper and lead*. Process Safety Environ. Prot, 76 (B1), 50–54.
- Volesky, B. (1987), *Biosorption for metals recovery*, Trends in Biotechnol, 5, 96-101.
- Volesky, B. (1990), *Biosorption of Heavy Metals*, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Yu, Q., Matheickal, J.T., and Latten, J. (1998), *Heavy Metal adsorption properties of marine alga E. radiata, D. potatorum and L. japonica*, Chinese J. Chem, Eng. 6, 68-72.
- Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X., Matis, K.A. (2004), *Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metalpolluted soils*, Process Biochemistry. 39, 909–916.

# การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสีย สังเคราะห์โดยใช้ผลตะแบก

## Biosorption of $Pb^{2+}$ Metals from Aqueous Solution by *Lagerstroemia floribunda* Jack

ไชยพร เกตุแก้ว<sup>1\*</sup> พัฒน์ชวัลพร สินรัมย์<sup>2</sup> คมสัน มงคลสวัสดิ์<sup>3</sup> และ ไพรัตน์ แก้วสาร<sup>4</sup>

Chaiyapon katkaew<sup>1\*</sup> Patchawanporn Sinram<sup>2</sup> Komsun Mongkolsawat<sup>3</sup> and Pairat kaewsarn<sup>4</sup>

Received 16 January 2007 ; received in revised form 27 February 2007 ; accepted 28 February 2007

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับของตะกั่วโดยใช้ผลตะแบกอบแห้ง ซึ่งอิทธิพลของตัวแปรที่ทำการศึกษได้แก่ พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะ และเวลาในการสัมผัส พบว่าการดูดซับของตะกั่วในผลตะแบกอบแห้งให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดที่พีเอชประมาณ 2 ที่สมดุล 30 นาทีที่ความเข้มข้นของโลหะ 10 ppm จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลตะแบกอบแห้งเหมาะสำหรับใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยความสามารถในการดูดซับไอออนของตะกั่วมากที่สุด 18.761 mg/g

**คำสำคัญ :** การดูดซับ; โลหะหนัก; ตะกั่ว; ผลตะแบก

### Abstract

The sorption of  $Pb(II)$  by a dried *Lagerstroemia floribunda* Jack was investigated. Effects of pH, initial concentration of metal ions and contact time were studied. Adsorption of  $Pb(II)$  ions on *Lagerstroemia floribunda* Jack showed highest values at about pH 2 with an equilibrium time of 30 minutes at 10 ppm initial concentration. The results indicated that *Lagerstroemia floribunda* Jack is a suitable biosorbent for the removal of  $Pb(II)$  ions from synthetic waste water. The maximum sorption capacities were 18.761 mg/g .

**Keywords :** sorption; lead; waste water; *Lagerstroemia floribunda* Jack

<sup>1,2,3</sup>นิสิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; <sup>4</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
อุบลราชธานี 34190;

\*โทรศัพท์ : 086-582-7359, e-mail : kai\_paparwin@hotmail.com

การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 6



## บทนำ

สารมลพิษที่ปนเปื้อนในระบบนิเวศน์ ส่งผลให้เกิดการสะสมของมลพิษ ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นสารอันตรายนั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของแหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น จากอุตสาหกรรม, การทำเหมืองแร่ และกิจกรรมจากภาคเกษตรกรรม เป็นต้น [1] โดยปรกติน้ำเสียมักจะมีสารประกอบอนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะหนัก ซึ่งเกลือของโลหะหนักส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ สัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้นจะสะสมของเสียในไว้ ดังนั้นห่วงโซ่อาหารที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมตามมา [2]

