



การอุปชับดีก้าวออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ใบหน่อน

ธีระวุฒิ บุญด้อม

การกันครัวอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาบริหารสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2549

ฉบับที่เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**BIOSORPTION OF LEAD FROM AQUEOUS SOLUTION USING
MULBERRY LEAVES**

TEERAWUT BOONLOM

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RAJATHANE UNIVERSITY
YEAR 2006**

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANE UNIVERSITY



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ¹
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

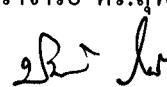
เรื่อง การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำสังเคราะห์โดยใช้ใบหนอน

ผู้วิจัย นายธีระภูติ บุญถิ่น

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

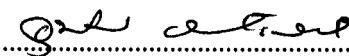

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์ พงษ์ มัตรชา)


..... กรรมการ
(นายประเดิม ภาคแก้ว)

..... คณบดี
(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคาก)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว


.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2549

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากรที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้คำปรึกษาและกำลังใจในการค้นคว้าอิสระนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ แก้วสาร อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้ให้ความรู้ที่มีอยู่ในตำราเรียน เกี่ยวกับแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และคำปรึกษาอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับการดำเนิน งานวิจัย อีกทั้งคำสั่งสอนและแนวคิด nok ตำราเรียน จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนิน แนวคิดได้อย่าง เป็นขั้นตอนมากขึ้น ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ พงษ์ มัตรายุทธการสอบการค้นคว้าอิสระ อาจารย์ที่ ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ได้ให้คำแนะนำพร้อมทั้งคำปรึกษา ข้อคิด รวมถึงแนวทางในการหา ข้อมูลและดำเนินการวิจัย ตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาในการทดลอง ขอบคุณท่านอาจารย์ที่สละเวลา ให้คำแนะนำในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ตัวข้าพเจ้า อีกทั้ง ได้ให้คำสั่งสอนทั้งความรู้ที่มี อยู่ในตำราเรียนและความรู้ที่สูงกว่า ตามที่อาจารย์ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็น คณะกรรมการการค้นคว้าอิสระ

คณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมกพ สนองรายภู ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาดา สนองรายภู ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พุทธพร แสงเทียน ดร. สุกัญญา ศรีสั่ง นางสาวณัฐญา พูนสุวรรณ ที่ได้ให้คำสั่ง สอนและความรู้ที่มีอยู่ทั้งในตำราเรียนและนอกตำราเรียน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถประยุกต์ใช้ใน งานวิจัยอีกทั้งเป็นแนวความคิดในการใช้วิธีอีกด้วยและขอบคุณผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ สำหรับคำชี้แนะใน การวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณกาญจนา พานแก้ว คุณเอกสารรัฐ อ่อนครี คุณสุรชัย วงศ์ชารี เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่แนะนำและอำนวย ความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้



(นายธีระวุฒิ บุญล้อม)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำสังเคราะห์โดยใช้ใบหม่อน

โดย : ธีระฉัติ บุญล้อม

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ แก้วสาร

ศัพท์สำคัญ : การดูดซับ การบำบัดน้ำเสีย ใบหม่อน

การบำบัดน้ำเสียที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนอยู่เป็นเรื่องที่มีความจำเป็นต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ซึ่งมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดมากนัย อาทิ การตกรอกอนโดยใช้สารเคมี การแยกเปลี่ยนประจุการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ รวมทั้งการดูดซับโดยใช้ชีวมวล (Biosorption) ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยอาศัยเทคนิค Biosorption โดยการใช้ใบหม่อนในการดูดซับเพื่อลดสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเป็นการทดลองแบบ Batch โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับดังนี้ ปริมาณสารดูดซับ เวลาสัมผัส pH และทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) จากการทดลองพบว่า pH มีผลต่อการดูดซับกำจัดตะกั่วมากในช่วง pH 2 โดย ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณของใบหม่อนประสิทธิภาพการดูดซับก็เพิ่มขึ้นด้วยและเวลาสัมผัสเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที ไอโซเทอมในการดูดซับคล้อยตามสมการของ Langmuir Isotherm ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความถูกต้องระหว่างข้อมูลและสมการสูง คือ $R^2 = 0.922$ ประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใบหม่อนมีค่าสูงสุดที่ $q_m = 33.557 \text{ mg/g}$ ดังนั้นในการศึกษานี้ใบหม่อนเป็นวัตถุดีบีที่ดูดซับได้และมีคุณสมบัติในการดูดซับเมื่อเทียบกับชีวมวล ชนิดอื่นแล้วค่อนข้างสูงจึงน่าจะเกิดประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วปนเปื้อนในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

ABSTRACT

TITLE : BIOSORPTION OF LEAD FROM AQUEOUS SOLUTION
USING MUBEREY LEAVES

BY : TEERAWUT BOONLOM

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

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

KEYWORDS : TREATMENT / BIOSORPTION / MULBERRY LEAVES

Treatment of wastewater contaminated by lead was more concerned because of its effect in health and environment. There are several technologies such as precipitation, ion exchange, activated carbon adsorption as well as biosorption. In this study, biosorption of lead by using Mulberry Leaves was investigated. Removal of lead in synthetic wastewater was performed by batch experiment. The factors effected on adsorption e.g. biosorbent dose, contact time, pH, were investigated. Quantitative analysis of metal made by using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). According to the results, optimum lead uptake capacity and by using this biosorbent was found at pH 2. Increasing pH from pH 2 to pH 5 decreased lead uptake capacity and at pH from pH 5 to pH 6 minimal different was occurred. The reaction kinetics was considerably fast because the equilibrium was reached uptake capacity 30 minuets. Lead removal using Mulberry Leaves followed the Langmuir Isotherm and its maximum adsorption approximately q_m was 33.557 mg/g. Langmuir Isotherm also used to explain the research data in this study well ($R^2 = 0.922$). This study showed that Mulberry Leaves may be used to treat wastewater containing toxic heavy metal.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ช
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัจจุหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป	2
1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	3

2 หุ่มภูมิและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตะกั่ว (Lead)	5
2.1.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของตะกั่ว	5
2.1.2 การใช้ประโยชน์จากโลหะตะกั่ว	6
2.1.3 การแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม	7
2.1.4 ความเข้มข้นของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อม	7
2.1.5 การเข้าสู่ร่างกายมนุษย์	8
2.1.6 การสะสมของสารตะกั่ว และการขับถ่ายออกจากร่างกาย	9
2.1.7 ความเป็นพิษของตะกั่ว	9
2.2 พีอีช (pH)	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 มาตรฐานโลหะหนักในน้ำ	10
2.4 การกำจัดสารตะกั่วออกจากรากน้ำทิ้ง	10
2.4.1 กระบวนการตอกตะกอนทางเคมี	11
2.4.2 ขบวนการอสโนมิซิสย้อนกลับ	11
2.4.3 กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน	11
2.4.4 กระบวนการระเหย	12
2.4.5 กระบวนการอิเล็กโทร ไดอะไลซิส	12
2.4.6 กระบวนการแยกเปลี่ยนไออกอน	12
2.5 อนุกรมวิธานของหมื่น	12
2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	12
2.5.2 แหล่งกำเนิด	13
2.5.3 พันธุ์หมื่น	13
2.5.4 สารต้านอนุมูลอิสระ	14
2.5.5 การคุณชั้บหรือการคุณติดผิว	15
2.5.5.1 ทฤษฎีการคุณชั้บ	15
2.5.5.2 ขั้นตอนการคุณชั้บหรือการคุณติดผิว	15
2.5.5.3 ไอโซเทอมการคุณชั้บ	16
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการคุณติดผิว	21
2.7 ประเภทของสารคุณชั้บหรือสารคุณติดผิว	22
2.8 บทสรุป	23
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 รูปแบบการวิจัย	24
3.2 ตัวแปรที่ศึกษาและการวัดตัวแปร	24
3.3 สถานที่ทำการทดลองที่ปฏิบัติการ	25
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	25
3.5 วิธีเตรียมใบหมื่นและน้ำเสืบสังเคราะห์	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิธีการทดลอง	27
3.7 บทสรุป	30
4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	
4.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนอบแห้งและใบหม่อน สดในการคุณภาพก้าวในน้ำเสียสังเคราะห์	31
4.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนอบแห้งในการคุณภาพ ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์	32
4.3 การหาเวลาที่เหมาะสมของใบหม่อนในการคุณภาพตะกั่วในน้ำ เสียสังเคราะห์	34
4.4 ผลของ pH ที่มีต่อการคุณภาพตะกั่ว	36
4.5 ไอโซเทอมของการคุณภาพตะกั่ว	37
4.6 บทสรุป	40
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปการศึกษา	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	
ก ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดลอง	45
ข วิธีการเตรียมสารละลายน้ำและตัวอย่างการคำนวณ	58
ค ผลงานทางวิชาการ	61
ง หลักการและประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (2539)	75
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของในหม้อนอบแห้งและในหม้อนสดที่ปริมาณต่าง ๆ	31
2	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของในหม้อนที่ปริมาณต่าง ๆ ในการถูกซับตะกั่ว	33
3	ประสิทธิภาพการถูกซับตะกั่วของในหม้อนที่เวลาต่าง ๆ	35
4	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับ pH ที่ระดับต่าง ๆ	37
5	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ระดับ pH ต่าง ๆ ตาม Langmuir Isotherm	38
6	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ระดับต่าง ๆ pH ตาม Freundlich Isotherm	39
ก-1	ผลของปริมาณในหม้อนที่ปริมาณต่าง ๆ ในการถูกซับตะกั่ว	47
ก-2	ผลของเวลาต่าง ๆ ในการถูกซับตะกั่ว	48
ก-3	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับพื้นที่เชื้อที่ระดับต่าง ๆ	48
ก-4	สมการของ Langmuir ที่ pH 2	49
ก-5	สมการของ Langmuir ที่ pH 3	50
ก-6	สมการของ Langmuir ที่ pH 4	51
ก-7	สมการของ Langmuir ที่ pH 5	52
ก-8	สมการของ Freundlich ที่ pH 2	54
ก-9	สมการของ Freundlich ที่ pH 3	55
ก-10	สมการของ Freundlich ที่ pH 4	56
ก-11	สมการของ Freundlich ที่ pH 5	57

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่	
1 พื้นที่หมื่นที่เป็นพื้นที่สั่งเสริม บร. 60	14
2 กราฟสำหรับสมการของ Langmuir	17
3 กราฟสำหรับสมการของ Langmuir	18
4 กราฟหาค่า C_s สำหรับสมการของ BET	19
5 กราฟสำหรับสมการของ BET	19
6 กราฟสำหรับสมการของ Freundlich	20
7 ลักษณะของใบหมื่นก่อนทำการทดสอบ	26
8 เตาอบ (Hot Air Oven)	27
9 ขั้นตอนการหาปริมาณใบหมื่นที่ปริมาณต่าง ๆ ในการดูดซับตะกั่ว	27
10 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของใบหมื่นที่เวลาต่าง ๆ ในการดูดซับตะกั่ว	28
11 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับ pH ที่ระดับต่าง ๆ	28
12 การหาความสัมพัสของไอโซเทอมของการดูดซับโดยใช้ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm	29
13 กราฟแสดงประสิทธิภาพระหว่างใบหมื่นสดและใบหมื่นอบแห้ง	32
14 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสารตะกั่วกับปริมาณต่าง ๆ ของใบหมื่น	34
15 ผลของปริมาณใบหมื่นที่เวลาต่าง ๆ ในการดูดซับตะกั่ว	35
16 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับ pH ที่ระดับต่าง ๆ	37
17 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับ pH ตาม Langmuir Isotherm ที่ระดับต่าง ๆ	38
18 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วกับ pH ตาม Freundlich Isotherm ที่ระดับต่าง ๆ	39
ก-1 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 2	50
ก-2 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 3	51
ก-3 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 4	52
ก-4 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 5	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่	
ก-5 กราฟสำหรับสมการของ Freundlich	53
ก-6 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 2	54
ก-7 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 3	55
ก-8 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 4	56
ก-9 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 5	57
ข-1 กราฟการตกตะกอนของโคหนะหนักที่ pH ต่าง ๆ	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำรงชีพของมนุษย์ ซึ่งต้องหาไม่มีน้ำสะอาดใช้ในการอุปโภคบริโภคอย่างเพียงพอจะเป็นสาเหตุของปัญหาการขาดแคลนน้ำและเกิดโรคขึ้น ได้จากการปัจจัยบันประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาอุตสาหกรรมทำให้ปัญหาโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำทึ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะส่งผลกระทบต่อสิริเวณน้ำ และยังมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทึ่งจะเป็นพิษต่อร่างกายซึ่งจะมีการถ่ายทอดและสะสมในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ในศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะสารตะกั่ว เนื่องจากตะกั่วน้ำเป็นโลหะหนักที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมยาง และพลาสติก เป็นต้น ส่งผลให้มีการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำ อากาศ ดิน อาหาร และเครื่องอุปโภคดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่โดยการลดปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม

พบว่านาทึ่งจากโรงงานอุตสาหกรรม มีตะกั่วเจือปนอยู่ตั้งแต่ 5-400 มิลลิกรัม/ลิตร และอุตสาหกรรมที่มีการใช้ตะกั่วประเภทนินทรีย์มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ และยังพบอีกว่าการที่นาทึ่งของโรงงานแบตเตอรี่มีสภาพเป็นกรดจะทำให้ตะกั่วที่เจือปนในน้ำทึ่งจะอยู่ในรูปของสารละลายได้มากขึ้นซึ่งทางผู้ที่ศึกษาวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา มีตะกั่วเจือปนอยู่ในปริมาณตั้งแต่ 4.352-111.994 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำทึ่งที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้คือ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในน้ำ 0-200 ไมโครกรัม/ลิตร โดยเฉพาะตรงบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณตะกั่วเจือปนอยู่สูงถึง 200 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่ง (จาvrarun และคณะ, 2538) กล่าวว่าปริมาณตะกั่วที่ตกค้างอยู่ในดินตะกอนน้ำจำนวน 7.60-37.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัมในปลาที่จับได้บริเวณเหนือเขื่อนเจ้าพระยามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 0.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และบริเวณใต้เขื่อนเจ้าพระยาน้ำปริมาณตะกั่วสูงถึง 1.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ในปลาที่จับได้บริเวณเหนือเขื่อนเจ้าพระยา มีปริมาณตะกั่วสูงถึง 0.90 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และบริเวณใต้เขื่อนเจ้าพระยาน้ำที่จับได้บริเวณตะกั่วสูงถึง 1.70 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยที่ค่ามาตรฐานของปริมาณตะกั่วในอาหารตามมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขอยู่ที่ 1.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัมซึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็ได้มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องและอาจมีผลต่อแหล่งน้ำในธรรมชาติและอาจจะมีปริมาณสารตะกั่วปนเปื้อนในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น เช่น แม่น้ำมูล แม่น้ำโขง แม่น้ำชี

ดังนั้นจึงต้องมีศึกษาและหาวิธีป้องกันการปนเปื้อนของโลหะหนักด้วยวิธีที่เหมาะสม ก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว และวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหลักในแหล่งน้ำมีอยู่หลายวิธี เช่น การตกรตะกอน การแยกเปลี่ยนประจุ การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผันกลับ และการคุณติดผิว (Chen และคณะ, 2000) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประสิทธิภาพและข้อจำกัดแตกต่างกันไป และในหมู่นั้นจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าจะนำมาทดลองใช้ คือการคุณติดผิวโดยใช้ใบหม่อน (Mulberry Leaves) เนื่องจากเป็นใช้เทคโนโลยีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและ มีต้นทุนต่ำ

จากการศึกษาพบว่า ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้วัสดุรากถูกและห้าไม้จ่ายในท้องถิ่น เช่น ในชาและใบกาแฟ เมื่อจากวัสดุเหล่านี้มีส่วนประกอบของสารโพลีฟีนอล (ภาควิชาเกษตรชีวินิจฉัย คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาดิล, 2534) ซึ่งมีประจุที่ผิวเป็นลบทำให้สามารถจับกับตะ่อมที่มีประจุบวกได้ดีและในหม่อนถูกจัดว่าเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณลักษณะคล้ายกับพืชตังกล่าวและมีประสิทธิภาพการกำจัดตะ่อมได้ออกทางหนึ่งจึงเห็นว่าในหม่อนซึ่งเป็นวัสดุที่ห้าไม้จ่ายในท้องถิ่นและปัจจุบันนักจากจะใช้ใบหม่อนในการเลี้ยงไก่แล้ว ยังได้มีการพัฒนาเปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาในหม่อนเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ อีกทั้งเป็นวัสดุดีที่ห้าไม้จ่ายเนื่องจากต้นหม่อนสามารถปลูกได้ในทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย

1.2 ວັດຖຸປະສົງຄໍ

2.1.2 เพื่อการศึกษาประถมที่วิภาคในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยวิธีการดูดซับผ่านใบหม่อน (Mulberry Leaves)

2.1.2 เพื่อศึกษาปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อการคุณคิดผิว ตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ของในหม่อน

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ใบหม่อน (Mulberry Leaves) เป็นตัวกลางในการคุณชับที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยมีปริมาณใบหม่อนที่ 1.1 กรัม และศึกษาปัจจัยของ pH ที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ซึ่งกำหนดใช้ปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่ว 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรและ ปริมาณใบหม่อน 1.1 กรัม

1.3.2 น้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตะกั่วในเตรท $Pb(NO_3)_2$ เป็นตัวที่ทำให้เกิดตะกั่วในน้ำ โดยทำการเบรินเก็บประสีติภาพการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเมื่อค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดลองแบบทีละเทา (Batch Study)

1.3.3 การศึกษารังนี้ทำการตรวจหาปริมาณของตะกั่วทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของใบหม่อนในการคุณชับตะกั่วออกจากน้ำสังเคราะห์ได้

1.4.2 ทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการกำจัดตะกั่วโดยใช้ใบหม่อนในการคุณชับโดยมีปัจจัยในการศึกษาดังนี้ ปริมาณสัมพันธ์ เวลาสัมผัส pH สมการของ Langmuir และ สมการของ Freundlich

1.4.3 สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำ เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำต่อไป

1.4.4 สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นต่อไป

1.4.5 เป็นการนำเอาระบบการเกย์ต์ที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.5.1 น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึง น้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

1.5.2 การทดลองแบบทีละเท (Batch Study) หมายถึงการทดลองเป็นชุด ๆ ซึ่งในแต่ละชุดไม่เกี่ยวเนื่องกัน

1.5.3 สารดูดติดผิว (Adsorbent) หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ในการดูดซับ ดูดติด หรือจับ累ระหว่างนักในน้ำเสีย

1.5.4 ใบหม่อนหมายถึง การนำเอาใบหม่อนมาผ่านกระบวนการอบแห้งบดสับให้ละเอียดแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10-20 mesh

1.5.5 โลหะหนัก หมายถึง ตะกั่วที่อยู่ในน้ำเสียมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

1.5.6 ไอโซเทอมของการดูดซับ หมายถึง กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสาร ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมินี้

1.5.7 ประสิทธิภาพการกำจัด หมายถึง ความสามารถของใบหม่อนในการดูดซับโลหะหนักออกจากน้ำ โดยคิดเป็นร้อยละของการกำจัด (% removal) (วิธีการคำนวณดังภาคผนวก ข)

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

ตะกั่วเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ มักจะพบในรูปของสารประกอบตะกั่วชัลไฟต์ ตะกั่วชัลเพต และแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Galena Cerussite Angleite Pyromophite Minium และ Crocite หรือพบตะกั่วรวมอยู่กับโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง, สังกะสี และเงิน เป็นต้น แต่จะไม่พบตะกั่วอยู่ในรูปของโลหะอิสระเลย สารตะกั่วในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดมาจากหินประเกทต่าง ๆ กันทั้งพินชั้น, หินแปร และหินอัคนี ฯลฯ ทั้งนี้จะพบมาในหินดินคานตีด้านอกจากนี้ยังพบทั่ว ๆ ไปในดิน, น้ำ, อากาศ และพืช

2.1 ตะกั่ว (Lead)

2.1.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของตะกั่ว (จันทนา จันทร์ภักดี, 2536)

2.1.1.1 ตัวยูดักขณ์	Pb
2.1.1.2 เลขอะตอม	82
2.1.1.3 น้ำหนักอะตอม	207.20
2.1.1.4 ธาตุที่	5 ของหมู่ IV A ในตารางธาตุ
2.1.1.5 จุดหลอมเหลว	327.50 องศาเซลเซียส
2.1.1.6 จุดเดือด	1,740 องศาเซลเซียส
2.1.1.7 ความหนาแน่น	1.340 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
2.1.1.8 เลขออกซิเดชัน	+2, +4
2.1.1.9 ไอโซโทปสตabilities	208 Pb (52.30%), 206 Pb (23.620%), 07 Pb (22.60%), 204 Pb (1.480%)
2.1.1.10 โครงสร้างผลึก	Face-center cubic
2.1.1.11 การละลาย	ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในกรดบริสุทธิ์และกรดกำมะถันเข้มข้น

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากโลหะตะกั่วในปัจจุบันนี้ โลหะตะกั่วเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการนำมาใช้งานได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1.2.1 โลหะตะกั่ว ที่ผลิตจากสินแร่ตะกั่ว ได้แก่

1) แร่ปูรุนภูมิ ได้แก่ Galena (PbS) เป็นตะกั่วที่รวมตัวกับกำมะถัน เกิดเป็นตะกั่วชัลไฟต์

2) แร่ทุติยภูมิ ได้แก่ Anglesite ($PbSO_4$) เป็นตะกั่วที่เกิดในสภาพะที่เป็นกรด (pH ต่ำกว่า 6.40) ตะกั่วชัลไฟต์จะถูกออกซิไดซ์กลาบเป็นตะกั่วชัลเฟต และ Cerrussite ($PbSO_3$) เป็นตะกั่วที่เกิดขึ้นในสภาพะที่ pH สูงกว่า 6.40 จะเกิดตะกั่วคาร์บอนเนต โดยที่โลหะตะกั่วมีคุณสมบัติที่คงทนต่อการผุกร่อน (Resist to Corrosion) และอ่อนตัวหลอมเหลวได้ง่าย รวมทั้งสามารถป้องกันการแพร่รังสี ตะกั่วจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทำแผ่น Grid หัวเข็มสะพานไฟของหม้อเบptเตอร์ หลอดตัวพิมพ์ ทำหัวกระสุนปืน หุ้มสายเคเบิล สายไฟฟ้า สายโทรศัพท์ รวมทั้งนำมาเป็นอุปกรณ์ป้องกันรังสีจากเครื่องเอกซ์เรย์ และ เครื่องปฏิกรณ์พลังงานปรมาณู เป็นต้น

2.1.2.2 สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว (Inorganic Lead Compound) ได้แก่

1) ตะกั่วออกไซด์ (Lead Oxide) เช่น ตะกั่วโนโนออกไซด์ (Lead Monoxide, PbO) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี อุตสาหกรรมผลิตหน้อเบptเตอร์ และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาง เป็นต้น ตะกั่วไดออกไซด์ (Lead Dioxide, PbO_2) ใช้ทำเป็นข้ออิเลคโทรดของแบตเตอรี่ รถยนต์และเครื่องจักร ตะกั่วแดง (Red Oxide of Lead, Pd_2O_3) ใช้เป็นสีทาโลหะเพื่อป้องกันสนิม หรือเคลือบสีรถยนต์

2) ตะกั่วคาร์บอนเนต (Lead Carbonate, $PbCO_3$) ตะกั่วชัลเฟต (Lead Sulfate, $PbSO_4$) และตะกั่วโครเมต (Lead Chromate, $PbCrO_4$) ใช้ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตสี ผสมในผงผุ่นสีขาว สีน้ำมัน, หมึกพิมพ์ และสีพลาสติก

3) ตะกั่วอะซิเตต (Lead Acetate, $Pb(CH_3COO)_2$) เป็นเกลือของตะกั่วที่ละลายในน้ำได้ดี ใช้ในทางอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง ครีมใส่ผน เป็นต้น

4) ตะกั่วไนเตรต (Lead Nitrate, $Pb(NO_3)_2$) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาง และพลาสติก

5) ตะกั่วอะซีแนต (Lead Acenate, $PbO\cdot As_2O_3$) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาจ้ำแมลง และยาปราบศัตรูพืช

6) ตะกั่วซิลิกาต (Lead Silicate, PbSiO₃) ใช้ผสมในกระเบื้องเครื่องเคลือบเซรามิก เพื่อให้เกิดความเงางามและมีผิวเรียบ

2.1.2.3 สารประกอบอินทรีของตะกั่ว (Organic Lead Compounds) ได้แก่

1) ตะกั่วสเตียรेट (Lead Stearate, Pb (C₁₀H₃₅O₂)) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแล็คเกอร์, น้ำมันล่อสี และจารนี เป็นต้น

2) ตะกั่วเตตราเอทธิล (Tetraethyl Lead, TEL, Pb (C₂H₅)₄) ใช้เดินร่วมกับตะกั่วเตตราเอทธิลในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น ป้องกันการกระแทกของเครื่องยนต์ (แต่ในปัจจุบันเลิกใช้แล้ว)

3) ตะกั่วเตตราเมทธิล (Teramethyl Lead, TML, Pb (CH₃)₄) ใช้เดินร่วมกับตะกั่วเตตราเอทธิลในน้ำมันเบนซิน เพื่อเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้สูงขึ้น (แต่ในปัจจุบันเลิกใช้แล้ว)

2.1.3 การแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (อ้างอิง บุครังสี, 2538) แหล่งกำเนิดใหญ่ ๆ ของตะกั่วที่จะเป็นตัวแพร่กระจายตะกั่วออกไปสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ เมืองแร่ตะกั่ว การทำตะกั่วให้บริสุทธิ์ และการถลุงแร่ตะกั่ว โดยเฉพาะการใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน การแพร่กระจายของตะกั่วทั้งจากแหล่งที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนใหญ่แล้วจะปล่อยออกสู่อากาศจากน้ำที่จะไปสู่พื้นดิน และแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

2.1.4 ความเข้มข้นของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1.4.1 ตะกั่วในบรรยากาศ พบร่วมกับปริมาณของสารตะกั่วในบรรยากาศจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณรดบนดินท้องถนน ระยะที่อยู่ห่างจากถนน ทิศทางของกระแสลม และความเร็วของลม อีกทั้งปริมาณของสารตะกั่วในอากาศ และคืนที่อยู่บริเวณข้างถนนพบว่า มีปริมาณเพิ่มนากขึ้นตามความคันคั่งของการจราจร โดยปริมาณสารตะกั่วที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศจะมีปริมาณร้อยละ 25-75 ของสารตะกั่วที่มีอยู่ในน้ำมัน ในรูปอนุภาคของเกลืออนินทรี บางส่วนจะฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ และบางส่วนจะตกทับลงกันอยู่บนผิวดิน เมื่อเกิดฝนตกก็จะชะล่าสารตะกั่วเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำ

2.1.4.2 ตะกั่วในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะต้นน้ำส่วนใหญ่จะพบปริมาณตะกั่วเพียงเล็กน้อย ต่อเมื่อผ่านแหล่งเกย์ตรกรรม ชุมชน และแหล่งอุตสาหกรรมจึงพบในปริมาณสูงในมาตรฐานของน้ำบริโภคกำหนดไว้ว่า ไม่ควรจะมีสารตะกั่วเกินกว่า 50 ไมโครกรัม/ลิตร และ

ยังพบว่าปริมาณสารตะกั่วในน้ำทึบของโรงงานผลิตเบปตเตอร์ที่ตั้งอยู่บนผิวทางทิศตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยานิโถะตะกั่วเฉือนปูนอยู่ในปริมาณตั้งแต่ 4.352 ถึง 111.994 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานของโลหะตะกั่วในน้ำทึบที่ทางกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร

2.1.4.3 ตะกั่วในดินตะกอน แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีปริมาณสารตะกั่วปะปนอยู่ในดินตะกอนเสนอ เนื่องจากพื้นที่ร่องรับของแหล่งน้ำเหล่านั้นมักจะประกอบไปด้วยดิน, หิน และแร่ธาตุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบโดยธรรมชาติอยู่แล้ว และเมื่อมีการชะล้างพังทลายของดินและหินเหล่านั้นเกิดขึ้น ตะกั่วจะถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำและเกิดการตกตะกอนสะสมรวมกันในแหล่งน้ำ

2.1.4.4 ตะกั่วในอาหารและเครื่องอุปโภค อาหารที่มีการป่นเปี้ยนด้วยสารตะกั่ว เป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะนำสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งการมีสารตะกั่วในเครื่องสำอางเครื่องประทินผิวที่มีโอกาสสัมผัสถอยเป็นประจำ ทางคณะกรรมการร่วมของคณะกรรมการอาหารและยา แห่งสหประชาชาติกับองค์การอนามัยโลก ได้ร่วมกันกำหนดค่าสูงสุดที่ผู้ใหญ่จะได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจากอาหารและเครื่องดื่ม คิดเป็นวันละไม่เกิน 500.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัมของอาหารและเครื่องดื่มนั้น จากการศึกษาของ (ราชบัณฑิตยานานท์, 2526) พบว่า ในผักบุ้งและผักกะเพ็ดที่นำมาจากกลุ่มเชียงราย กรุงเทพมหานคร มีปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.050-10.363 ไมโครกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม และ 5.856-6.487 ไมโครกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ ส่วนในผักบุ้งและผักกะเพ็ดที่นำมาจากแหล่งเพาะปลูกในหนองน้ำใกล้บริเวณสถานบินดอนเมือง พบว่า มีปริมาณสารตะกั่วเฉือนปูนอยู่ประมาณ 3.402-6.487 ไมโครกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม และ 5.534-7.754 ไมโครกรัม/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ

2.1.5 การเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ สารตะกั่วสามารถที่จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ดังนี้

2.1.5.1 จากทางเดินหายใจ สารตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าร่างกายโดยการหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจ ทางเดินหายใจที่มีผู้คนหรือไ้อิหรือสารประกอบตะกั่วเข้าไป อันตรายที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณที่หายใจเข้าไป โดยขนาดยิ่งเล็กก็ยิ่งอันตรายมาก ตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน จะเข้าสู่หลอดลมฟอยและถุงลม แล้วถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ได้มีการประมาณไว้ว่าร้อยละ 40 ของตะกั่วที่เข้าสู่ทางเดินหายใจในผู้ใหญ่จะถูกร่างกายดูดซึมเอาไว้

2.1.5.2 จากทางเดินอาหาร ตะกั่วจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย โดยการกินอาหารหรือดื่มน้ำที่มีตะกั่วเฉือนปูนเข้าไป ซึ่งร่างกายจะดูดซึมเอาไว้ประมาณร้อยละ 5-10 โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย และที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและฟอฟฟอรัส ในปริมาณที่มากจะมีผลในการทำให้การดูดซึมนั้นของตะกั่วในร่างกายลดลง ส่วนตะกั่วที่เหลือก็จะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ

2.1.5.3 จากทางผิวนัง ตะกั่วจะถูกดูซึ่งเข้าร่างกายผ่านทางผิวนังได้โดยเฉพาะสารประgonอินทรีของตะกั่วบางชนิด สามารถดูซึ่งผ่านผิวนังเข้าสู่ร่างกายได้โดยที่ไม่จำเป็นว่าผิวนังต้องเป็นแพด เช่น เทตราเอทธิลเดค (Tetraethyl Lead) ที่ใช้ผสมในน้ำมันเบนซิน เป็นต้น

2.1.6 การสะสมของสารตะกั่ว และการขับถ่ายออกจากร่างกาย เมื่อตะกั่วเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจะถูกพาไปทั่วร่างกาย สามารถพบระบุรีได้ในทุกส่วนของร่างกาย และสารตะกั่วส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในกระดูกอ่อน 95 ในลิ้น หัวใจ และในสมอง มีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 0.05-0.09 ในโครงรับ/กรัม ในกระดูกมีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 6.60-7.82 ในโครงรับ/กรัม และในเส้นผมมีสารตะกั่วอยู่ประมาณ 2-80 ในโครงรับ/กรัม (สมพุด กฤตลักษณ์, 2532) สารตะกั่วที่รับประทานเข้าไป และไม่ถูกดูซึ่งจะถูกขับถ่ายออกมากับอุจจาระ ส่วนการกำจัดตะกั่วที่ร่างกายดูซึ่งเอาไว้จะถูกขับถ่ายออกมากับปัสสาวะร้อยละ 76 ทางอุจจาระร้อยละ 16 และอีกร้อยละ 8 จะถูกขับถ่ายทางผิวนัง ทางเหงื่อ และเส้นขนหรือเส้นผม ในวันหนึ่ง ๆ ร่างกายจะขับตะกั่วออกได้เต็มที่ประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น ถ้ามีมากเกินไปร่างกายจะขับออกไม่ทัน เกิดการสะสมขึ้นในร่างกาย และหากว่าปริมาณของตะกั่วในเลือดสูงถึง 80 ในโครงรับ ในผู้ใหญ่อาการพิษจะเริ่มแสดงให้เห็น และถ้ามีมากเกินกว่าปริมาณนี้ สมอง และตับจะพิการและถึงแก่ชีวิต ได้ง่าย ครึ่งชีวิตของตะกั่วในร่างกายท่ากัน 1,940 วัน หรือประมาณ 5 ปี ปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ตะกั่วถูกปล่อยออกจากกระดูก คือ การลดระดับแคลเซียมในอาหารหรือระดับแคลเซียมในเลือดลง ตะกั่วสามารถที่จะละลายหรือหลุดออกจากระดูกพร้อมกับแคลเซียม เข้าสู่กระแสเลือดและการเปลี่ยนสมดุลของกรด-ด่าง ในร่างกายหรือปัจจัยใดที่เปลี่ยนแปลงเมटาโนลลิซึ่งบ่อนมีอิทธิพลต่อการปล่อยตะกั่วออกจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด และถูกขับออกจากร่างกายได้เช่นเดียวกัน ตะกั่วที่อยู่ในกระแสเลือดนั้นมีศักยภาพที่จะออกฤทธิ์และเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าตะกั่วที่สะสมอยู่เฉย ๆ ในกระดูก (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2532)

2.1.7 ความเป็นพิษของตะกั่ว สำหรับอันตรายต่อมนุษย์ที่เกิดจากพิษของสารตะกั่ว สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะตามชนิดของสารตะกั่ว คือ การแพ้พิษจากสารตะกั่วนินทรี และการแพ้พิษจากสารตะกั่วอินทรี ดังนี้

2.1.7.1 การแพ้พิษจากสารตะกั่วนินทรี แบ่งจากการออกไ出发เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) ชนิดเดียวแพลัน จะเกิดอาการคอแห้ง กระหายน้ำ ปวดแสบปวดร้อน ในท้อง คลื่นไส้อาเจียน ในบางครั้งมีอาการท้องร่วง ไม่ค่อยพอนท้องผูก คนไข้อาจลับ มีอาการทางประสาทและกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย และเป็นตะคริวซึ่งรวมถึงอาการปวดศีรษะ นอนไม่หลับ ประสาทสัมผัสผิดปกติ รู้สึกเจ็บซึ่งหนดความรู้สึก และอาจตายได้เนื่องจากไถถูกทำลาย คนไข้อาจตายได้ภายใน 1 หรือ 2 วัน

2) ชนิดเรื้อรัง อาการแบบนี้ผู้ป่วยจะได้รับสารตะกั่วที่ละลายน้ำ ท่อข่าย สะสมอยู่ในร่างกายของคนเราและจะพนยาการอ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย เมื่ออาหาร น้ำหนักลด ห้องผูก ซึม กระสับกระส่าย อาเจียนเป็นบางครั้ง อ่อนเพลีย และปวดศีรษะพานะตัวทั่วสิ่งคลื่นหัวใจ (Lead Line) โดยที่ทางจะมีอาการทางระบบประสาทเข้ามาร่วมด้วย คือ ชนิด ไม่รู้สึกตัว สมองบวม ชา ในรายที่มีระดับตะกั่วในเลือดค่อนข้างสูง อาการนักเริ่มนกเกิดขึ้นชัดเจนในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้งานมาก เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือและข้อเท้ามีผลทำให้เกิดอาการเมื่อและเท้าเป็นอันพาด

2.1.7.2 การแพ็พิษจากสารตะกั่วอินทรีย์ แบ่งอาการออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) ชนิดเฉียบพลัน อาการที่พบส่วนมากเป็นอาการทางประสาท เช่น หงุดหงิด นอนไม่หลับ คลื่นคลัง เกิดความคิดสับสน และวิกฤติ

2) ชนิดเรื้อรัง จะพบทั้งอาการทางประสาท และอาการของระบบทางเดินอาหาร ระดับตะกั่วที่ถือว่าเป็นพิษที่มีค่าประมาณ 80 ไมโครกรัมต่อลิตร 100 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตามแม้ระดับเลือดต่ำกว่านี้ก็อาจพบอาการทางประสาทได้เช่นกัน

2.2 พีอีช (pH)

ค่า pH น้ำมีความสำคัญยิ่งมากต่อรูปแบบของโลหะหนักร่วมถึงตะกั่วที่พบรูปในน้ำเสีย การเพิ่ม pH ให้น้ำเสียโดยการเติมสารเคมีที่เป็นค่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของตะกั่วมีค่าลดลง ต่อไปจะต้องทดสอบอยู่ในรูปของตะกั่วไฮดรอกไซด์ ($Pb(OH)_2$) ซึ่งสามารถใช้หลักการของกรดดักดักอนนีในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสีย ในแหล่งน้ำเสียตามธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว ทั้งในแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเลที่พบรูปตะกั่วและสามารถพบได้ในหลายรูปแบบ เช่น $PbCO_3$, $Pb(CO_3)^{2-}$, $PbCl^+$, $PbOH^+$ และ $Pb(OH)$

2.3 มาตรฐานโลหะหนักในน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2535)

เนื่องจากอัตราของสารตะกั่วคงที่กล่าวมาแล้วจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานน้ำทึ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อควบคุมภาวะสิ่งแวดล้อมจากสิ่งปฏิษามประจำกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 วันที่ 3 มกราคม 2539 กำหนดให้น้ำทึ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิว

คิน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพัฒนา พ.ศ. 2529 กำหนดให้แหล่งน้ำผิว
คินจะมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

2.4 การกำจัดสารตะกั่วออกจากน้ำทิ้ง

ในการแยกสารตะกั่วออกจากน้ำทิ้งมีด้วยกันหลายวิธี การตัดสินในการพิจารณาถึง
วิธีการที่จะนำมาใช้ของแต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือ
ความเป็นไปได้ทางเทคนิค วิธีการ ค่าใช้จ่าย และบุคลากร รวมทั้งความจำเป็นอีกทั้งความเหมาะสมสม
อื่น ๆ

2.4.1 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation Process) กระบวนการนี้
เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมานานแล้ว โดยเป็นการเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้ง เพื่อไปทำปฏิกิริยากับ
สารละลายน้ำที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้เกิดตะกอนแยกตัวออกจากน้ำได้ โดยทั่วไปแล้วนิยม
ตกตะกอนสารตะกั่วให้เกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium
Hydroxide) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เมื่อจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีราคา
ถูกกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่นิยมใช้ค่อนมา ก็คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium
Carbonate) สารตะกั่วตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่ pH ระหว่าง 9.2-9.5 และพบว่า ถ้าปรับระดับ pH
ให้สูงมากเกินไปจะเกิดเป็นพลัมเบท (Plumbate) ซึ่งจะก่อให้สารตะกอนไฮดรอกไซด์สามารถหลอมไปละลายนำได้
อีก วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีนั้นในบางครั้งยังไม่สามารถลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียให้ต่ำ
จนถึงค่ามาตรฐานที่ต้องการ ได้ การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยการคุณคิดผิวถ่านกันมันนั้นจึง
เป็นทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณเล็กน้อยใน
น้ำเสียได้

2.4.2 กระบวนการอสโนซิสข้อนกลับ (Reverse Osmosis Process) เป็นกระบวนการหนึ่ง
ที่อาศัยแรงดันสูงผ่านเมมเบรน (Semi-permeable Membrane) แยกสารละลายน้ำออกจากน้ำ นักใช้
แรงดันที่ 300-1,000 ปอนด์/ตารางนิวตันหรือสูงกว่า ระบบนี้สามารถกำจัดสารละลายน้ำได้
เนื่องจากเมมเบรนยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านส่วนอ่อนต่าง ๆ จะถูกเมมเบรนผลักดัน
ออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ แผ่นเมมเบรนที่นิยมใช้กันมากทำมาจากเซลลูโลสอะซิเตด
(Cellulose Acetate) มีความหนาประมาณ 100 ไมครอน ประกอบด้วย 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่ใช้งานหนา
ประมาณ 0.2 ไมครอน ทำหน้าที่ขัดขวางมิให้สารต่าง ๆ ซึ่งผ่านไปพร้อมกับน้ำอีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่
เป็นพื้นรองรับและรับประทานสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้

2.4.3 กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Process) กระบวนการนี้จะใช้มากในโรงงานประเภทโรงงานชุบโลหะที่มีสารประกอบของโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะที่ต้องการกำจัด โดยการทำให้โลหะเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนและสารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ ออกซิเจน (Oxygen) โอโซน (Ozone) คลอริน (Chlorine) ไฮโปคลอไรท์ (Hypochlorite) เปอร์เมганेट (Permanganate) ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา รีดักชัน ได้แก่ เฟอร์สัลเฟต (Ferrous Sulfate) โซเดียมเมต้าไบซัลไฟท์ (Sodium Metabisulfite) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfer Dioxide) เป็นต้น

2.4.4 กระบวนการระเหย (Evaporation Process) เป็นกระบวนการที่ง่ายในการทำให้น้ำระเหยไป ให้คงเหลือไว้แต่เพียงสารตะกั่วที่ปนอยู่ในน้ำทิ้ง วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีในกรณีที่มีปริมาณสารตะกั่วในน้ำทึ้งอยู่ในปริมาณมาก แต่โดยทั่วไปไม่นิยมที่จะใช้วิธีนี้เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูง และต้องใช้ผู้ที่มีความสามารถ มีความชำนาญในการดำเนินการ