การเลือกใช้วิธีการบำบัดโลหะหนักที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับ 1) กลุ่มของปัจจัยความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (วิธีการใช้และประสิทธิภาพ) 2) ราคาของโลหะหนักในท้องตลาดที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการใช้ลดลง [3] ซึ่งการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนมีอยู่หลายวิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ chemical precipitation, carbon adsorption, ion exchange, evaporation และ membrane processes เป็นต้น [4] ซึ่งวิธีการเหล่านี้เหมาะสำหรับนำไปใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงๆ แต่ก็มีราคาแพงมาก และ/หรือไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อนำมาใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 100 มก./ล. [5] แต่การ ดูดซับทางชีวภาพนั้นจะเหมาะสำหรับใช้กำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยๆ [6] อีกทั้งยังสามารถใช้สารดูดซับทั่วไปได้ [7] ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงได้นำการดูดซับทางชีวภาพมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักตะกั่ว เนื่องจากตะกั่วมีความเป็นพิษสูง แม้จะได้รับในปริมาณน้อย โดยนำผลตะกั่วซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ, หาง่ายและมีจำนวนมาก มาประยุกต์ใช้เป็นสารดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

## วิธีการทดลอง

ในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูล 2 ซ้ำ ถ้าข้อมูลไม่ใกล้เคียงกันจึงทำการเก็บครั้งที่ 3 แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย และทำ blank ทุกครั้งที่มีการทดลอง ในการทดลองนี้ใช้ผลตะกั่วเป็นสารดูดซับ โดยนำไปล้างน้ำกลั่นให้สะอาด แล้วนำไปอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โดยเลือกใช้สารดูดซับแบบที่ไม่มี การบดและแบบที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดพีช แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 x 20 mesh

การศึกษาถึงผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. จะใช้สารดูดซับจำนวน 1 กรัม เติมนลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มล. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่เวลา 5, 10, 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

การหาปริมาณที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. เติมสารดูดซับจำนวน 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ตามลำดับ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง AAS



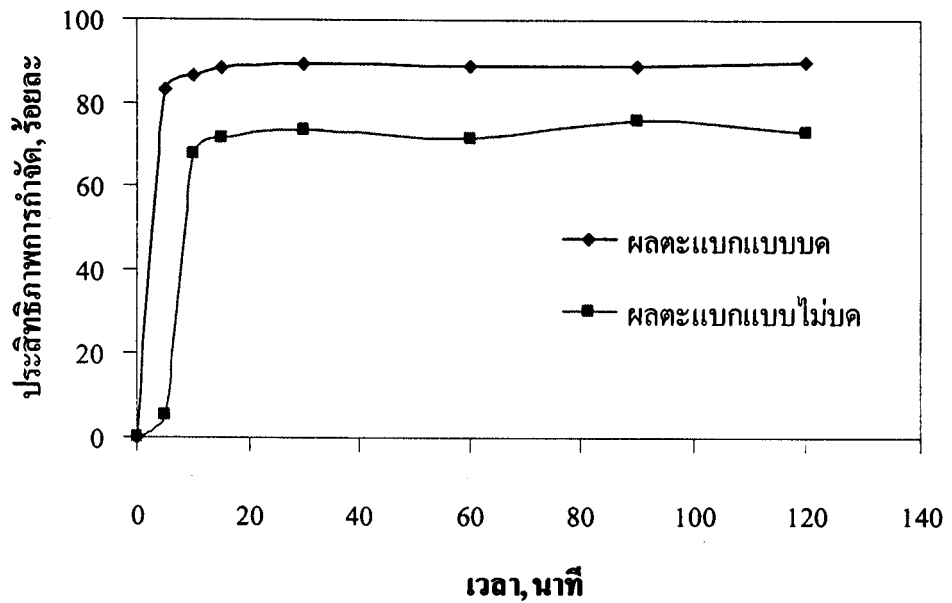
การหาพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่ว จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มก./ล. เติมสารดูดซับลงในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. ที่มีค่าพีเอช 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยเครื่อง AAS

การหาไอโซเทอมของการดูดซับ จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 10, 50, 100, 250 และ 500 มก./ล. ปิเปตน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 30 มล. โดยใช้ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองเบื้องต้น เติมผลตะแบก นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) ที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว โดยเครื่อง AAS นำค่าที่ได้ไปหาไอโซเทอรั่มของการดูดซับ