2.4.5 กระบวนการอิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis Process) เป็นกระบวนการที่มีการอาศัยเมมเบรนชั้นเดียวที่มีความต้านทานต่อการผ่านกระแสไฟฟ้า แต่ต่างกันตรงที่กระบวนการอิเล็กโทรไดอะไลซิสจะใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับดันให้เกิดการแยกสารประกอบซึ่งแตกตัวเป็นอิออนได้ออกจากน้ำ แผ่นเมมเบรนที่ใช้มีค่าขั้วกัน 2 ชนิดคือ แผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งจะยอมให้เฉพาะอิออนที่มีประจุเหมือนกันไหลผ่าน แต่ไม่เดกูลของน้ำจะไหลผ่านได้ยาก ทำให้อิออนของสารตะกั่วแยกออกจากน้ำได้

2.4.6 กระบวนการแลกเปลี่ยนไออ่อน (Ion Exchange Process) กระบวนการแลกเปลี่ยนไออ่อน เป็นการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างตัวกลางที่เป็นของเหลวกับตัวกลางที่เป็นของแข็งโดยไออ่อน (Ion) จะเกะติดอยู่ที่ผิวของวัสดุของตัวกลางที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายด้วยแรงไฟฟ้าสถิติ (Electrostatic Force) ไออ่อนนี้จะถูกเปลี่ยนด้วยไออ่อนที่มีประจุแบบเดียวกันในสารละลายที่ไหลผ่าน

2.5 อนุกรรมวิธานของหม่อน

2.5.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ หม่อน มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Morus Alba Linn.* มีชื่อภาษาอังกฤษว่า White Mulberry, Mulberry Tree วงศ์ *Moraceae* ในเดิรรูปหัวใจขอบจักพัน เลื้อย ผิวสาข สีเขียวเข้ม เส้นใบตามยาว 3 เส้น ดอกเดี่ยว ๆ กลม เป็นช่อแท่งกลมเดี่ยว ๆ ยาวราว 1 นิ้ว

2.5 อนุกรรมวิรานของหม่อน

2.5.1 สักษณะทางพฤกษศาสตร์ หม่อน มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Morus Alba Linn.* มีชื่อภาษาอังกฤษว่า White Mulberry, Mulberry Tree วงศ์ *Moraceae* ในเดี่ยวazuหัวใจขอบจักพัน เลือบ ผิวสาก สีเขียวเข้ม เส้นใบตามยาว 3 เส้น ดอกเล็ก ๆ กลม เป็นช่อแท่งกลมเล็ก ๆ ขาวขาว 1 นิ้ว ผลกลมเล็ก ๆ เมื่อสุกสีน้ำตาลดำ เป็นพวง ปลูกไว้เก็บใบเลี้ยงตัวใหม่ดัน ไม้พุ่มน้ำดกคล่อง อายุ หลายปี ลำต้น ตั้งตรงใบ เดี่ยวออกสับลับ ก้านใบขาว มีทั้งชนิด ขอบใบเว้าหยักเล็ก และขอบใบเป็นจัก กว้าง 8-14 เซนติเมตร ยาว 12-16 เซนติเมตร ผิวใบลากดายดอกร ออกปลายยอดกู่มึนเล็ก ๆ ดอกช่อ รูปทรง กระบวนการออกที่ซอกใบ แยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน กลีบรวมสีหม่น ผลเป็นผลรวมรูป ทรงกระบอก ผลอ่อนสีเขียว สุกสีแดง ระหว่างน้ำมันเปรี้ยว การขยายพันธุ์ ใช้ได้ทั้งต้นและเมล็ด ขยายพันธุ์คลอดปีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะดินร่วนปนทราย ความสัมพันธ์กับระบบนิเวศน์ปลูกร่วมกันกับต้นไม้อื่นได้

2.5.2 แหล่งกำเนิด หม่อนเป็นพืชตั้งเดิมของจีนและพบปูชนมากในที่ราบของอินเดีย และบริเวณเทือกเขาหิมาลัยที่สูงตั้งแต่ 3,300 เมตรขึ้นไป นองจากนี้ยังพบรากวนที่สาธารณรัฐเชิง ไประเทศที่มีการผลิตใหม่ เช่น ในประเทศไทย

2.5.3 พันธุ์หม่อน

2.5.3.1 หม่อนน้อยเป็นหม่อนที่ให้ดอกตัวผู้ กิ่งมีขนาดใหญ่ ลำต้นสีนวล มีตา มาก สักษณะของใบหนาเป็นมันสีเขียวแก่รูปใบโพธิ์ขوبใบเรียบ สักษณะที่ดีของพันธุ์นี้ คือ ทนแล้ง ขยายพันธุ์ง่ายด้วยกิ่งปักชำให้ผลผลิตประมาณ 1,500-2,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี แต่ไม่ต้านทานต่อโรค รา肯เน่า

2.5.3.2 หม่อนสร้อย เป็นหม่อนที่ให้ดอกตัวผู้ กิ่งมีขนาดใหญ่แตกแขนงมาก ในมีทั้งขอบใบเรียบและเว้า อยู่ในต้นเดียวกัน ใบบางเหี่ยวเร็ว ผิวใบสากมือ เป็นหม่อนที่ทนแล้ง ให้ผลผลิตประมาณ 2,000 กิโลกรัม/ไร่/ปี (ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้)

2.5.3.3 หม่อนໄไฟ เป็นหม่อนที่ให้ดอกตัวเมีย กิ่งมีขนาดปานกลาง ลำกิ่งอ่อน โคง สีน้ำตาลเขียว สักษณะใบเว้า มีพื้นที่ใบน้อย ใบบางสากมือ ให้ผลผลิตต่ำ แต่มีชื้อดี คือ ต้านทาน โรครา肯เน่า จึงเหมาะสมสำหรับปลูกเป็นต้นตอ เพื่อตัดตากหม่อนพันธุ์ดีหรือพันธุ์ลูกผสม

หลังจากมีการตัดแต่งแล้วสามารถแตกกิ่งได้เร็ว กิ่งมีสีน้ำตาล ใบไม่แข็ง ผิวใบเรียบ ใบใหญ่หนา อ่อนนุ่ม ให้ผลผลิตดีในสภาพที่มีน้ำ เป็นหมื่นพันธุ์ลูกผสม ให้ผลผลิตประมาณ 4,300 กิโลกรัม/ไร่/ปี ขยายพันธุ์โดยการปักชำ ลักษณะพันธุ์หมื่นบูรีรัมย์ 60 จะแสดง ดังภาพที่ 1

ในการทดลองครั้งนี้ได้นำเอาใบหมื่นพันธุ์ หมื่นสร้อยมาใช้ในการทดลองเนื่องจาก หมื่นสร้อยเป็นพันธุ์ที่ไม่นิยมปลูกในปัจจุบันเนื่องจากมีลักษณะใบที่เล็กและบางเมื่อนำ ใบหมื่นสร้อยไปเลียงด้วยมีการเจริญเติบโตจะที่ช้ากว่าใบหมื่นชนิดอื่นและเมื่อนำไปเปลี่ยนรูป เช่น ชาหม่อน ก็ยังได้รากชาติไม่ดีเท่ากับชาหมื่นพันธุ์ (บร.60) แต่ในอดีต ได้มีการส่งเสริมให้ เกษตรกรปลูกและในปัจจุบันยังมีอยู่อย่างแพร่หลายทำให้ผู้วิจัยได้นำเอาพันธุ์หมื่นสร้อยมาใช้ใน การทดลองในครั้งนี้



ภาพที่ 1 พันธุ์หมื่นที่เป็นพันธุ์ส่งเสริมได้แก่ พันธุ์บูรีรัมย์ 60 (บร. 60)

2.5.4 สารต้านอนุมูลอิสระคือ สารที่บังยังปฏิกิริยาออกซิเดชั่น กลไกการทำงานของ (Antioxidant) มีหลายแบบเช่น การขยับย้ายออกซิเจนออกไประเป็นตัวจับอนุมูลอิสระ (Scavenger) ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระเข้าจับกับเหล็กป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระของออกซิเจนในรูปอื่นๆ

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลใดๆที่มีอิเล็กตรอนไม่เข้าคู่(Unpaired Electron) ใน ออบิตอล(Orbital)พบได้ทั่วไปในเซลล์ปกติและเซลล์ที่ถูกกระตุ้น เช่น ชูปเปอร์ออกไซด์(O_2^-), ไฮดรอกไซด์(OH^-), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระจะไม่เสถียรและมีความ วงศ์ไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบต่างๆ ในระดับโมเลกุล อนุมูลอิสระเป็นสารพิษต่อ เซลล์ในร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์จะทำลาย ดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ มีผลต่อการอักเสบและทำลายเนื้อ

2.5.4 สารต้านอนุมูลอิสระคือ สารที่บังขึ้นปฎิริยาของซีเดชัน กลไกการทำงานของ (Antioxidant) มีหลายแบบ เช่น การบนข้าของออกซิเจนออกไซด์ เป็นตัวจับอนุมูลอิสระ (Scavenger) บังขึ้นการสร้างอนุมูลอิสระเข้าจับกับเหล็กป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระของออกซิเจนในรูปอื่นๆ

อนุมูลอิสระ คือ อะตอมหรือโมเลกุลใดๆที่มีอิเล็กตรอนไปเข้าคู่(Unpaired Electron) ในอนบินทอด(Orbital)พบ ได้ทั่วไปในเซลล์ปกติและเซลล์ที่ถูกกระตุ้น เช่น ชุบเปอร์ออกไซด์(O_2^-), ไฮดรอกไซด์(OH^-), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระจะไม่เสียบรและมีความว่องไวต่อการเข้าทำปฏิริยา กับสารประกอบต่างๆ ในระดับโมเลกุล อนุมูลอิสระเป็นสารพิษต่อเซลล์ในร่างกาย ถ้ามีมากในเซลล์จะทำลาย ดีอีนเอ เมื่อหุ้นเซลล์ มีผลต่อการอักเสบและทำลายเนื้อเยื่อในระบบสัน ในระบบข่าวอาจมีผลต่อการเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์อาจเป็นสารก่อมะเร็ง โรคหัวใจและต้อกระจะ เป็นต้น แต่เซลล์ในร่างกายพากเม็ดเลือดขาวก็ใช้พวกนี้กำจัดแบคทีเรีย หลังจากที่เซลล์กินแบคทีเรียเข้าไปในตัวแล้ว อนุมูลอิสระมีที่มาทั้งแหล่งภายนอกร่างกาย เช่น มนต์พิษทางอากาศ ไอโซ ใบโตรเจนออกไซด์ ผุ้นละอง อาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัว หรือชาตุเหล็กที่มีมากกว่าปกติ ดังนั้น กต ในการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งและอันตรายของอนุมูลอิสระซึ่งพบในธรรมชาติ เช่น พักผลไม้ ชา ส่วนใหญ่ อยู่ในรูปของสารประกอบ โพลีฟีโนล (Polyphenol) ซึ่งเป็นประจุลบจึงช่วยให้ดูดสารตะกั่วที่มีประจุบวกได้ดี และในใบหม่อนบั่งพบว่ามีสาร โพลีฟีโนลกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มสารที่มีอยู่ในธรรมชาติในรูปอักษรโคนอิสระ หรือจับตัวกับน้ำตาลเป็นกลับโคไซด์ เป็นกลุ่มสารที่มีโครงสร้าง 2 ส่วน คือ C6-C3 และ C6 พบในทุกส่วนของพืชที่เห็นได้ชัดคือออกฟลาโวนอยด์ที่เห็นในธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 2000 ชนิด มักพบในไม้ดอก

ฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างหลักคือ ส่วนที่มีคาร์บอน 6 ตัว คือ A ring และส่วนที่มีคาร์บอน 6 ตัวจับอยู่กับโซ่คาร์บอน 3 ตัว คือส่วนที่มี B ring

2.5.5 การดูดซับ หรือการดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารตัวกลางดึงโมเลกุลหรือคลออลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซมาจับและติดอยู่บนผิวของมัน จัดเป็นการเคลื่อนข่ายสารจากของเหลวหรือก๊าซมาจับผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคลออลอยด์เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent

2.5.5.1 ทฤษฎีการดูดซับ การดูดซับ (Adsorption) การดูดซับเป็นการสะสมตัวถูกดูดซับ (Adsorbent) กระบวนการการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างสารต่างสถานะกัน เช่น ก๊าซกับของแข็งหรือของเหลวกับของแข็ง การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

- การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เกิดจากแรง

แนวคิดอว拉斯์ระหว่างตัวคุณภาพและตัวถูกคุณภาพซึ่งเป็นปฏิกริยาที่ผันกลับได้ โดยชั้นของไมเลกุลที่ถูกคุณภาพซึ่งเป็นปฏิกริยาที่ผันกลับได้โดยชั้นของไมเลกุลที่ถูกคุณภาพจะเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (Multilayer)

- การดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เกิดจากพันธะทางเคมีระหว่างตัวคุณภาพกับตัวถูกคุณภาพซึ่งของไมเลกุลที่ถูกคุณภาพมักเป็นชั้นเดียว (Monolayer) การดูดซับชนิดนี้เป็นปฏิกริยาแบบผันกลับไม่ได้และเกิดปฏิกริยาที่อุณหภูมิสูง

- การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Exchange Adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) บริเวณผิวเมื่อตัวคุณภาพมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกคุณภาพเป็นไอออนที่มีประจุ กับตัวคุณภาพที่มีประจุตรงข้ามกัน

- การดูดซับแบบเจาะจง (Specific Adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงขึ้นเห็นช่วงของไมเลกุลตัวถูกคุณภาพ ที่มีหมู่พังก์ชั่นอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกคุณภาพแบบกายภาพ และแบบเคมี

2.5.5.2 ขั้นตอนการดูดซับหรือการดูดติดผิว อาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

1) การเคลื่อนที่ของไมเลกุลของตัวถูกคลาดสายเข้าหาสารดูดติดผิว โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องจากมีการกวนน้ำจันทำให้เกิดการปั่นป่วน หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ระดับไมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบ บรรวนเนียน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ

2) Film diffusion เมื่อไมเลกุลของตัวถูกคลาดสายเข้ามาถึงสารดูดติดผิว ซึ่งมีฟิล์มน้ำหนาห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบางๆ ไมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวของสารดูดติดผิวได้

3) Pore diffusion เนื่องจากสารดูดติดผิวมีลักษณะของพื้นที่ผิวเป็นโพรง หรือช่องว่างภายในไมเลกุลของตัวถูกคลาดสายซึ่งต้องแทรกตัวเข้าให้ถึงช่องว่างภายในสารดูดติดผิว จึงจะมีการดูดติดผิวเกิดขึ้น

4) ไมเลกุลต้องเกิดการติดบนผิวของสารดูดติดผิวโดยไม่หลุด

2.5.5.3 ไอโซเทอมการดูดซับ การวิเคราะห์ระบบการดูดซับ ระบบการดูดซับได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้รูปแบบของสมการอย่างง่ายแล้วนำสมการเขียนกราฟเพื่อสามารถวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ได้ การวิเคราะห์ระบบดูดซับได้มีผู้วิเคราะห์ไว้อัญ 3 กลุ่ม คือ

1) สมการของ Langmuir มีเงื่อนไขว่าการดูดซับจะติดเฉพาะผิวชั้นเดียว และไม่เกิดขึ้นในสารอื่นๆ

$$q = q_m \frac{C_e}{b + C_e} \quad (2.1)$$

เมื่อ q = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวถูกดูดซับ ณ สถานะสมดุล

q_m = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สถานะสมดุล

b = ค่าคงที่ของ การดูดซับ, ลิตรของตัวดูดซับ/มก.ของสารถูกดูดซับ

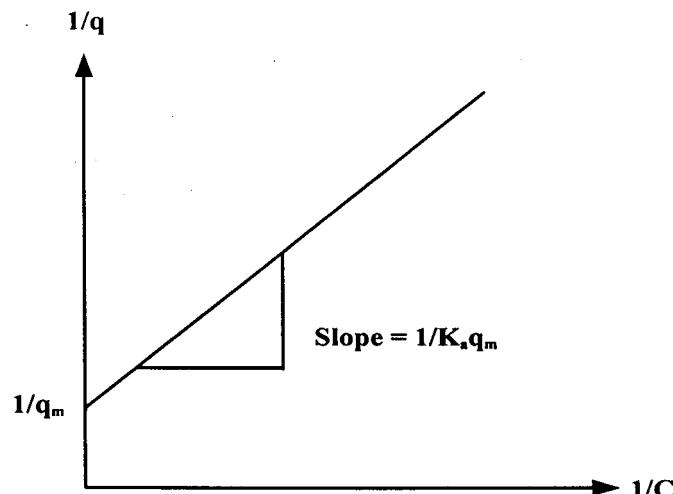
C = ความเข้มข้นของสารละลายนมก./ล.

เพื่อให้สามารถหาค่า q_m และ b จึงต้องจัดรูปแบบสมการใหม่ให้เป็นสมการดังนี้

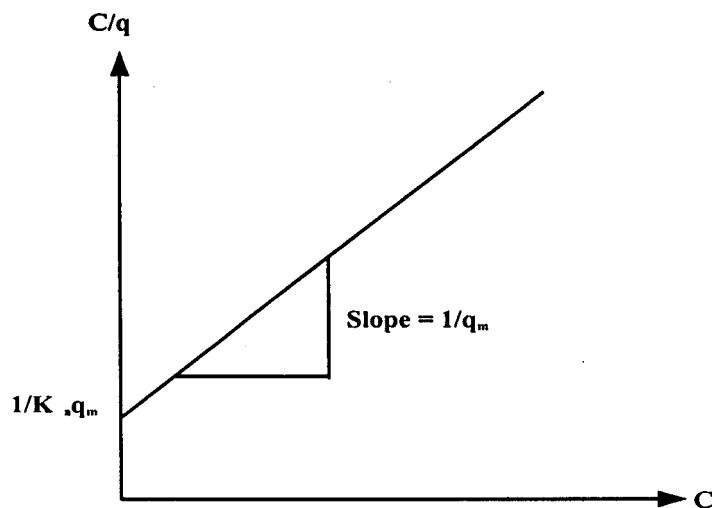
$$\frac{1}{q} = \left(\frac{1}{q_m} \right) + \left(\frac{1}{bq_m} \right) \left(\frac{1}{C} \right) \quad (2.2)$$

$$\frac{C}{q} = \left(\frac{C}{1/q_m} \right) + \left(\frac{1}{bq_m} \right) \quad (2.3)$$

จากสมการดังกล่าว สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 2 กราฟสำหรับสมการ (2.2) ของ Langmuir



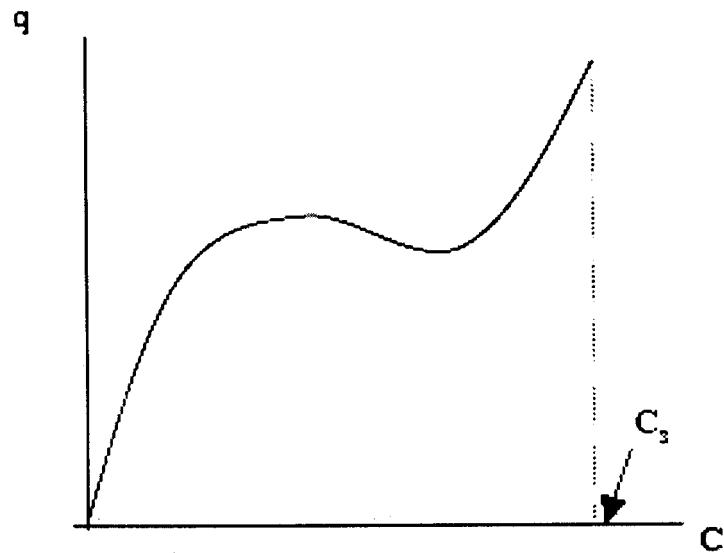
ภาพที่ 3 กราฟสำหรับสมการ (2.3) ของ Langmuir

2) สมการของ Brunauer–Emmett–Teller (BET) มีเงื่อนไขว่า โนมเดกุลของสารถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่อิสระบนผิว และการดูดซับมีระดับคงที่สำหรับทุกๆ โนมเดกุล

$$q = \frac{(q_m)(b)(C)}{(C_s - C)[1 + \{(b-1)(C/C_s)\}]} \quad (2.4)$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นอิมตัวของสารถูกดูดซับ ณ ทุกๆ ชั้น mg./l

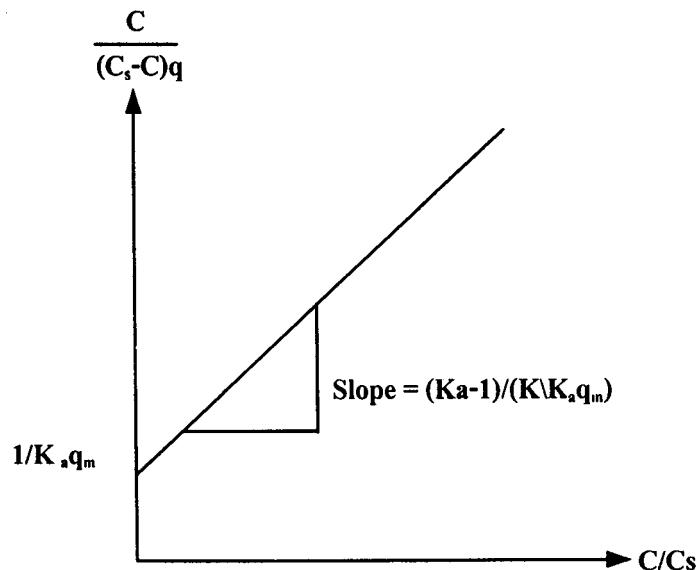
b = ค่าคงที่ของการดูดซับ



ภาพที่ 4 กราฟหาค่า C_s สำหรับสมการ (2.4) ของ BET

เพื่อให้สามารถหาค่า a และ q_m จึงต้องจัดรูปสมการให้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{C}{q(C_s - C)} = \left(\frac{1}{K_a q_m} \right) + \left(\frac{K_a - 1}{K_a q_m} \right) \left(\frac{C}{C_s} \right) \quad (2.5)$$



ภาพที่ 5 กราฟสำหรับสมการ (2.5) ของ BET

3) สมการของ Freundlich เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่าง
ขึ้นใช้กับ

สารละลายน้ำที่ค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

$$q = K_f C_e^{1/n} \quad (2.6)$$

เมื่อ q = สารละลายน้ำที่ถูกดูดซึม หน่วยเป็น mg/g

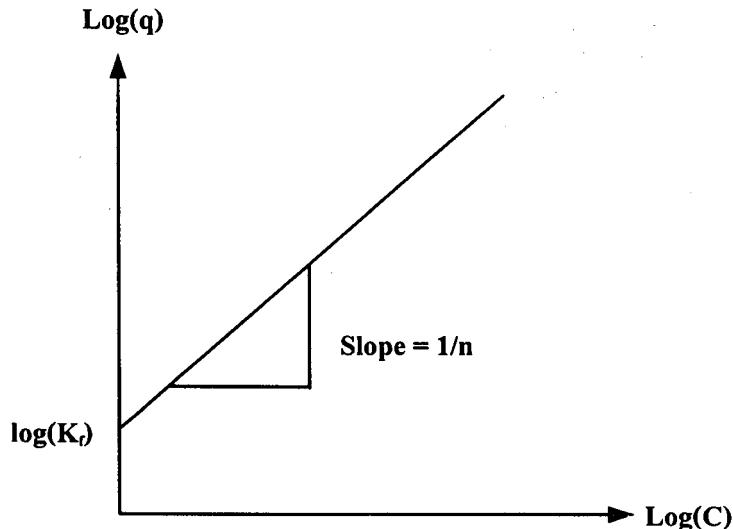
K_f = ค่าคงที่ของระบบ

$1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล หน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

เพื่อให้สามารถหาค่า K_f และ n ได้ด้วยวิธีเขียนกราฟจึงจำเป็นต้องใช้ Logarithm มาจากรูป
สมการใหม่ให้เป็นดังสมการนี้

$$\log(q) = \log(K_f) + \left(\frac{1}{n}\right) \log(C_e) \quad (2.7)$$



ภาพที่ 6 กราฟสำหรับสมการ (2.7) ของ Freundlich

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึม (Factors Influencing Adsorption)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมน้ำมันกับขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับเนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ผิวสามารถในการดูดซึมพิวของสารดูดซับ จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซึมพิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดซึม เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีพูนอัตราการดูดซึมพิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ แต่สำหรับสารดูดซับที่มีพูนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในพูนถูกควบคุมโดยขั้นตอนการขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซึมพิวจะเป็นอัตราส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับและในทางตรงข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซึมพิวการดูดซึมพิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของสารดูดซับ

2.6.1 ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorbate) การดูดซึมพิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลงเนื่องจากในกระบวนการดูดซึมพิวตัวถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายจะถูกคงอยู่จากตัวทำละลาย นอกจากนี้ถ้าอัตราการดูดซึมพิวถูกควบคุมด้วยอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงขนาดของโนเลกูลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซึมพิว อีกด้วย และขนาดของโนเลกูลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซึมพิว

2.6.1.1 พีเอช (pH) มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซึมพิว ด้วยนอกจากน้ำไฮโดรเจนไฮเดอโรกซิล ไอออนก็เป็นไฮอนที่สามารถดูดซึมพิวได้อย่างดี โดยทั่วไปแล้วการดูดซึมพิวของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อ pH การดูดซึมพิวของสารละลาย Alklybenzene Sulfonate (ABS) ในการดูดซึมพิวแบบต่อเนื่อง โดยใช้สารละลายที่มี pH เป็นกลางเข้าสู่ระบบ จนกระทั่งอัตราส่วนของสารในน้ำเข้า และน้ำออกเท่ากัน 0.55 และทำการปรับสารละลายให้มี pH เป็น 2.5 ลดจากค่า pH ทำให้การดูดซึมพิวเพิ่มขึ้น และลดความเข้มข้นของสารละลายลงอย่างรวดเร็ว

2.6.1.2 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมนี้มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซึมพิว กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซึมพิวจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้ เพราะการดูดซึมพิวเป็นแบบปฏิกิริยาความร้อน

2.6.1.3 ความปั่นป่วน (Mixing Speed) อัตราการดูดซึมพิวอาจขึ้นอยู่กับขั้นตอนการขอส่งผ่านฟิล์ม (Film Transport) และเข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนค่าฟิล์มของของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการ

2.7 ประเภทของสารคุณชั้นหรือสารคุณติดผิว

ประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic Compounds) เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียม ออกไซซ์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แล็กติเว็คเต็ดซิลิค้า (Activated Silica) เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม มีข้อเดียวกัน สามารถจับโนเลกูล หรือคลอสอลด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

2.7.1 ถ่านกัมมันต์ (Carbon) เป็นสารคุณติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์อื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำไปทำการรีเจนแนอร์ชันและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเดียวกัน การทำรีเจนแนอร์ตาร์บอนต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สีเปลี่ยนค่าใช้จ่าย และต้องมีการบอนบังส่วนสูญเสียไปเนื่องจากปั๊น glypt เป็นผลลัพธ์ของการนำไปใช้

2.7.2 สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบันพื้นผิว (Synthetic Exchangersins) สามารถคุณจับกับวัตถุอื่นที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซิน และเปลือกไข้อนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ

2.8 บทสรุป

ปัญหาน้ำพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่ทุกคนต้องทราบกัน ไม่ว่าจะสร้างจิตสำนึกในการปล่อยน้ำทึบออกสู่ชุมชน หรือแม้กระทั่งโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ยังต้องตระหนักอยู่เสมอว่า การปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลอง จะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทุกชีวิตระยะแก่ในลพิษทางน้ำอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับศักยภาพของแต่ละบุคคล หน่วยงานนั้นจะเลือกใช้วิธีบำบัดอย่างไรเพื่อทำให้คุณภาพน้ำมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม ในเบื้องต้นการบำบัดโดยหนักที่ปัจจุบันในแหล่งน้ำนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ตัวคุณชั้บที่ทำงานวัสดุธรรมชาตินี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซุ่งยากนัก และยังไม่ต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากในการบำบัด น้ำซึ่งจากการศึกษาพบว่าการคุณชั้บสารตะกั่วโดยใช้ใบหม่อน (Mulberry Leaves) จึงน่าจะเป็นประโยชน์อีกวิธีหนึ่งต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่และยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อที่จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2.8 บทสรุป

ปัญหานมพิษทางน้ำเป็นปัญหาที่ทุกคนต้องระหนักร่วมกัน ไม่ว่าจะสร้างจิตสำนึกในการปล่อยน้ำทึ่งอุดสูบน้ำ หรือแม้กระทั่งโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ขังต้องทะหนักอยู่เสมอว่า การปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำลำคลอง จะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทุกชีวิตระยะแก้ไขนมพิษทางน้ำอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับศักยภาพของแต่ละบุคคล หน่วยงานนั้นจะเลือกใช้วิธีบำบัดอย่างไรเพื่อทำให้คุณภาพน้ำมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม ในเบื้องของการบำบัดโลหะหนักที่ปัจจุบันในแหล่งน้ำนั้น การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการใช้ตัวดูดซับที่ทำจากวัสดุธรรมชาตินั้นก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซุ่งยากนัก และยังไม่ต้องใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำซึ่งจากการศึกษาพบว่าการดูดซับสารตะกั่วโดยใช้ใบหม่อน (Mulberry Leaves) จึงน่าจะเป็นประโยชน์อีกวิธีหนึ่งต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่และยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อที่จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

การดำเนินศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยมี 4 ปัจจัยที่ศึกษาคือปริมาณที่เหมาะสม ระดับ pH ที่เหมาะสม ระยะเวลาที่สั้นผัส และ ไอโซเทอมการดูดซับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารตะกั่ว โดยคุณประสิทธิภาพของใบหม่อนที่ใช้เป็นตัวดูดซับสารตะกั่ว ในน้ำเสีย ซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study) ในห้องปฏิบัติการ

3.1 รูปแบบการวิจัย

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary Study) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนที่จะนำมาใช้ในการดูดซับน้ำเสียที่มีสารตะกั่ว 10 มิลลิกรัม/ลิตร

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการหาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณใบหม่อนที่ได้จาก การศึกษาเบื้องต้นนำมาทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study)

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการหาระยะเวลาที่เหมาะสมระดับ pH ที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณใบหม่อนที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นนำมาทำการทดลองแบบทีละเท

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการหาไอโซเทอมของการดูดซับ โดยใช้ทฤษฎี Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm ในการเปรียบเทียบ

3.2 ตัวแปรที่ศึกษาและวัดตัวแปร

3.2.1 ตัวแปรคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ วัดโดยใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer หน่วยวัดคือ มิลลิกรัม/ลิตร

3.2.2 ตัวแปรอิสระ ได้แก่

3.2.2.1 ระดับ pH ในน้ำเสียสังเคราะห์ วัดเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.2.2.2 ระยะเวลาสัมผัส หน่วยวัดคือ นาที

3.2.2.3 อุณหภูมิ หน่วยวัดคือ องศาเซลเซียส

3.2.2.4 ความปั่นป่วน หน่วยวัดคือ รอบ/นาที

3.2.3 ตัวแปรตาม ได้แก่ค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการทดลองโดยใช้เครื่องมือ Atomic Absorption Spectrophotometer หน่วยวัดคือ มิลลิกรัม/ลิตร

3.3 สถานที่ทำการทดลองที่ปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1.1 ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven) รุ่น 1375 FX ยี่ห้อ Shel Lab บริษัท เดลตาแล็บนอร์ตอเรจ จำกัด

3.4.1.2 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น Analyst 200 ยี่ห้อ Perkin Elmer บริษัท Perkin Elmer

3.4.1.3 เครื่องเขย่าผสมสารเคมี (Shaker) รุ่น VS-8480SF บริษัท วิชั่น ไซแอนด์พิค จำกัด

3.4.1.4 ตู้ควบคุมความชื้น

3.4.1.5 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น LC 6201S ยี่ห้อ Sartorius บริษัท ไซแอนด์พิค จำกัด

3.4.1.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter) รุ่น PP25 ยี่ห้อ Sartorius

3.4.1.7 เครื่องปั่น รุ่น BE 122G ยี่ห้อ OTTO บริษัทอtot โต้ คิงส์คลาส จำกัด

3.4.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

3.4.2.1 ปิเพ็ต (Pipette)

3.4.2.2 บีกเกอร์ (Beaker)

3.4.2.3 กรวยพลาสติก (Funnel)

3.4.2.4 กระดาษกรองเบอร์ 1 Cat No 1001 055 บริษัทวอสแมน จำกัด

3.4.2.5 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask)

3.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.4.3.1 กรดไนโตริก (Nitric acid 10 M HNO₃)

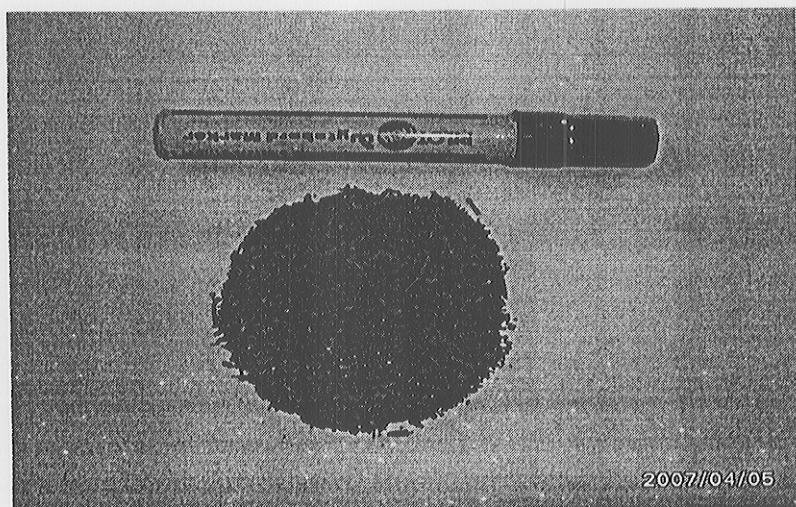
3.4.3.2 ตะกั่วไนเตรท (Pb(NO₃)₂)

3.4.3.3 น้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized Water หรือ DI)

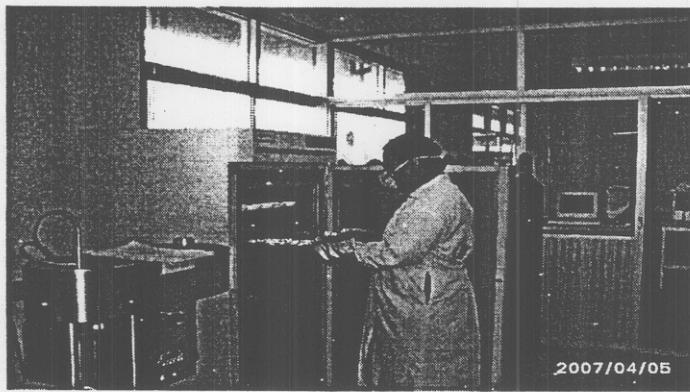
3.4.3.4 น้ำกลั่น

3.5 วิธีเตรียมใบหม่อนและนำเสียสังเคราะห์

3.5.1 การเตรียมใบหม่อน นำใบหม่อนไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปผึ้งให้แห้งจึงนำไปเข้าเตาอบ (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดและล่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10–20 Mesh แล้วเก็บในครื่องดูดความชื้น ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะของใบหม่อนก่อนทำการทดลอง



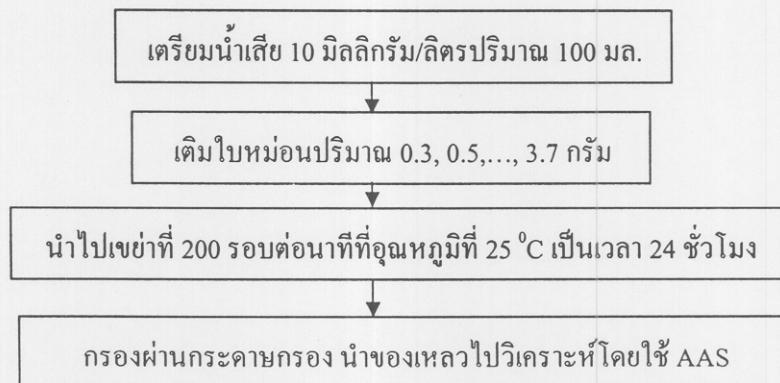
ภาพที่ 8 เตาอบ (Hot Air Oven)

3.5.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับตะกั่ว โดยขันแรกเตรียมสารละลายน้ำตรู่ฐานะ ตะกั่ว 500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยละลายตะกั่วในเทρท $(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$ 0.8038 กรัม ในกรดไนตريك (HNO_3) 10 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนให้ได้ 1 ลิตร แล้วจากนั้นค่อยนำสารละลายน้ำตรู่ฐานะเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ (วิธีการคำนวณที่ ภาคผนวก ข)

3.6 วิธีการทดลอง

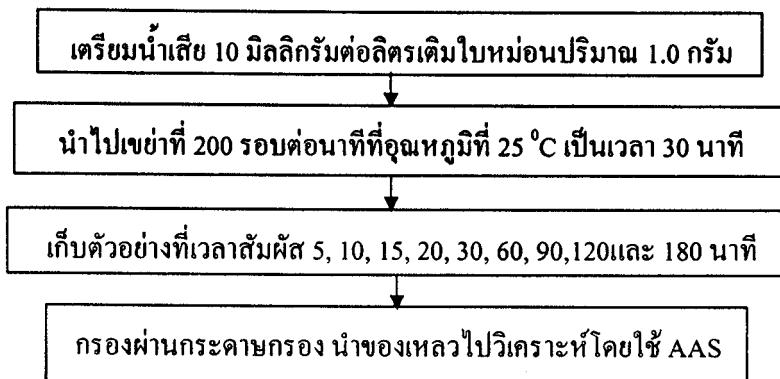
การศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Preliminary Study) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนที่จะนำมาใช้ในการคุณชับน้ำเสียที่มีสารตะกั่ว 10 มิลลิกรัม/ลิตร



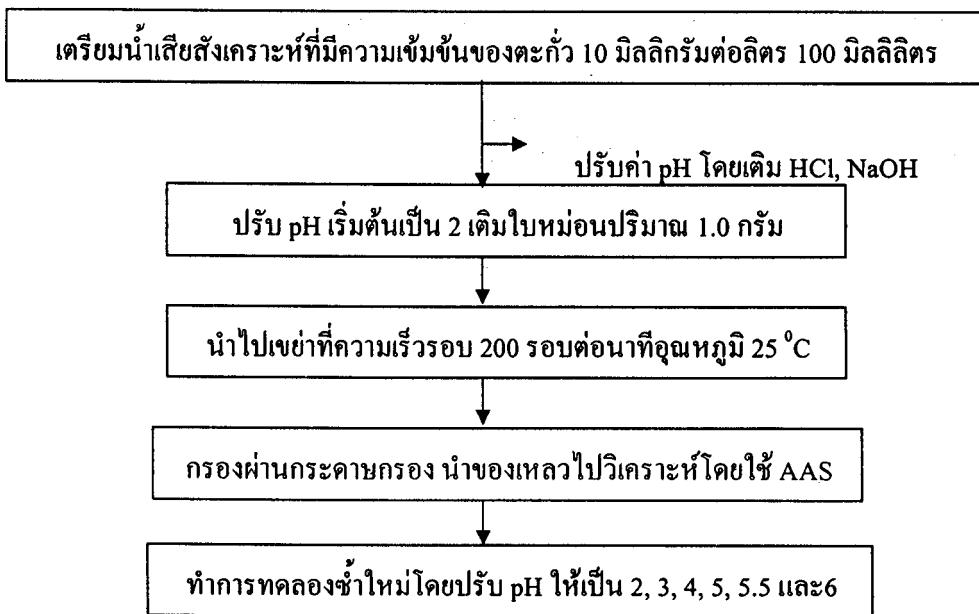
ภาพที่ 9 ขั้นตอนการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมในการคุณชับ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการหาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาณในหมื่นต่ำที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นนำมาทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study)



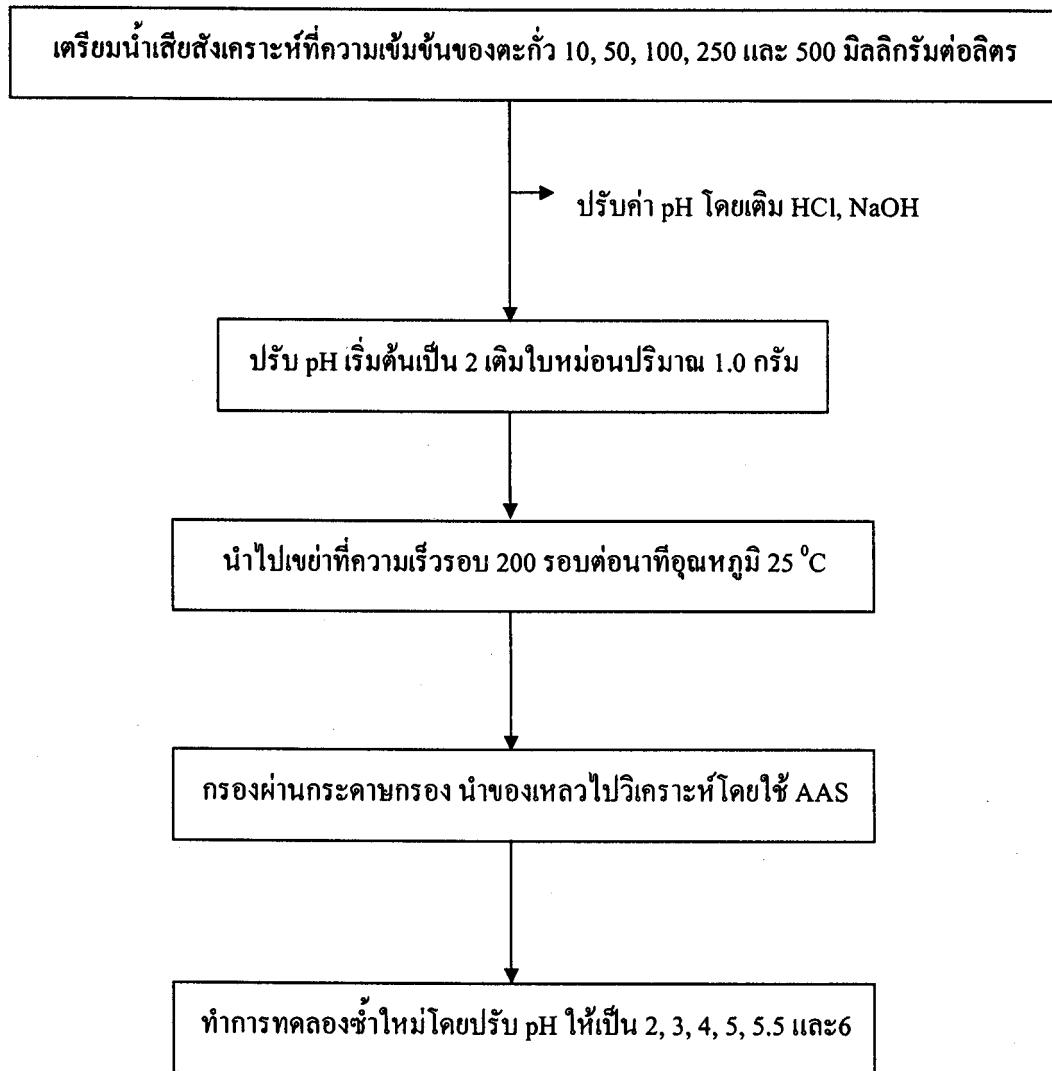
ภาคที่ 10 ขั้นตอนการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการหาระดับ pH ที่เหมาะสมโดยใช้ปริมาณในหมื่นต่ำที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นนำมาทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Study)