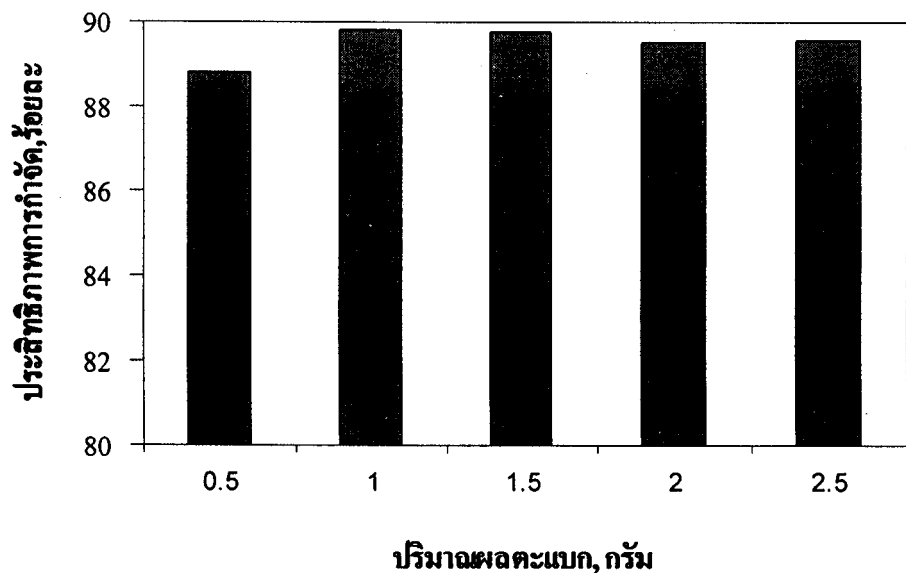
## ผลการทดลอง

### ผลของระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัส

จากผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 เป็นผลของระยะเวลาสัมผัสต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 มก./ล. ของสารดูดซับทั้ง 2 แบบ พบว่า สามารถแบ่งช่วงเวลาของปฏิกิริยาออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก ตั้งแต่เวลา 5-15 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงแรกของการดูดซับ พื้นที่ในการดูดซับยังมีอยู่มาก จากนั้นที่ช่วง 15-30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ดูดซับเริ่มลดลงไปมากแล้วจึงทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ส่วนช่วงสุดท้าย คือ ตั้งแต่เวลา 30-120 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มคงที่ แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลา 30 นาที และจากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า ที่สารดูดซับแบบบดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าสารดูดซับแบบไม่บด แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี และเนื่องจากความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ ดังนั้นเมื่อสารดูดซับแบบบดมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตัวของสารดูดซับที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ



ภาพที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตัวของสารดูดซับที่ปริมาณต่างๆ ณ เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง

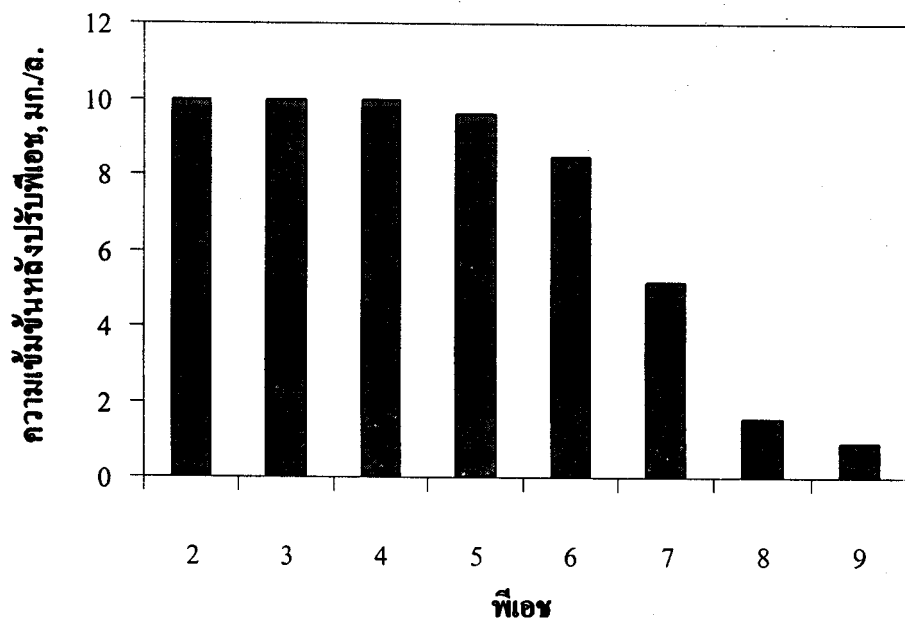
#### ผลของปริมาณของสารดูดซับ

จากผลจากการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า ที่ปริมาณของผลตะแบก 0.5 - 1 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่ปริมาณตั้งแต่ 1 - 2.5 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดตัว

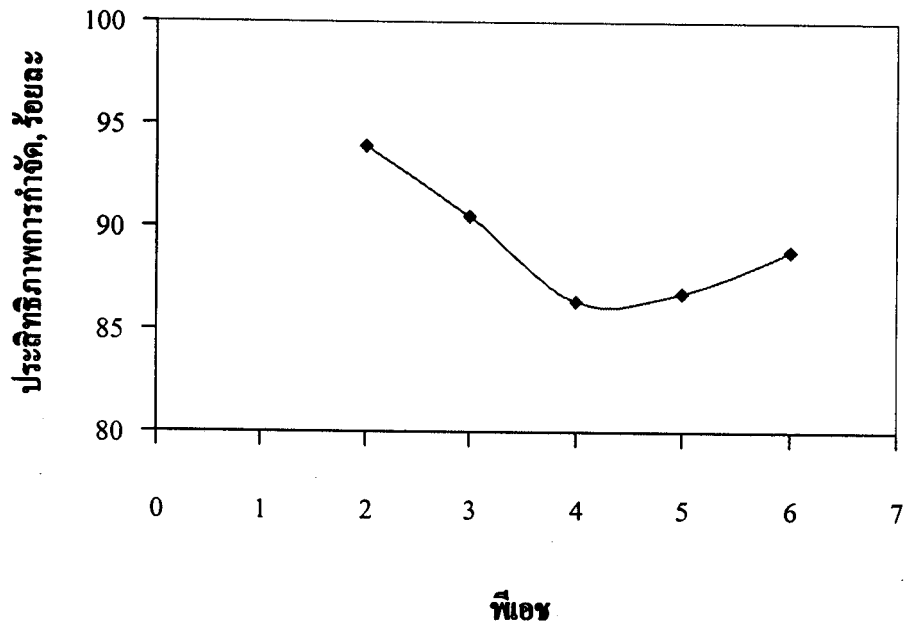
ก่อนข้างคองที่ ทั้งที่มีการเพิ่มปริมาณสารดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มสารดูดซับถึงระดับหนึ่ง จะส่งผลทำให้พีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากการชะละลาย (leaching) ของสารที่มีคุณสมบัติเป็นเบสบางชนิดในผลตะแบก ซึ่งผลจากปฏิกิริยาดังกล่าว มีส่วนขัดขวางหรือเป็นตัวยับยั้ง (inhibitor) การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วลดลง แสดงว่าปริมาณของผลตะแบกถูกจำกัดไว้ที่ 1 กรัม สำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล.

### ผลของพีเอช

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอช 2, 3, 4, 5 และ 6 ณ สภาวะสมดุล เท่ากับร้อยละ 93.90, 90.49, 86.36, 86.78 และ 88.78 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีเอชต่างๆ พบว่า ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 2-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับจะมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่า พีเอชสูงขึ้นจะทำให้ผิวหน้าของสารดูดซับเปลี่ยนเป็นประจุบวก ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกลดลง โดยที่พีเอช 2 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงสุด เนื่องจากที่พีเอช 2 มีการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออน ที่พื้นผิวของตัวดูดซับน้อยที่สุด ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้มาก และที่พีเอช มากกว่า 6 สารละลายตะกั่วจะเริ่มตกตะกอนในการปรับพีเอช โดยยังไม่เติมผลตะแบกอบแห้ง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงการตกตะกอนของสารละลายตะกั่วที่พีเอชต่างๆในการปรับพีเอช(ไม่มีตัวดูดซับ)



ภาพที่ 4 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับที่พืเอร์ต่างๆ

ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองที่ทำการทดลองโดยใช้โม่พระราวในการดูดซับตะกั่ว [8] พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พืเอร์ 2.5 แต่ที่ช่วงพืเอร์ตั้งแต่ 4-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกลับเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพืเอร์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าพืเอร์สูงขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าของสารดูดซับเป็นประจุลบ ทำให้มีการดูดซับตะกั่วซึ่งเป็นประจุบวกเพิ่มขึ้น และที่พืเอร์เท่ากับ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะต่ำที่สุด เนื่องจากมีการแตกตัวของไฮโดรเนียมไอออนที่พื้นผิวของตัวดูดซับมากที่สุด ทำให้การดูดซับไอออนบวกเกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับการทดลองที่ใช้โม่พระราวในการดูดซับตะกั่ว [9] และการทดลองที่ใช้เกลือในการดูดซับตะกั่ว [10] พบว่าให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่พืเอร์ 3.5-4.5 และ 3.5-4 ตามลำดับ

### ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ(adsorption isotherm)เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในละลาย ณ สภาวะสมดุล และความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ การศึกษาครั้งนี้จะทดสอบด้วยแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich โดยที่แบบจำลองของ Langmuir เป็นการดูดซับที่ตัวถูกละลายเรียงกันเพียงชั้นเดียวบนผิวตัวดูดซับ ดังแสดงในสมการ (1) และแบบจำลองของ Freundlich เป็นการดูดซับของสารดูดซับที่มีคุณสมบัติผิวเชิงซ้อน(Heterogeneous Surface) ซึ่งการดูดซับจะมีกลไกซับซ้อนเนื่องจากองค์ประกอบของสารดูดซับเอง ดังแสดงในสมการ (2)

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (1)$$

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

เมื่อ  $q_e$  คือปริมาณของโลหะไอออนที่ดูดซับเข้าไปต่อ 1 หน่วยน้ำหนักที่สมดุล (mg/g),  $q_{\max}$  คือปริมาณของโลหะไอออนที่มากที่สุดที่สามารถดูดซับเข้าไปได้ต่อหน่วยน้ำหนัก 1 หน่วย(mg/g),  $C_e$  คือความเข้มข้นของไอออนหรือโลหะหนักในสารละลาย ที่สภาวะสมดุล(mg/l),  $b$  คือ Langmuir affinity constant (l/mg),  $K_f$  คือ Freundlich constant (mg/g) และ  $1/n$  คือ Freundlich exponent

ตารางที่ 1 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich ที่พีเอช 2

pH	Langmuir isotherm	Freundlich isotherm
2	$q_{\max} = 18.761 \text{ mg/g}$	$K_f = 0.3793 \text{ mg/g}$
	$b = 0.017 \text{ l/mg}$	$1/n = 0.7871$
	$R^2 = 0.9748$	$R^2 = 0.9866$

จากตารางที่ 1 เห็นว่าจากแบบจำลองของ Langmuir ให้ค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 18.761 mg/g และแบบจำลองของ Freundlich ค่า  $1/n$  เท่ากับ 0.7516 ซึ่งค่า  $1/n$  แสดงถึง ความเร็วในการดูดซับ(adsorption intensity) หากมีค่าสูงแสดงว่าจะดูดซับตัวถูกดูดซับได้อย่างรวดเร็ว และค่า  $K_f$  เท่ากับ 0.3527 mg/g ซึ่งค่า  $K_f$  บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับตัวถูกดูดซับของสารดูดซับ (adsorption capacity) หากมีค่าสูงแสดงว่าสามารถดูดซับตัวถูกดูดซับได้ในปริมาณมาก [11] ซึ่งค่า  $R^2$  ของทั้งสองแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อชีวมวลต่างกัน ความสามารถในการดูดซับก็แตกต่างกัน ส่วนหนึ่งเนื่องจากองค์ประกอบที่ต่างกัน เช่น องค์ประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์ หมู่อะมิโน หมู่คาร์บอกซิล หมู่ซัลเฟต และหมู่ฟอสเฟต ด้วยปฏิกิริยาที่ซับซ้อนทั้งการแลกเปลี่ยนประจุ แรงแวนเดอร์วาลส์ และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน coordinate เนื่องจากผนังเซลล์ของชีวมวลชนิด ต่าง ๆ จะประกอบไปด้วย โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน ไคติน กรดอะมิโน กรดเกลือ และองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีหมู่ฟังก์ชัน หลายชนิดที่สามารถจับกับโลหะหนักได้ ทำให้เกิดการดูดซับบนพื้นผิว หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกัน การแลกเปลี่ยนประจุ รวมถึงการตกตะกอนทางชีวภาพ โดยหมู่ฟังก์ชันที่ต่างชนิดกันจะมีความจำเพาะและความแตกต่างในการจับกับโลหะชนิดต่าง ๆ ได้แตกต่างกันด้วย [12]