ภาคที่ 11 ขั้นตอนการทดลองหา pH ที่เหมาะสมในการคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ของไอโซเทอมของการดูดซับโดยใช้ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm



ภาพที่ 12 การหาความสัมพันธ์ของไอโซเทอมของการดูดซับโดยใช้ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

3.7 บทสรุป

จากการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ รวมทั้งการเตรียมสารเคมีที่จะนำไปใช้ในการทดลองดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อนำมาทำตาม (Preliminary Study) แล้วทำการทดลอง ทั้ง 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของไบหม่อนในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยเริ่มต้นที่ 0.3, 0.5, 0.7, ..., 4.1 กรัม เพื่อหาปริมาณการดูดซับที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองแบบ (Batch Study)

ขั้นตอนที่ 2 การหาเวลาที่เหมาะสมของไบหม่อนในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร โดยเริ่มต้นที่ 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที โดยทำการทดลองแบบ (Batch Study)

ขั้นตอนที่ 3 การหาระดับ pH ที่เหมาะสมของไบหม่อนในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร นำมาปรับ pH ให้เป็น 2, 3, 4, 5 และ 6 นำไปทดสอบกับไบหม่อนที่เตรียมไว้แล้วนำเข้าที่ 200 รอบ/นาที นำน้ำที่ได้ไปทดลองแล้ววัดหาปริมาณคงที่ โดยทำการทดลองแบบ (Batch Study)

ขั้นตอนที่ 4 การหา Isotherm ของการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับที่เกิดขึ้น

จากบทสรุปของขั้นตอนในการทดลองต่าง ๆ และผลการทดลองที่ได้ดังจะนำเสนอในบทต่อไป

บทที่ 4

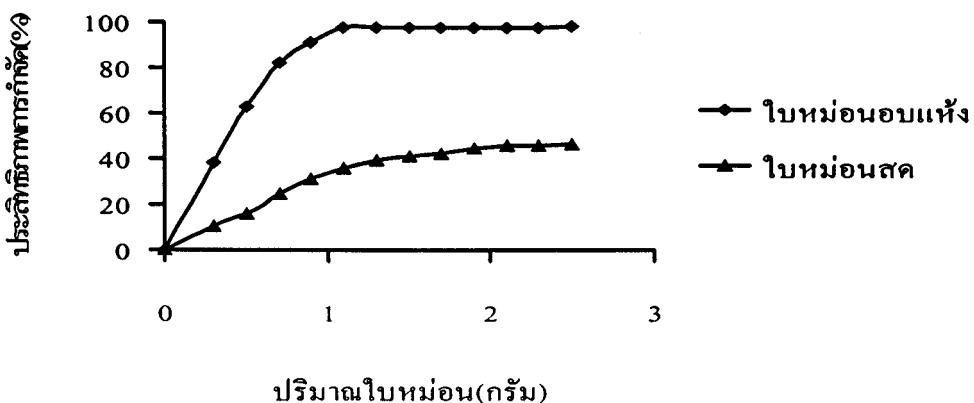
ผลการศึกษาและวิจารณ์

จากการทดลองนำใบหม่อนมาอบแห้งนำไปคุณซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ การทดลองนี้ได้ศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนในเบื้องต้นก่อน หลังจากนั้นจึงทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับตะกั่วของใบหม่อน ผลของการทดลองระบุว่าสารสัมผัสปริมาณต้มผัก ผลของ pH และผลของไอโซเทอโนนในการดูดซับ

4.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหม่อนอบแห้งและใบหม่อนสดในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของใบหม่อนอบแห้งและใบหม่อนสดที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณใบหม่อน (กรัม)	ประสิทธิภาพการกำจัด(%)	
	ใบหม่อนอบแห้ง	ใบหม่อนสด
0.30	38.132	10.772
0.50	62.866	16.116
0.70	82.424	24.967
0.90	89.322	31.223
1.10	97.025	35.674
1.30	97.513	39.130
1.50	97.474	40.988
1.70	97.819	42.355
1.90	97.441	44.913
2.10	97.483	45.763
2.30	97.810	46.014
2.50	98.025	46.273



ภาพที่ 13 กราฟแสดงประสิทธิภาพระหว่างใบหมู่บ้านสคและใบหมู่บ้านแห่ง

จากการทดลองนี้พบว่าใบหมู่บ้านสค มีประสิทธิภาพน้อยกว่าใบหมู่บ้านแห่ง โดยที่ใบหมู่บ้านสค ใช้ปัจจัย 2.3 กม. มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 46.014 % ซึ่งใบหมู่บ้านแห่งใช้ปัจจัย 1.1 กม. มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 96.922 % ดังนั้นในการทดลองนี้จึงนำอาณาเขตใบหมู่บ้านแห่งมาใช้ในการทดลอง

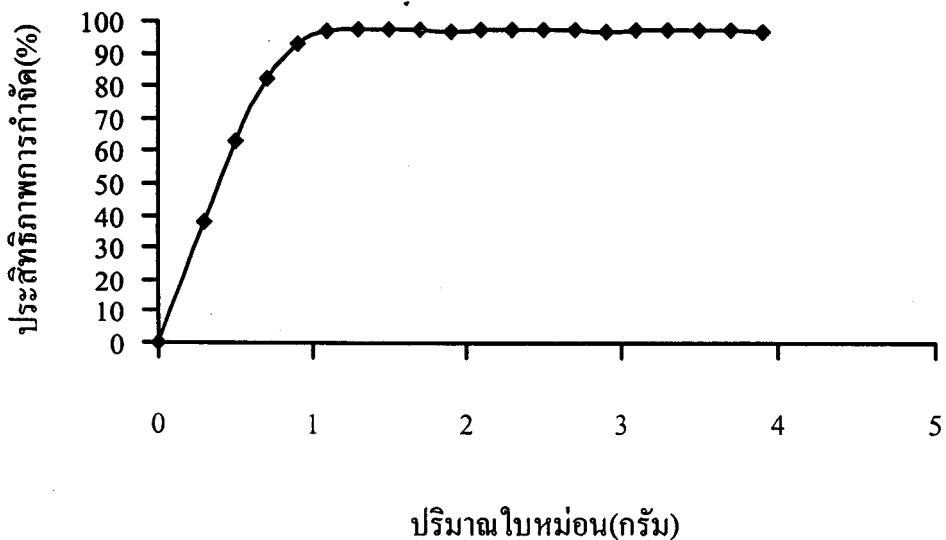
4.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหมู่บ้านแห่งในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของใบหมู่บ้านที่ผ่านการอบในการดูดซับตะกั่วจากการนำใบหมู่บ้านที่มีปริมาณต่าง ๆ มาดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลตามตารางที่ 1 และภาพที่ 14 พบว่า ในช่วงที่ปริมาณใบหมู่บ้าน 0.30 ถึง 0.70 กม. ประสิทธิภาพการดูดซับสารตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนกรัมที่เพิ่มขึ้นของใบหมู่บ้าน ส่วนในช่วงที่สอง ที่ปริมาณตั้งแต่ 0.70 ถึง 0.90 กม. ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 1.1 มิลลิกรัม โดยใบหมู่บ้านที่มีปริมาณ 1.1 กม. จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด คือ 97.012% เมื่อคุณค่าปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อปริมาณใบหมู่บ้าน ค่าที่ได้จะเห็นว่าเมื่อปริมาณใบหมู่บ้านมีค่ามากขึ้นค่าปริมาณสารตะกั่วที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มมากขึ้นด้วย และผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ (อรัญ ขวัญปาน, 2547) โดยงานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดซับผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกลาญูกตาล โคนด เพิ่มตัวดูดซับซึ่งตัวดูดซับที่ใช้ซึ่งแนวโน้มของ Graf ที่ได้ คือ เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นค่าปริมาณสารตะกั่วที่ถูกดูดซับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกันจึงอาจสรุปได้ว่า ปริมาณใบหมู่บ้านมากขึ้นปริมาณสารตะกั่วที่ถูกดูดซับก็

มากขึ้นตาม นั่นก็อาจเป็นเพาะปริมาณสารตะกั่วมีปริมาณคงที่แต่ปริมาณใบหน่อน มีปริมาณมาก ขึ้นดังนั้นปริมาณสารตะกั่วที่อยู่คุณซับมีปริมาณน้อยลงจนหมด

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของใบหน่อนที่ปริมาณต่าง ๆ ในการคุณซับตะกั่ว

ปริมาณใบหน่อน (กรัม/100 มล.)	ความเข้มข้นที่เหลือของสารตะกั่ว (มก./ก.)	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว (%)
0.30	6.187	38.135
0.50	3.714	62.866
0.70	1.758	82.423
0.90	1.068	91.621
1.10	0.258	97.2
1.30	0.249	97.218
1.50	0.253	97.472
1.70	0.219	97.816
1.90	0.256	97.445
2.10	0.252	97.481
2.30	0.219	97.819
2.50	0.251	97.492
2.70	0.219	97.815
2.90	0.256	97.449
3.10	0.249	97.513
3.30	0.253	97.471
3.50	0.254	97.466
3.70	0.229	97.716



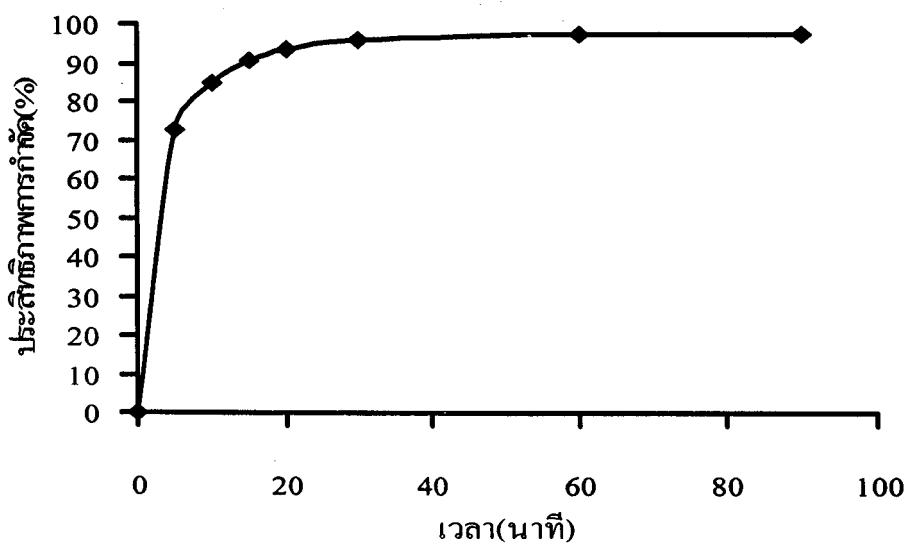
ภาพที่ 14 กราฟระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดสารตะกั่ว กับปริมาณต่าง ๆ ของใบหม่อน

4.3 การหาเวลาที่เหมาะสมของใบหม่อนในการคุดชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมของใบหม่อนที่ผ่านการอบในการคุดชับตะกั่ว จากการนำใบหม่อนมาคุดชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า ในช่วงเวลา 5 - 20 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาในการคุดชับระหว่างสารตะกั่วกับพื้นที่ผิวสัมผัสของใบหม่อน (Absorbent) มีมากซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด 93.482% ส่วนในช่วงที่สอง ที่เวลาเดี๋ยวกัน 20 - 27 นาทีประสิทธิภาพการกำจัดสารตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เดี๋ยวกันนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาในการคุดชับระหว่างสารตะกั่วกับพื้นที่ผิวสัมผัสของใบหม่อน มีน้อยลงซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด 95.481 % และเข้าสู่สมดุลที่เวลา 30 นาที โดยที่ใช้ปริมาณใบหม่อนที่ 1.1 กรัม จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วสูงที่สุด คือ 96.922% เมื่อคุณค่าปริมาณตะกั่วที่ถูกคุดชับต่อเวลา ค่าที่ได้จะเห็นว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นค่าปริมาณสารตะกั่วที่ถูกคุดชับมีแนวโน้มมากขึ้นดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 15 จึงสรุปได้ว่า เวลามากขึ้นปริมาณสารตะกั่วที่ถูกคุดชับก็มากขึ้นตามนั้นก็อาจเป็นเพราะปริมาณสารตะกั่วมีปริมาณคงที่แต่ปริมาณใบหม่อนที่ผ่านการอบมีปริมาณมากและความชื้นในใบหม่อนมีน้อยดังนั้นสารตะกั่วที่ถูกคุดชับมีปริมาณมากขึ้น

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่วของไนฟอนที่เวลาต่าง ๆ

ระยะเวลา (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือของสารตะกั่ว (มก./ก.)	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว (%)
5	2.742	72.583
10	1.534	84.665
15	0.913	90.877
20	0.652	95.486
30	0.394	96.111
60	0.267	97.335
90	0.253	97.477
120	0.249	97.512
150	0.252	97.486
180	0.253	97.473



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่วของไนฟอนที่เวลาต่าง ๆ

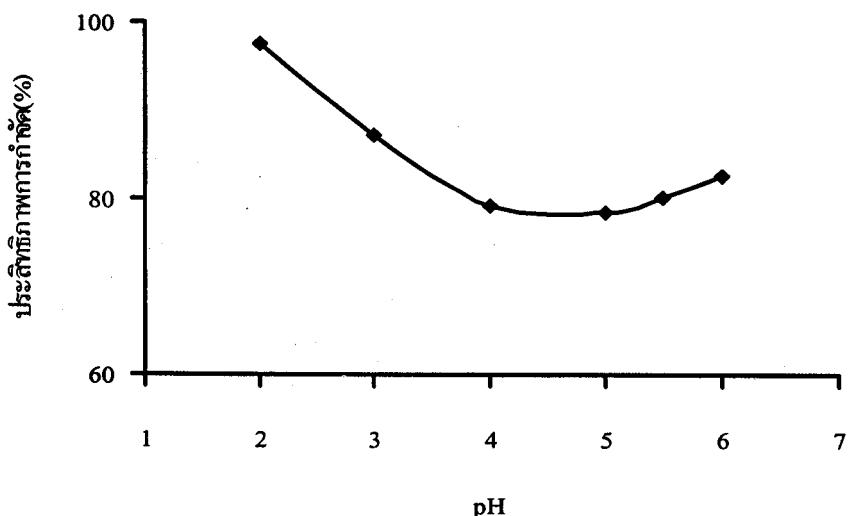
4.4 pH ที่มีผลต่อการคุณชับตะกั่ว

ผลของ pH ที่มีผลต่อการคุณชับโดยใช้ในหม้อนหนัก 1.1 กรัม ในการคุณชับสารตะกั่ว สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตรของสารละลาย 100 มิลลิลิตร ที่ pH ต่างๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการคุณชับก็เพิ่มขึ้นด้วยและเริ่มเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของการหาเวลาที่เหมาะสมในการคุณชับ และจากผลการทดลองที่ pH แตกต่างกัน ประสิทธิภาพการกำจัดก็แตกต่างกันด้วย โดยที่ pH 2 ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดที่ 97.464% เพราะที่ pH 2 ประจุที่พิเศษอยู่ในหม้อนแตกตัวได้มากกว่า pH อื่นจึงทำให้เกิดการคุณชับที่มากกว่า pH อื่น ๆ ที่ pH 3-5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลงตามลำดับเนื่องจากที่ pH 3-5 ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอโอดอน (OH^-) มากขึ้นซึ่งอาจสามารถจับกับประจุบวกของตะกั่วได้จึงทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างการจับของประจุบวกของตะกั่วกับประจุของไนโตรเจน ในหม้อน และการจับกันของประจุบวกของตะกั่ว กับไฮดรอกไซด์ไอโอดอนประสิทธิภาพการคุณชับประจุบวกของตะกั่วในในหม้อนจึงลดลง เมื่อ pH เพิ่มขึ้นประจุที่พิเศษในหม้อนมีการแตกตัวของไฮดรอกไซด์ไอโอดอน (OH^-) มากขึ้นและเริ่มนีการตกตะกอนของตะกั่วที่ pH 5.5 ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นที่ pH 5.5 จึงมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเด่นอย่างมาก ที่ pH 6 ปริมาณการตกตะกอนของตะกั่วเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นด้วย

จากการทดลองจะเห็นว่า pH 5 ตะกั่วจะเริ่นตกตะกอนเล็กน้อย และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง pH 9 ตะกั่วจะเหลืออยู่ในสารละลายเพียงร้อยละ 9 จากความเข้มข้นเริ่มต้น จากการศึกษาของ (ลลิตา นิทศนจารุกุล, 2544) พบว่าสารตะกั่วของ (Pb(OH)_2) จะเริ่นตกตะกอนที่ pH 5.5 และจะกลับละลายใหม่ที่ pH 12-13 จากการทดลองพบว่า การตกตะกอนของ (Pb(OH)_2) ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองยังพบว่า เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 100 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ปรับค่า pH ให้เท่ากัน 6, 7, 8 และ 9 ซึ่งเป็นค่า pH มาตรฐานของน้ำทึบด้วยสารละลายกรดในตระกูลและไฮเดรนไฮดรอกไซด์แล้ว เทิ่นผงถ่านกัมมันต์ปริมาณเท่ากัน 1.0 กรัม นำขวดไปเบี่ยวนเครื่องเบี่ยง แยกผงถ่านออกโดยนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง แล้วนำน้ำเสียไปวัดค่า pH และปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ พบร่วมกับความสามารถจับปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้เนื่องจากตะกั่วที่อยู่ในสารละลายตกตะกอนและถังอยู่บนกระดาษกรองเมื่อนำน้ำเสียหลังจากการเบี่ยงและกรองแยกถ่านออกมารวบค่าความเป็นค่า พบร่วมค่า pH ของน้ำเสียอยู่ในช่วง 7-8 ซึ่งเป็น pH ในช่วงการตกตะกอนของตะกั่ว

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 30 นาที ที่ pH ระดับต่าง ๆ

pH	ประสิทธิภาพการกำจัดที่ pH ต่าง ๆ
2	97.464
3	87.162
4	79.223
5	78.581
5.5	80.162
6	82.681

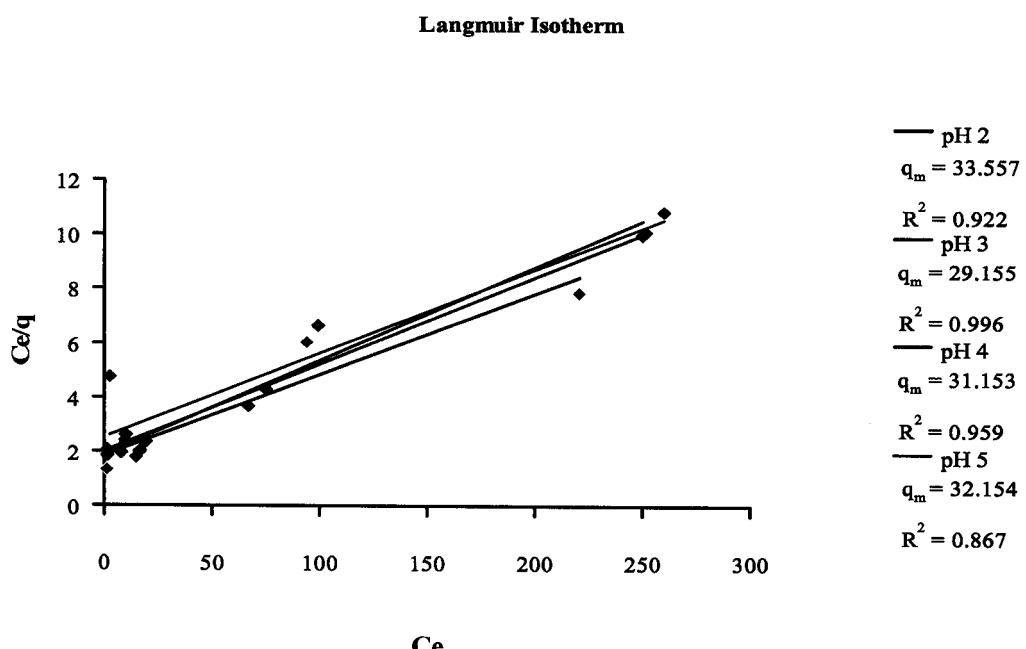


ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 30 นาที ที่ระดับ pH ต่าง ๆ

4.5 ไอโซเทอโนมของการถูกดูดซึม

การศึกษาอิทธิพลของปริมาณในหม้อนต่อการถูกดูดซึมตัวละกัว จากในหม้อนในอัตราส่วนที่ได้จากขั้นต้น นำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 10, 50, 100, 250, 500 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้เท่ากัน 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่เติมในหม้อนปริมาณ 1.1 กรัม

นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำเสียไปกรองเพื่อวัดหาปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง AAS

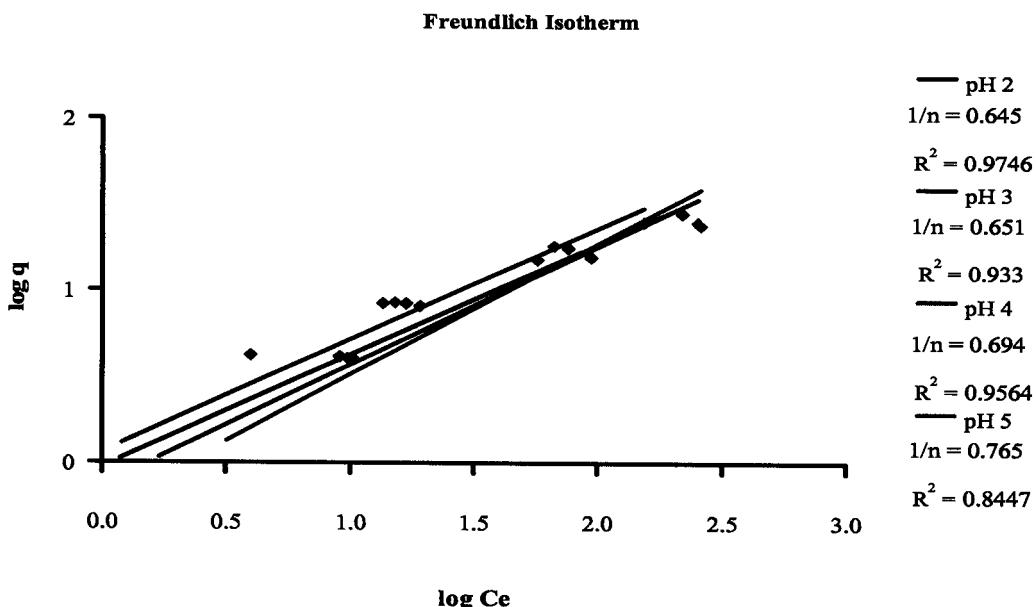


ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ pH ต่าง ๆ ตาม Langmuir Isotherm

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ pH ต่าง ๆ ตาม Langmuir Isotherm

	ประสิทธิภาพที่ pH			
	2	3	4	5
q_m	33.557	29.155	31.153	32.154
R^2	0.922	0.996	0.959	0.867

แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ ไอโซเทอมการคุณภาพแบบสมการลงเมี้ยร์ ไอโซเทอมและสมการฟรุนเดิล ไอโซเทอม ดังภาพที่ 17-18 ซึ่งจากราฟการหา ไอโซเทอมการคุณภาพของสารตะกั่ว พบร่วมกับ ไอโซเทอมการคุณภาพของสารตะกั่วจะเข้ากันแบบสมการลงเมี้ยร์ ไอโซเทอม



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว กับ pH ตาม Freundlich Isotherm ที่ระดับต่าง ๆ

โดยสมการແลงเมียร์ໄโอโซเทอม ได้ค่า q_m ปริมาณของตัวถูกละลายต่อน้ำหนักของสาร crud ซึ่ง มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/กรัม ที่ pH 2, 3, 4, 5, และ 6 จะได้ค่า q_m เท่ากับ 33.557, 29.155, 31.152 และ 32.154 พบร่วมค่าที่ได้จะสอดคล้องกับการหาค่า pH ที่เหมาะสมในการดูดซับในเบื้องต้นซึ่ง ประสิทธิภาพการดูดซับจะดูดซับได้ดีที่ pH 2 และประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลงแล้วเพิ่มขึ้น เล็กน้อยตามลำดับ (ดังข้อมูลดิบในผลการทดลองที่ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ระดับต่าง ๆ pH ตาม Freundlich Isotherm

pH	ประสิทธิภาพที่ pH			
	2	3	4	5
1/n	0.645	0.651	0.694	0.765
R^2	0.975	0.933	0.956	0.845

4.6 บทสรุป

จากผลการทดลองแบบ (Batch Study) ของแต่ละขั้นตอนต่าง ๆ ได้ว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ 1.1 กรัมมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ 96.922%

ผลของการหาเวลาที่เหมาะสมของใบหม่อนในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่เวลา 30 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ 97.111%

ผลของการหาระดับ pH ที่เหมาะสมของใบหม่อนในการดูดซับที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ pH 2 ดูดซับได้ดีมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ 97.464%

ซึ่งทั้ง 3 ผลการทดลองได้นำเสนอเป็นผลงานทางวิชาการในงาน การประชุมวิชาการ วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 วันที่ 16-18 ตุลาคม 2549 โรงแรมรามาการ์ดเดน จ.กรุงเทพฯ (ภาคผนวก ค)

การหา Isotherm ของการดูดซับที่ pH 2 โดยใช้สมการของ Langmuir จะได้ค่า $R^2 = 0.922$, $q_m = 33.557$ มิลลิกรัม/กรัม และ Freundlich จะได้ค่า $R^2 = 0.974$, $K_f = 0.945$, $1/n = 0.645$

จากการศึกษาพบว่าใบหม่อนสามารถนำมารีไซเคิลได้ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำหม่อนพันธุ์ หม่อนสร้อยมาเป็นตัวดูดซับตะกั่วและในอดีตหม่อนสร้อยได้มีการส่งเสริมและเป็นที่นิยมปลูกแต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ที่ตรงกับความต้องการ เช่น พันธุ์บูรีรัมย์ 60 เพื่อนำไปผลิตเป็นชาหม่อน และมีคุณค่าทางอาหารสำหรับเลี้ยงไก่ทำให้พันธุ์หม่อนสร้อยไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบันดังนั้นหม่อนสร้อยจึงเหมาะสมที่จะนำมาเป็นช่วงเวลาในการดูดซับ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในหม่อน (Mulberry Leaves) คุณภาพได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 1.1 กรัม สามารถดูดซับสารตะกั่วได้ 96.922% ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งการหาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วพบว่าที่เวลา 30 นาที สามารถกำจัดได้ 97.012% และในการหาค่า pH ที่เหมาะสมพบว่าในหม่อนที่มีประจุลบที่ผิวจะดูดซับได้ดีที่สภาวะที่เป็นกรดซึ่งที่ pH 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วได้ 97.464% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วดีที่สุดซึ่งเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที (ดังภาพที่ 15) และ pH 3 การกำจัดตะกั่วลดลงจนถึง pH 4, pH 5 มีแนวโน้มในการกำจัดลดลงตามลำดับและเมื่อถึง pH 5.5 - 6 ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เดี๋ยวนี้อย่างน้อยในการทดลองครั้งนี้ pH มีผลอย่างมากในการดูดซับของหม่อน จากไอโซเทอมของการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) มีปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวคุณภาพ ณ สภาวะสมดุลที่ pH 2 ซึ่งมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดที่ $q_m = 33.557 \text{ mg/g}$, $R^2 = 0.922$ และที่ pH 3, pH 4 มีประสิทธิภาพการดูดซับลดลงตามลำดับและที่ pH 5 มีประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์และมีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาทางค้านอุตสาหกรรมต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.2.1 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุต่างๆ ที่เหลือใช้จากการเกษตร เช่น ชั้งข้าวโพด ฟางข้าว จี๊เดียว ผักตบชวา และอื่นๆ ที่มีอยู่ในประเทศไทยอย่างมากหลายเพื่อเป็นการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นการเพิ่มนูกลคำ

5.2.2 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของใบหม่อนในการดูดซับตะกั่วจากแหล่งในธรรมชาติเพื่อนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

5.2.3 ควรมีการทดลองสักด้าร์ โพลีฟีนอลออกไซด์ในหม่อนเพื่อนำมาทำการดูดซับตะกั่วและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ

ເອກສາຣອ້າງອີງ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2535 ข้อกำหนดทางกฎหมายที่ต้องมีใน พ.ร.บ สิ่งแวดล้อมฉบับใหม่ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับด้านมลพิษ. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข. 2543 ข้อกำหนดทางด้านสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม
กรมอนามัย.องค์การทหารผ่านศึก : กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โภจน์. 2533 วิชกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 2. มิตรนราการพิมพ์ : นนทบุรี
จันทร์หอม ปัตตายะ โส และนารีรัตน์ แบ่งขัน. 2547 การกำจัดเหล็กออกจากน้ำโดยใช้การกรองผ่าน
กากรในหม้อน. ว.ท.บ. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
จันทร์ฉาย อึ้งอุดรภักดี. 2541 การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานแนวต่อเรื่องโดยใช้ชูปถูกайและ
ฟองข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
คณะสารสนเทศศาสตร์ : มหาวิทยาลัยมหิดล.

จาเรวะรณ สมศิริ และทองสา ราชานเดช. 2538 คุณภาพน้ำและโลหะตกค้างในดินตะกอนและในสัตว์
น้ำบางชนิดจากแม่น้ำเจ้าพระยา. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง เอกสารวิชาการ
ฉบับที่ 172.

ธงชัย ภู่ชินานันท์. 2526 การสะสูดของตะกั่วในผักบุ้งและพักระเนคจากแหล่งน้ำผิดนิ.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะ
สารสนเทศศาสตร์ : มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประสิทธิ์ แพ้วบาง และอร ไห สุขเจริญ. 2545 การเปรียบเทียบการคุณชั้นตะกั่ว(2+) โดยใช้ปลีก
ไบและเกล็ดปลา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีที่ 7
ฉบับที่ 2 กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุกเวศน์. 2539 การประปา เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพฯ.
ไมครี สุทธิจิตต์. 2532 สารพิมรองตัวเรา. โรงพิมพ์ดาว : กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยมหิดล, ภาควิชาเคมีชีวินิจฉัย. 2534 ยาและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ. คณะเภสัชศาสตร์:
กรุงเทพฯ.

รัชนีกร กลางการ. 2540 การกำจัดเหล็กออกจากน้ำโดยวิธีการกรองผ่านกากรใบชา. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (สารสนเทศศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยและ
สิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยมหิดล.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

เรื่องเอกสารอ้างอิงวิเคราะห์ โพธิ์นุล. 2545 การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบบเทอร์่โดยใช้ถ่าน

แก๊บค่า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คลิดา นิทศจารุกล. 2544 การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการกรุดคิดผิวโดยใช้

ถ่านกัมมันต์ที่เหลือใช้จากการเกย์ทร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมพูด กฤตลักษณ์. 2532 ผลกระทบของตะกั่วต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์, กรมควบคุมมลพิษ

(จุดติดสภาวะแวดล้อม).

อรัญ ขวัญปาน. 2547 การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการกรุดคิดผิวโดยใช้ถ่านกัม

มันต์จากการทดลองในดิน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สาระนิตย์สุข

ศาสตร์) สาขาวิชาอนามัยและสิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัยมหิดล.

สำพร อัญทรงกรรມ. 2534 การศึกษาความผันแปรของปริมาณตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยาจากจังหวัด

นครศรีธรรมราชถึงจังหวัดสมุคปรากฏ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต :

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Chen,J.P.and Wang,X. 2000 Removing copper,zinc and lead ion by granular activated carbon in pretreated fixed-bed columns.Separation and Purification Technology, New York.

Esposito, A., Pagnanelli, F., Beolchini, F., Dovi, V., Veglio, F. 2001 Cadmium and copper biosorption on Sphaerotilus natans: influence of pH and biomass and concentration on the biosorption modeling, Hydrometallurgy. 60, 129–141.

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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลและการทดสอบ

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลและผลการทดสอบ

ตารางที่ ก-1 ผลของปริมาณใบหมื่นที่ปริมาณต่างๆ ในการคุณซับตะกั่ว

ปริมาณ (กรัม)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว (มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการ กำจัดตะกั่ว (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
0.3	10.0	6.187	5.997	6.687	38.136
0.5	10.0	3.723	3.614	3.721	62.865
0.7	10.0	1.858	1.689	1.758	82.426
0.9	10.0	1.251	1.009	1.068	89.321
1.1	10.0	0.348	0.209	0.258	96.922
1.3	10.0	0.226	0.347	0.249	97.219
1.5	10.0	0.186	0.328	0.253	97.477
1.7	10.0	0.289	0.182	0.219	97.816
1.9	10.0	0.212	0.326	0.256	97.445
2.1	10.0	0.402	0.128	0.252	97.483
2.3	10.0	0.315	0.176	0.219	97.814
2.5	10.0	0.298	0.219	0.251	97.492
2.7	10.0	0.301	0.201	0.219	97.818
2.9	10.0	0.248	0.316	0.256	97.446
3.1	10.0	0.348	0.592	0.249	97.518
3.3	10.0	0.275	0.234	0.253	97.475
3.5	10.0	0.357	0.189	0.254	97.462
3.7	10.0	0.356	0.204	0.229	97.710

ตารางที่ ก-2 ผลของเวลาต่างๆ ในการคุณซัมตะกั่ว

ระยะเวลา สัมผัส (นาที)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของตะกั่ว(มก./ล.)	ความเข้มข้นที่เหลือของตะกั่ว (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการกำจัด ตะกั่ว(%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
5	10.0	2.742	2.831	2.782	72.583
10	10.0	1.534	1.724	1.634	84.661
15	10.0	0.913	0.613	0.763	90.874
30	10.0	0.701	0.652	0.672	95.482
60	10.0	0.394	0.345	0.364	97.112
90	10.0	0.367	0.294	0.347	97.336
120	10.0	0.272	0.251	0.253	97.471
150	10.0	0.279	0.237	0.249	97.512
180	10.0	0.313	0.262	0.252	97.486

ตารางที่ ก-3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว กับ pH ต่างๆ

เวลา นาที	ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ pH ต่างๆ					
	2	3	4	5	5.5	6
5	72.581	74.540	71.171	67.330	68.165	69.770
10	84.665	78.448	73.405	72.331	73.873	73.032
15	90.873	82.621	75.866	75.736	77.160	76.531
20	93.986	84.880	78.363	76.392	79.713	78.274
30	97.464	87.162	79.980	78.581	80.126	82.681
60	97.462	88.768	81.825	79.985	82.716	83.681
90	97.475	89.115	82.330	80.486	83.195	85.013

ก-1 สมการของ Langmuir

$$\text{จาก } q = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e}$$

เมื่อ q = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สถานะสมดุล

q_m = ปริมาณของสารถูกดูดซับ/ปริมาณของตัวดูดซับ ณ สถานะสมดุล

b = ค่าคงที่ของการดูดซับ, ลิตรของตัวดูดซับ/มก.ของสารถูกดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายนมก./ล.

C_i = ความเข้มข้นเริ่มต้น

ตารางที่ ก-4 สมการของ Langmuir ที่ pH 2

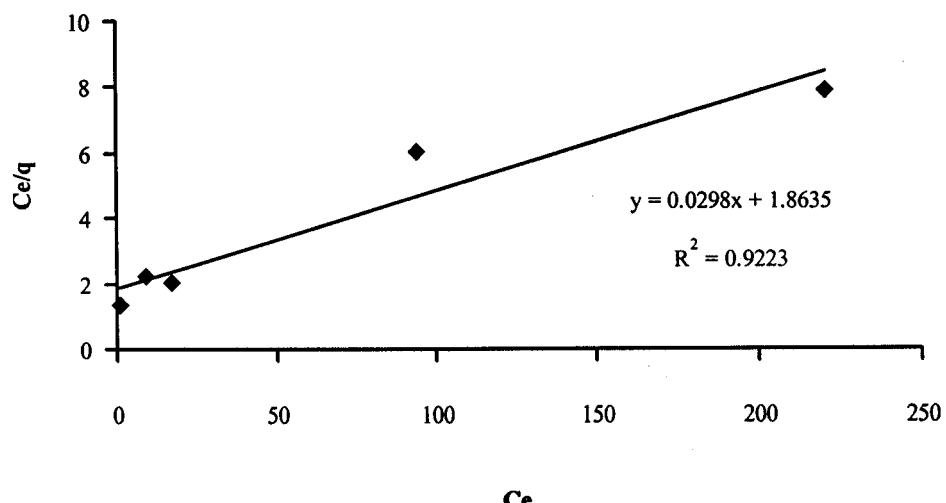
ใน หม้อน (กรัม)	V (ลิตร)	C _i (มก./ล)	C _e (มก./ล)	C _i -C _e (มก./ล)	(C _i -C _e)*V (มก.)	$q = \frac{[(C_i - C_e) * V]}{M_s}$	C _e /q	q _c
0.30	0.030	10.0	1.183	8.817	0.265	0.882	1.342	0.623
0.30	0.030	50.0	9.107	40.893	1.227	4.089	2.227	4.266
0.30	0.030	100.0	16.860	83.140	2.494	8.314	2.028	7.126
0.30	0.030	250.0	94.000	156.000	4.680	15.600	6.026	20.151
0.30	0.030	500.0	220.475	279.525	8.386	27.953	7.887	26.142

จะได้ $q_m = 33.557$

$$b = 0.017$$

$$R^2 = 0.922$$

Langmuir isotherm



ภาพที่ ก-1 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 2

ตารางที่ ก-5 สมการของ Langmuir ที่ pH 3

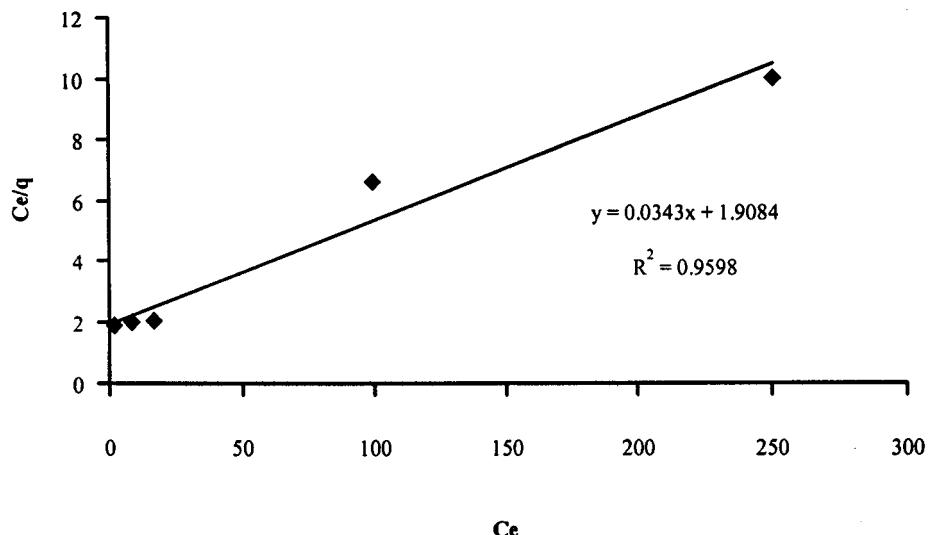
ไบ หม่อน (กรัม)	V (ลิตร)	C _i (มก./ล)	C _e (มก./ล)	C _i -C _e (มก./ล)	(C _i -C _e)*V (มก.)	$q = \frac{[(C_i - C_e) * V]}{M_s}$	C _e /q	q _c
0.30	0.030	10.0	2.561	7.439	0.223	0.744	3.443	0.970
0.30	0.030	50.0	9.168	40.832	1.225	4.083	2.245	3.198
0.30	0.030	100.0	16.740	83.260	2.498	8.326	2.011	5.354
0.30	0.030	250.0	97.625	152.375	4.571	15.238	6.407	16.545
0.30	0.030	500.0	230.275	269.725	8.092	26.973	8.537	22.035

$$q_m = 29.155$$

$$b = 0.017$$

$$R^2 = 0.959$$

Langmuir isotherm



ภาพที่ ก-2 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 3

ตารางที่ ก-6 สมการของ Langmuir ที่ pH 4

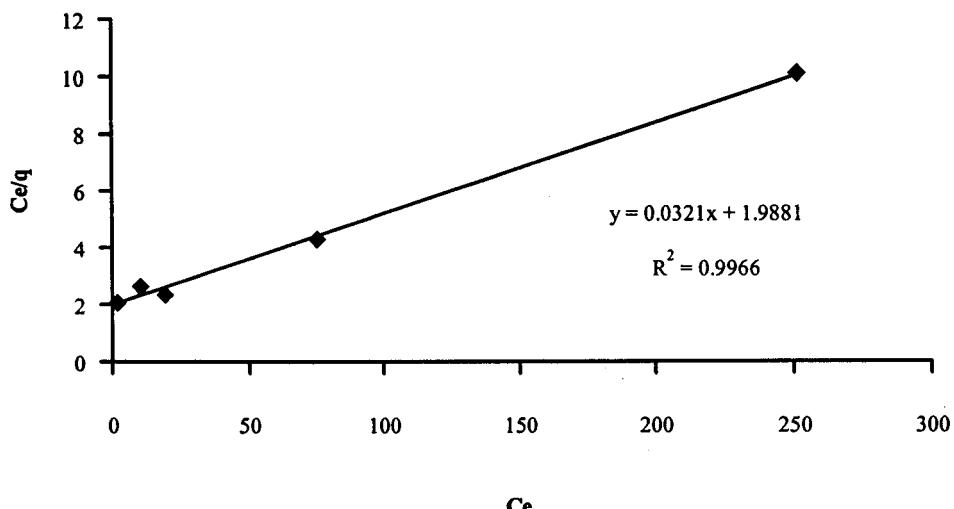
ใน หม้อน (กรัม)	V (ลิตร)	C_i (มก./ล)	C_e (มก./ล)	$C_i - C_e$ (มก./ล)	$(C_i - C_e) * V$ (มก.)	$q = \frac{[(C_i - C_e) * V]}{M_s}$	C_e/q	q_e
0.30	0.030	10.0	1.709	8.291	0.249	0.829	2.061	0.837
0.30	0.030	50.0	10.350	39.650	1.190	3.965	2.610	4.461
0.30	0.030	100.0	19.070	80.930	2.428	8.093	2.356	7.334
0.30	0.030	250.0	75.275	174.725	5.242	17.473	4.308	17.091
0.30	0.030	500.0	251.250	248.750	7.463	24.875	10.101	24.992

$$\text{จะได้ } q_m = 31.152$$

$$b = 0.014$$

$$R^2 = 0.996$$

Langmuir isotherm



ภาพที่ ก-3 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 4

ตารางที่ ก-7 สมการของ Langmuir ที่ pH 5

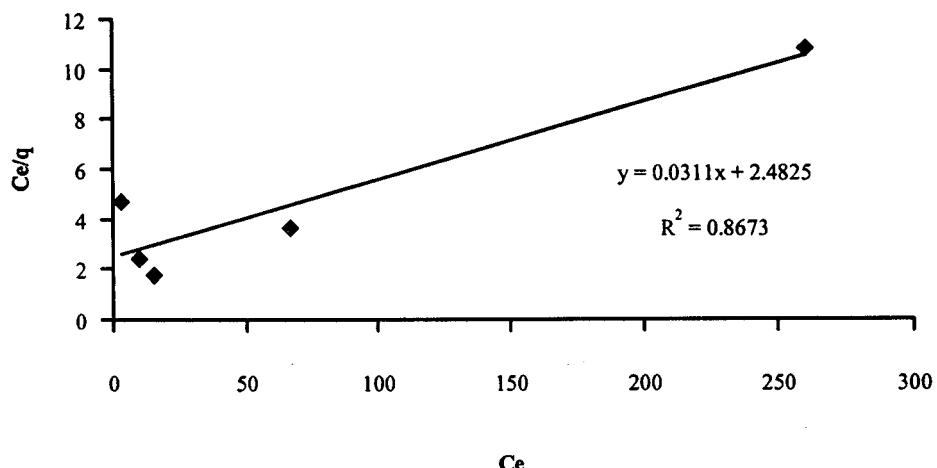
ไบ หม้อน (กรัม)	V (ลิตร)	C _i (มก./ล)	C _e (มก./ล)	C _i -C _e (มก./ล)	(C _i -C _e)*V (มก.)	$q = \frac{[(C_i - C_e) * V]}{M_s}$	C _e /q	q _e
0.30	0.030	10.0	3.209	6.791	0.204	0.679	4.725	1.243
0.30	0.030	50.0	9.760	40.240	1.207	4.024	2.425	3.503
0.30	0.030	100.0	15.160	84.840	2.545	8.484	1.787	5.132
0.30	0.030	250.0	66.975	183.025	5.491	18.303	3.659	14.670
0.30	0.030	500.0	260.270	239.730	7.192	23.973	10.857	24.607

จะได้ $q_m = 32.154$

$b = 0.015$

$R^2 = 0.867$

Langmuir isotherm



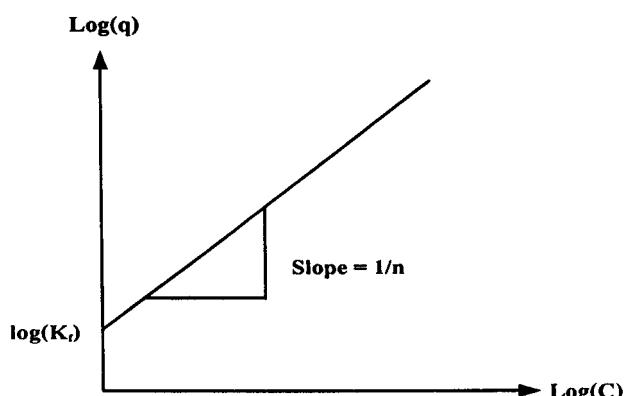
ภาพที่ ก-4 กราฟสมการของ Langmuir ที่ pH 5

ก-2 สมการของ Freundlich เป็นสมการที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้กับสารละลายน้ำซึ่งค่อนข้างเจือจางและมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ

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

เมื่อ K_f = ค่าคงที่
 $C^{1/n}$ = ค่าคงที่

$$\log(q) = -\log(K_f) + 1/n \log(C)$$



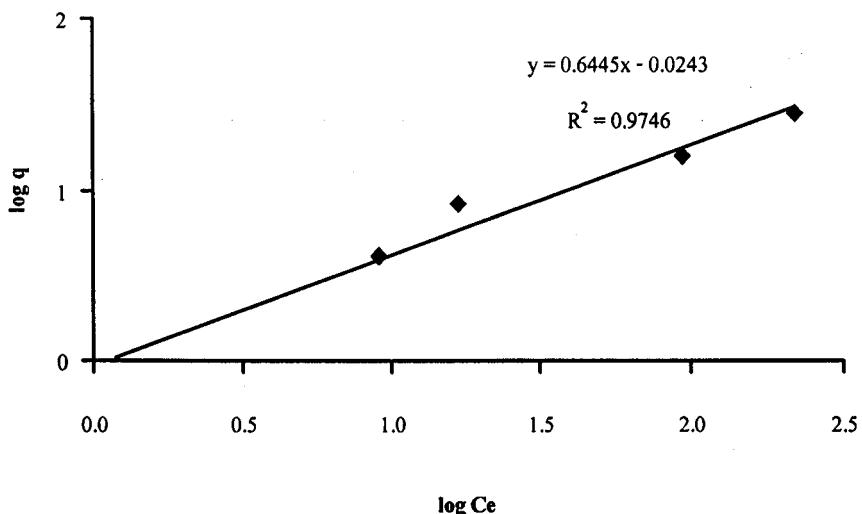
ภาพที่ ก-5 กราฟสำหรับสมการของ Freundlich

ตารางที่ ก-8 สมการของ Freundlich ที่ pH2

$\log q$	$\log C_e$
-0.055	0.073
0.612	0.959
0.920	1.227
1.193	1.973
1.446	2.343

จะได้ $K_f = 0.945$ $1/n = 0.644$ $R^2 = 0.974$

Freundlich isotherm



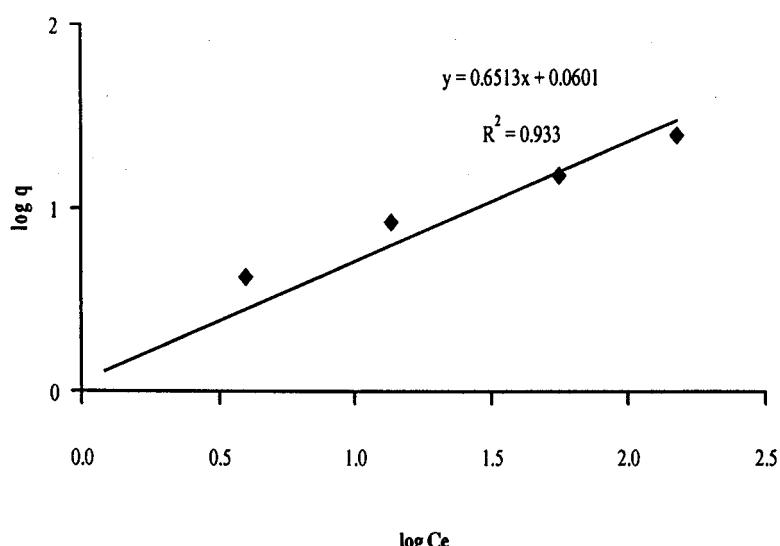
ภาพที่ ก-6 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 2

ตารางที่ ก-9 สมการของ Freundlich ที่ pH 3

log q	log Ce
-0.074	0.193
0.622	0.912
0.920	1.224
1.177	1.998
1.397	2.398

จะได้ $K_f = 0.945$ $1/n = 0.651$ $R^2 = 0.933$

Freundlich isotherm



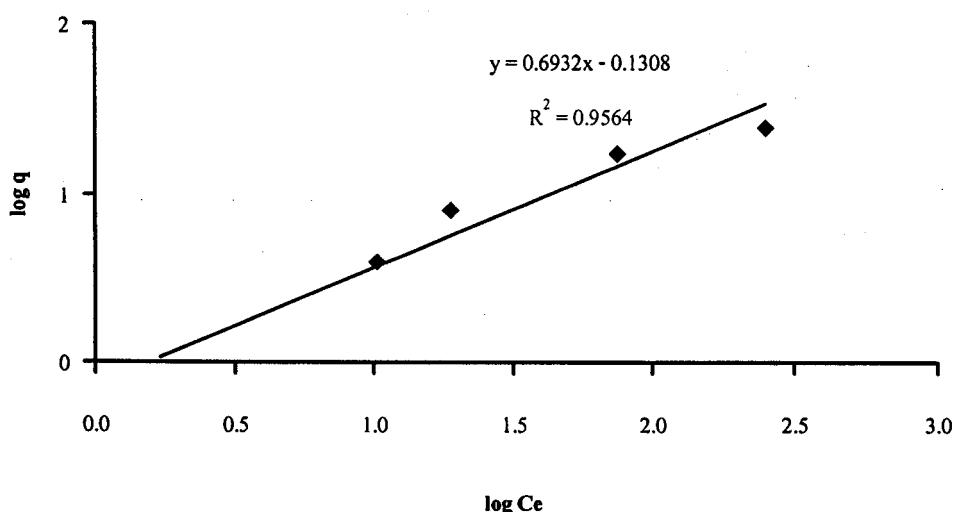
ภาพที่ ก-7 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 3

ตารางที่ ก-10 สมการของ Freundlich ที่ pH 4

$\log q$	$\log C_e$
-0.081	0.233
0.598	1.015
0.908	1.280
1.242	1.877
1.396	2.400

$$\text{จะได้ } K_f = 0.739 \quad 1/n = 0.693 \quad R^2 = 0.956$$

Freundlich isotherm



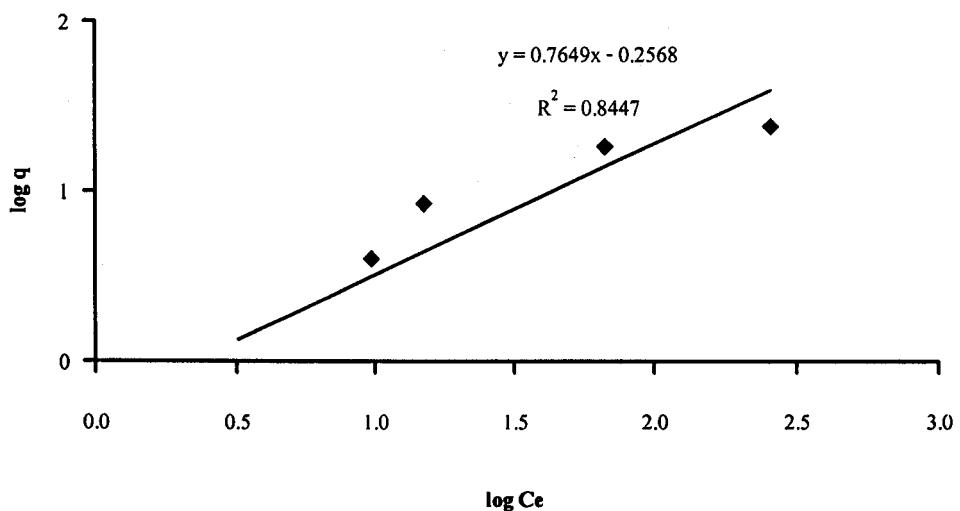
ภาพที่ ก-8 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 4

ตารางที่ ก-11 สมการของ Freundlich ที่ pH 5

$\log q$	$\log C_e$
-0.168	0.506
0.605	0.989
0.929	1.181
1.263	1.826
1.380	2.415

$$\text{จะได้ } K_f = 0.553 \quad 1/n = 0.764 \quad R^2 = 0.0.844$$

Freundlich isotherm



ภาพที่ ก-9 กราฟสมการของ Freundlich ที่ pH 5

ภาคผนวก ข
การคำนวณและวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคงท้วง

ภาคผนวก ๔

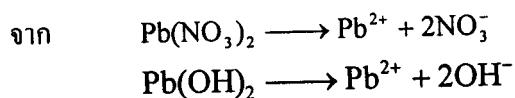
การคำนวณและวิธีการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว

๔-๑ การคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมสต็อกตะกั่ว $Pb(NO_3)_2$ ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ได้จากน้ำแลดูในเครท ($Pb(NO_3)_2$) ผสมกับน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water หรือ DI) โดยขึ้นแรกเตรียมสารละลายนามาตรฐานตะกั่ว 1000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยละลายน้ำแลดูในเครท ($Pb(NO_3)_2$) 0.8038 กรัม ในกรด ไนโตริก (HNO_3) 10 มิลลิลิตร โดยเติมน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ 1 ลิตร แล้วจากนั้น ค่อยนำสารละลายนามาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ

$$\begin{array}{lcl}
 \text{สารละลายนี้ } 1.00 \text{ มิลลิกรัม} & = & Pb 100 \text{ ในกรัก} \\
 \text{จะได้} & C_1 V_1 & = C_2 V_2 \\
 & 1000 \text{ ppm} \times V_1 & = 10 \times 1000 \text{ ml} \\
 & V_1 & = (10 \times 1000 \text{ ml})/1000 \\
 & V_1 & = 10 \text{ ml}
 \end{array}$$

๔-๒ การคำนวณการทดลองที่ช่วงค่าระดับ pH 2 – 8



$$\begin{array}{lll}
 \text{โดยมีค่า} & K_{sp} & = 2.5 \times 10^{-16} \\
 \text{เมื่อทำการปรับค่า} & pH = 2 & \text{แสดงว่า} \quad [H^+] = 10^{-2} ; [OH^-] = 10^{-12} \\
 & [Pb^{2+}] = 10 \times (10^{-3}) g/l \times 1 \text{ mol} / 331.2 \text{ g} & = 3.02 \times 10^{-5} \text{ mol/l} \\
 \text{จาก} & K_{sp} = [Pb^{2+}] [OH^-]^2 \\
 \text{เมื่อ} & pH = 2 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-24}] = 3.02 \times 10^{-29} \\
 & pH = 3 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-22}] = 3.02 \times 10^{-27} \\
 & pH = 4 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-20}] = 3.02 \times 10^{-25} \\
 & pH = 5 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-18}] = 3.02 \times 10^{-23}
 \end{array}$$

$$\text{pH} = 6 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-16}] = 3.02 \times 10^{-21}$$

$$\text{pH} = 7 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-14}] = 3.02 \times 10^{-19}$$

$$\text{pH} = 8 ; 2.5 \times 10^{-16} > [3.02 \times 10^{-5}] \times [10^{-12}] = 3.02 \times 10^{-17}$$

การทดลองการศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว จำเป็นต้องคำนวณที่ระดับใดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกั่ว ในที่นี้ใช้สารละลายนาโนไฮด์รอกาลิค (NaOH) ในการปรับ pH ซึ่งเมื่อปรับ pH ให้มีค่าสูงขึ้น สารละลายจะก่อการตกตะกอนเป็น ไอกرومายาด (Pb(OH)₂) โดยมีค่า $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-16}$

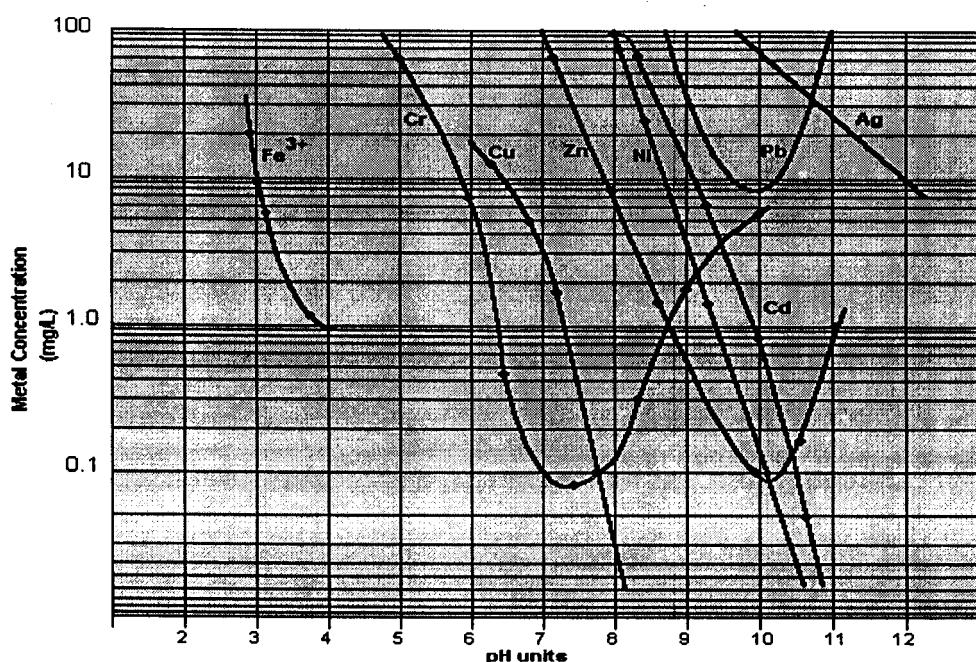
๔-๓ การคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัด

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัด} (\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100$$

$$C_i$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นเริ่มต้น

C_e = ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลาย



ภาพที่ ๔-๑ กราฟการตกตะกอนของโลหะหนักที่ pH ต่างๆ

ภาควิชานักศึกษา

ภาคผนวก ค
ผลงานทางวิชาการ

(1)

การอุดชั้บทะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

ธีระวุฒิ บุญถือม ไพรัตน์ แก้วสาร

ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ต.หนองมะระ ช.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

การดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยในหมู่อน

ธีระวดี บุญลักษณ์ ไพรัตน์ แก้วสาร*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถ.สุดมาร์ท อ.วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

บทคัดย่อ

การนำบัดน้ำเสียที่มีสารตะกั่วนเป็นองุ่นอยู่เป็นร่องที่มีความเข้มเป็นต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ซึ่งมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดมากน้อย อาทิ การตัดตัดก่อนโดยใช้สารเคมี การแยกเปลี่ยนประจุ การดูดซับด้วยถ่านมันต์ รวมทั้งการดูดซับโดยใช้ชีวะมวล (Biosorption) ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยอาศัยเทคนิค Biosorption โดยการใช้ใบหม่อนในการดูดซับเพื่อผลสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเป็นการทดลองแบบทบ (Batch) โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับดังนี้ ปริมาณสารดูดซับ เวลาสัมผัส pH และทำการวิเคราะห์ทางปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) จากการทดลองพบว่า pH มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ดูดซับได้ดีที่ pH 2 โดย ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณของใบหม่อนและการเพิ่มขึ้นของเวลาสัมผัส จะพบว่ากระบวนการดูดซับเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที ในกระบวนการนี้พบว่าใบหม่อนเป็นวัสดุคงทนที่ดูดซับได้ดีและหากเราลดราคาถูกกว่าที่มีอยู่ในการดูดซับเมื่อเทียบกับ Biosorbents ชนิดอื่นแล้ว จึงน่าจะเกิดประโยชน์ต่อการนำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วนเป็นองุ่นในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

ค่าสำคัญ: การดูดซับ, การนำบัดน้ำเสีย, ใบหม่อน

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาทางอุตสาหกรรม ทำให้ปัญหาใบหม่อนเป็นองุ่นในน้ำทึบซึ่งคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสัตว์ด้วยเหตุนี้การนำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นร่องที่สำคัญเพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ อนามัยและสิ่งแวดล้อม [จันทร์ฉาช อึ้งอุครักษ์, 2541]

กระบวนการการกำจัดโดยหนักในน้ำทึบปัจจุบันมีหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการตัดตัดทางเคมี (Chemical Precipitation) กระบวนการแยกเปลี่ยนไออกอน (Ion Exchange) กระบวนการอสโนมีซีล้อนกลับ (Reverse

Osmosis) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) และกระบวนการอื่นๆ ซึ่งการกำจัดโดยหนักในน้ำทึบในปัจจุบันต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงทำให้มีการศึกษาการนำเอาวัสดุธรรมชาตินามาใช้ในการกำจัดโดยหนัก เนื่องจากมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง แล้วขึ้นเป็นการใช้ทรัพยากร่มีอยู่ในปริมาณที่มากในธรรมชาตินำมาใช้ประโยชน์อย่างทั่วถ้วนค่าโดยเฉลี่ยอย่างบีบงการใช้เทคนิค Biosorption ที่มีการใช้ชีวะมวลค่างๆ ในการดูดซับ เช่น เปลือกไข่, แกลบคำ, ต้นชูปุญและฟางข้าว [สมพูล ฤทธิลักษณ์, 2532]