## สรุปผลการทดลอง

ผลจากการหาระยะเวลาของการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสีย สังกะหรณ์โดยใช้ผลตะแบก พบว่า จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 30 นาที โดยที่การดูดซับแบบบดจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าการดูดซับแบบไม่บด แสดงว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการดูดซับ ดังนั้นการดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะทำให้มีการดูดซับได้ดี ปริมาณของผลตะแบก 1 กรัม เหมาะสำหรับการกำจัดตะกั่วที่มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาตร 30 มล. ผลของพีเอชของสารละลายจะทำให้เกิดการดูดซับของโลหะหนักที่ผิวหน้าของสารดูดซับแตกต่างกัน โดยที่พีเอช 2 มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงสุด ( $q_{max}$ ) เท่ากับ 18.761 mg/g

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Esposito, A., Pagnanelli, F., Beolchini, F., Dovi, V., Veglio, F. 2001. **Cadmium and copper biosorption on *Sphaerotilus natans*: influence of pH and biomass concentration on the biosorption modeling**, Hydrometallurgy: 60, 129–141.
- [2] Akar, T., Tunali S. 2005. **Biosorption performance of *Botrytis cinerea* fungal by-products for removal of Cd(II) and Cu(II) ions from aqueous solutions**, Miner. Eng. 18, 1099–1109.
- [3] Volesky, B. 1990. **Biosorption of Heavy Metals**, CRC Press, Boca Raton, USA.
- [4] Kojima, H., Lee, K.Y., 2001. **Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology**, Springer-Verlag Hong Kong Ltd., Hong Kong.
- [5] Volesky, B. 1987. **Biosorption for metals recovery**, Trends in Biotechnol, 5, 96–101.
- [6] Yu, Q., Matheickal, J.T., and Latten, J. 1998. **Heavy Metal adsorption properties of marine alga *E. radiata*, *D. potatorum* and *L. japonica***, Chinese J. Chem, Eng. 6, 68–72.
- [7] Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X., Matis, K.A. 2004. **Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metalpolluted soils**, Process Biochemistry. 39, 909–916.
- [8] Conrad, K., Christian, H., and Hansen, B. 2006. **Sorption of zinc and lead on coir**, Bio. Technol. xxx, xxx–xxx.
- [9] Quek, S.Y., Al Duri, B., Wase, D.A.J., Forster, C.F., 1998. **Coir as a biosorbent of copper and lead**. Process Safety Environ. Prot, 76 (B1), 50–54.
- [10] Khalid, N., Ahmad, S., Kiani, S.N., Ahmed, J., 1998. **Removal of lead from aqueous solutions using rice husk**, Sep. Sci. Technol, 33 (15), 2349–2362.
- [11] Goyal, N., S.C. Jain and U.C. Banerjee. 2003. **Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals**. Adv. Environ. Resour. 7: 311–319.
- [12] Kapoor, A. and T. Viraraghavan. 1995. **Fungal biosorption an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewater: a review**. Bioresour. Technol. 53: 195–206.

## ประวัติผู้วิจัย

**ชื่อ**

นางสาวพัฒนชวัลพร สีนรัมย์

**วัน เดือน ปี เกิด**

27 ธันวาคม 2525

**ที่อยู่**

94 ถ.สุขาสงเคราะห์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000

**ประวัติการศึกษา**

สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, พ.ศ. 2548