ต้นน้ำในหมู่อน (Mulberry Leaves) จึงเป็นชีวะมวลอีกประเภทหนึ่งที่ควรจะได้ทำการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วซึ่งในหมู่อนจะมีส่วนประกอบของโพลีฟีโนอล [ภาควิชาเกษตรวิจิตร (2534)] ที่มีประโยชน์ที่ผู้คนเป็นจำนวนมาก ได้นำมาทดลองดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งในหมู่อนที่นำมาทดลองครั้งนี้เป็นในหมู่อนพันธุ์บุรีรัมย์

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

p_kaewsarn@hotmail.com

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16

60 (บร. 60) ซึ่งสามารถถูกได้รับทุกพื้นที่ในประเทศไทย
[จังหวัดหนองบัวลำภู ปัตตานี ยะลา สงขลา นราธิวาส]

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมในหม้อน้ำและน้ำเสียสังเคราะห์

การเตรียมในหม้อน้ำ นำใบหม้อน้ำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปเข้าเตาอบ (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดแล้วเก็บในเครื่องตู้ความชื้น

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับตะกั่ว เตรียมได้จากน้ำเดคไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ผสมกับน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) โดยขั้นแรกเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยละลายเดคไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 0.8038 กรัม ในกรดไฮดรอกซิก (HNO_3) 10 มิลลิลิตร โดยเติมน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ 1 ลิตร แล้วจากนั้นค่อยนำสารละลายมาตรฐานมาเชื่อมให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ

2.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมในการถอดชั้น

นำใบหม้อน้ำปริมาณ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 1.0 และ

1.1 กรัม เติมลงในสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C นำสารละลายไปกรองและวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

2.3 การหาเวลาที่เหมาะสมในการถอดชั้น

นำใบหม้อน้ำปริมาณ 1.0 กรัม เติมลงในสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อระยะเวลาล้างผัสผ่านไป 5, 10, 15, 20, 30, 60 และ 90 นาที แล้ว คุณภาพสารละลายต้องย่างด้วยกระบวนการกรองและวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

2.4 การหาค่า pH เหมาะสมในการถอดชั้น

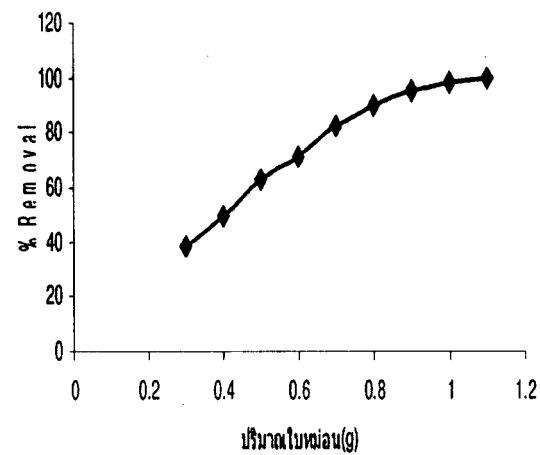
โดยปรับ pH ให้เท่ากัน 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตรนำใบหม้อน้ำปริมาณ 1.0 กรัม เติมลงในสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 25°C (โดยทั่วไป pH) และ คุณภาพสารละลายต้องย่างด้วยกระบวนการกรองและเพิ่มปริมาณในหม้อน้ำเป็น 10

สัมผัสผ่านไป 5, 10, 15, 20, 30, 60 และ 90 นาที นำกรองและวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง AAS

ในการปรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายตะกั่วในการทดลองนี้จะใช้สารละลายกรดไฮดรอกซิก (Hydrochloric acid) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมในการถอดชั้น



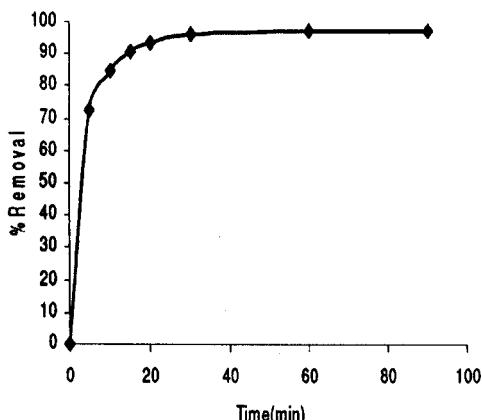
รูปที่ 1 ปริมาณที่เหมาะสมในการถอดชั้น

จากการทดลองปริมาณที่เหมาะสมในการถอดชั้นสารตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า ใช้ปริมาณของใบหม้อน้ำอยู่ที่ 0.3 กรัม ได้ปรับรีเซ็นต์การกำจัดที่ 40 % ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณใบหม้อน้ำเป็น 0.4-0.9 กรัม ก็จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มมากขึ้น ปริมาณคิวสัมผัสของใบหม้อน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ที่ปริมาณใบหม้อน้ำ 1.0 กรัม จะกำจัดตะกั่วได้สูงสุดที่ 95.71 % ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณใบหม้อน้ำเป็น 1.1 กรัมปริมาณการกำจัดที่ 95.78 % มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการกำจัดน้อยมาก เนื่องจากใบหม้อน้ำปริมาณเพิ่มที่คิวสัมผัสพันธ์กับปริมาณตะกั่วที่ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มิลลิกรัม/ลิตร [สนธิ คงวัฒน์ (2529)] ซึ่งในเรื่องการหาปริมาณใบหม้อน้ำที่เหมาะสมในการถอดชั้นของ Pb^{2+} เท่ากับ 10

การประยุกต์วิเคราะห์ความเร็วในการดูดซับและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16

นิลลิกรันต์อุดิต ทำเนื้อส่วนค่าความเข้มข้นอ่อนๆ งานวิจัยนี้ ยังไม่ได้ผล ซึ่งจะดำเนินการทดลองให้ได้ชัดเจนในเชิงปริมาณสัมพันธ์คือไปเพื่อที่จะอธิบายความสัมพันธ์ปริมาณที่เหมาะสมกับความเข้มข้นของ Pb^{2+} ให้ได้ในทุกความเข้มข้น ต่อไป

3.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ



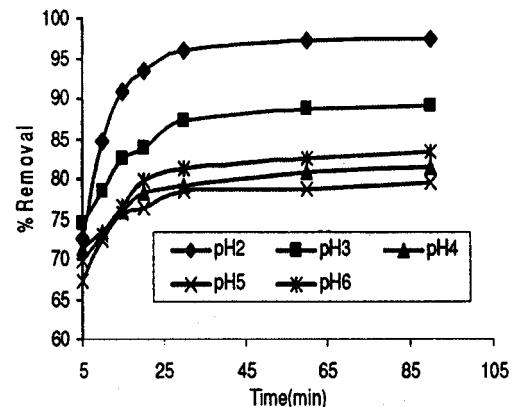
รูปที่ 2 เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

ในการใช้วิธีวิเคราะห์เครื่องมานาค่าในหม้อนอนหนัก 1.0 กรัม สำหรับการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสารตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณครั้งของการละลาย 100 มิลลิลิตร พบร่วมกันในเวลา 5-20 นาทีจะดูดซับได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการดูดซับที่ 93 % ของผลการดูดซับที่จุดสมดุล เมื่อจากประจุลบที่ตัวสัมผัสของใบหม่อนได้ดูดซับประจุบวกของตะกั่ว (Pb^{2+}) ในช่วงด้านนี้เพื่อป้องกันการดูดซับต่อไป ตะกั่วจึงเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เวลา 20-30 นาที ปริมาณการดูดซับน้อยลง เนื่องมาจากกระบวนการดูดซับของใบหม่อนเริ่มเข้าสู่สมดุลภายใน 30 นาที หลังจากนั้นการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงมากดังนั้นจึงถือว่าเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที ซึ่งการเข้าสู่สมดุลแสดงว่าเพื่อที่ผิวสัมผัสถูกใช้หมดแล้ว

3.3 ผลของ pH ต่อการดูดซับ

ผลของ pH ที่มีผลต่อการดูดซับโดยใช้ใบหม่อนหนัก 1.0 กรัม ในการดูดซับสารตะกั่ว (Pb^{2+}) สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณครั้งของการละลาย 100 มิลลิลิตร ที่

pH ต่างๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นประสาทวิภาคในการดูดซับก็เพิ่มขึ้น ด้วยระยะเวลาเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของภารนาวาที่เหมาะสมในการดูดซับ และจากผลการทดลองที่ pH แคดคต่างกัน เปอร์เซ็นต์การกำจัดก็แตกต่างกันด้วย โดยที่ pH 2 ให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุดที่ 96.367 % เพราะที่ pH 2 แคดคตัวได้มากกว่า pH อื่นจึงทำให้เกิดการดูดซับที่มากกว่า pH อื่นๆ



รูปที่ 3 ก้าว pH เหมาะสมในการดูดซับ

ที่ pH 3-5 เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลงตามลำดับ เมื่อจากที่ pH 3-5 ความเข้มข้นของ ไฮดรอกไซด์ ไอโอน (OH^-) มากขึ้น ซึ่งอาจจะสามารถขับกัน ประจุบวกของตะกั่วได้ซึ่งทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างการขับกัน ประจุบวกของตะกั่ว กับผิวของใบหม่อน และการขับกันของประจุบวกของตะกั่ว กับ ไฮดรอกไซด์ ไอโอนประสาทวิภาคการดูดซับประจุบวกของตะกั่วของใบหม่อนจึงลดลง เมื่อ pH เพิ่มขึ้นประจุที่ผิวในหม่อนมีการแตกตัวของ ไฮดรอกไซด์ ไอโอน (OH^-) มากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดลดลง ที่ pH 6 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก pH 5 เนื่องจากประจุที่ผิวในหม่อนมีการแตกตัวของ ไฮดรอกไซด์ (H^-) น้อยลง ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

นอกจากการทดลองของงานวิจัยนี้ในการปรับค่า pH ได้ใช้กรดในตริกในการทดลองอาจจะมีผลต่อค่า Common ion effect ของสารละลายเดลไนเตรค ซึ่งถ้าหากเราใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ใน การปรับ pH ของสารละลายผลการทดลองที่ได้อาจได้ก้าวที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแรงของประจุนี่ความแตกต่างกันนี้อาจเป็นกรณีแค่ต่อไปไว้

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 16

ตามสำหรับการทดลองครั้งนี้ไม่ได้นำเอ่า H_2SO_4 มาทำการทดลองด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ในหม่อน(Mulberry Leaves) ดูดซับได้ดีที่ปริมาณ 1.0 กรัม สามารถดูดซับสารตะกั่ว (Pb^{2+}) ได้ 95.74% ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งการหาเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว (Pb^{2+}) พบว่าที่เวลา 30 นาที สามารถกำจัดได้ 95.67% และในการหาค่า pH ที่เหมาะสมพบว่าในหม่อนจะดูดซับได้ดีที่สภาวะที่เป็นกรดซึ่งที่ pH 2 มีประสิทธิภาพการการกำจัดตะกั่ว (Pb^{2+}) ได้ 96.36% ซึ่งถือเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วคิดที่สุดซึ่งเข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที และ pH 3, pH 4, pH 5 และ pH 6 มีแนวโน้มในการกำจัดลดลงตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้พบว่า pH นิยมอย่างมากในการดูดซับของใบหม่อน ดังนั้นจึงการนำมาพัฒนาทางด้านอุดหนากรรนต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

จันทร์หอม ปัจฉะยะ โส, นาเร็ตัน แห่งขัน, 2547, การกำจัดเหศึกออกจากรากน้ำโดยใช้การกรองผ่านกากรในหม่อน, วท.บ. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

จันทร์ฉาย อึ้งอุครวัสดุ, 2541, การกำจัดตะกั่วในน้ำเสื้อจากโรงงานเบนเตอร์โดยใช้ถูกปุ่กเยี่ยและฟางข้าว, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชานิรภัยและสิ่งแวดล้อม. คณะสารานุรักษ์ศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประกฤต เดิ่องรัชร่วมดี, การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสื้อสังเคราะห์ด้วยการใช้ชีวสื่อย่อยฟางข้าว และชูมนพร้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ประสิทธิ์ แส้วงang และอร ไช ศุนเจริญ, การ บริบูรณ์ที่บันการ ดูดซับตะกั่ว($2+$) โดยใช้ปัลอกไน์และเกล็ดบล่า, วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 ก.ค.- ธ.ค, 2542, กรุงเทพฯ

นริศรา โพธิ์มูล, 2545, การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสื้อ โรงงานผลิตแบตเตอรี่โดยใช้ถูกปุ่กและฟางข้าว, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาควิชาเภสัชวิทยาจัดขึ้น คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2534, งานทดสอบภัยของสารเคมีในน้ำเสื้อ, กรุงเทพฯ

รัชนีกร คลังสาร, 2540, การกำจัดเหศึกออกจากรากน้ำโดยใช้การกรองผ่านกากรในชา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท (สาขาวิชานิรภัยและสิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยมหิดล

ฉิตา นิทศน์จารุก, 2544, การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสื้อ สังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดซับคิวไทด์ด้านกำนัลที่เหศึกใช้จากการเกษตร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สาขาวิทยาศาสตร์ (เคมีเทคนิค) บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล

อัญชลีพร, วาริทสวัสดิ์, หล่อทองคำ และชาญรงค์, 2548, การดูดซับไอก้อนเหล็ก ตะกั่ว และแอลูเมเนียมจากสารละลายน้ำด้วยตัวดูดซับประเทกเต้นลม, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 10 ฉบับที่ 1

Braig T.H. et al., AE. Gricia, K.J. Tiemana , J.L. Gardea-Torresdey. Adsorption of heavy metal ion by the biomass of *solanum elaeagnifolium*. Proceediags of the 1999 conference on hazardous waste research

ผลงานทางวิชาการ

(2)

การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้เศษแครอท

Biosorption of lead from aqueous solution using carrot

residues

สาวิต ศุตัญตั้งใจ¹ พrnภา แก้วประดิษฐ์² ชีระภูมิ บุญล้อม³ และ ไพรัตน์ แก้วสาร⁴

Sawit Sutantangjai¹ Pornnapa Kaewpardit² Teerawut Buurom³ Pairat Kaewsarn⁴



การดูดซึบตะกั่วในน้ำสีสังเคราะห์โดยการใช้เศษแครอท

Biosorption of Lead from Aqueous Solution using Carrot Residues

Received 30 January 2007; received in revised form 27 February 2007; accepted 28 February 2007

४८

ជាក្រុងផែនក្នុងការបង្ហាញ; អតិថិជន; នគរាល់នាយក; នីមួយៗ

Abstract

Biosorption of lead (II) by carrot peels was investigated in this study. The biosorption capacity of carrot peels for lead were studied at different concentrations (lead dependent), contact time (min) and solution pH values in batch mode. At optimum time (around 120 min), adsorption (% adsorbed) and initial solution pH 5 ; ground carrot peels recorded maximum lead uptake of 79.26%. The results indicated that carrot peels is a suitable biosorbent for the removal of lead ions from synthetic wastewater.

Keywords: *Bioassay; heavy metal load; wastewater; Gomati River*

三

การบันทึกข้อมูลนี้คำนึงถึงความต้องการของภาคในเชิงยุทธศาสตร์ในการพัฒนาและสนับสนุนภารกิจทางเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุด ที่จะช่วยให้ภาคการผลิตและภาคบริการมีความเจริญเติบโตอย่างยั่งยืน ไม่ใช่เพียงแค่การบันทึกข้อมูล แต่เป็นการนำเสนอข้อมูลที่มีค่าและมีประโยชน์ต่อผู้ตัดสินใจ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ในการตัดสินใจลงทุน ขยายธุรกิจ หรือปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป

* * *
“ນັກຄະຫຍາມພິເສດຖາ;” ລາຍລະອຽດວ່າງານກາງຕະຫຼາມ ໂດຍໂຫຼວກາບຄາດທີ່ ນາກຄະຫຍາມພິເສດຖາ
ກະທຳກາງຕະຫຼາມ 34130;
* * *



๒๕๔

2010年版規範

การห้ามเผาไหม้และการห้ามเผาภูเขาไม่ใช่สิ่งที่ง่ายด้วยว่าที่เดียวแค่ประกาศห้ามเผาไหม้ก็เพียงพอแล้ว แต่ต้องมีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องและมีมาตรการทางกฎหมายที่เข้มงวด เช่น การห้ามเผาในช่วงฤดูแล้ง ห้ามนำของไวไฟเข้ามาในพื้นที่ห้ามเผา และห้ามนำไฟฟ้าเข้ามาในพื้นที่ห้ามเผา รวมถึงการห้ามนำเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงในการเผาไหม้เข้ามาในพื้นที่ห้ามเผา เช่น รถบรรทุกเชื้อเพลิง รถบรรทุกน้ำดับเพลิง ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อรักษาความปลอดภัยของผู้คนและทรัพย์สินในพื้นที่ห้ามเผา

พัฒนาศักยภาพของบุคลากรในสังคมไทยให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลง

และปรุงอาหารตามวัสดุที่มีอยู่ในบ้าน เช่น ไข่ เนย นม น้ำตาล ผัก ผลไม้ ฯลฯ

มาเรียนรู้ภาษาไทยที่นี่ก่อนไปเรียนต่อต่างประเทศ ที่ญี่ปุ่น หรือ อังกฤษ

การนับถือตัวตนที่มีความเชื่อในพระเจ้า 10 มิลลลี่ลิตรต่อห้องปีราก 300 มิลลลี่ลิตร ปรับเพิ่มลงเหลือ 500 มิลลลี่ลิตรและลดลงให้ต่ำกว่า 500 มิลลลี่ลิตรก็พบว่าลดลง 0.5 ลิตร และเพิ่มไปสูงกว่า 500 ลิตรเพิ่มขึ้น โดยจะระเหยจากไม้กายที่ต่ำกว่า 10 วันจะลดลงอย่างรวดเร็วและตื้นขึ้น แต่ถ้าตั้งต้นต่ำกว่า 10 วันจะลดลงช้าๆ ประมาณ 0.05-0.15 ลิตรต่อวัน

ສະກຸນທີ່ມີຄວາມຕົກລົງ ສະເພີຍໄດ້

ให้ไว้โดยน้ำรักษาไว้ใน ๓, ๔, ๕ หรือ ๖ (และต้องหาซื้อสารเคมีที่อยู่ใน ๒ ชิ้น)
การดูแลห้องน้ำจะต้องรักษาความสะอาดของห้องน้ำให้ดี ห้องน้ำต้องมีสุขาและห้องน้ำ

วิธีการบันทึกการทำธุรกรรม

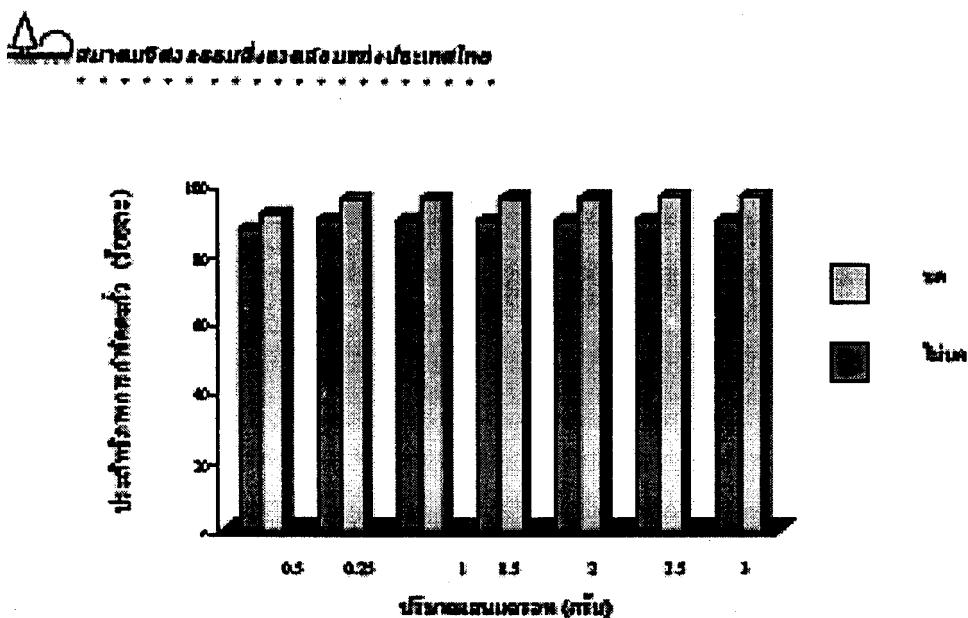
มีรายงานว่าชาวจีนอพยพจากประเทศจีนไปตั้งถิ่นฐานที่เมืองกาญจนบุรี แต่ไม่ได้รุ่งเรืองในคราวต่อมา จนถึง
น้ำกรุงศรีอยุธยาที่เป็นราชธานีที่สำคัญที่สุดแห่งชาติทั่วๆ ไป ด้วยความสามารถในการค้าขายที่มาก ในการค้าขาย
และท่องเที่ยวที่มีความหลากหลาย ทำให้ชาวจีนสามารถสร้างอาชีพและรายได้จากการค้าขาย รวมถึงการลงทุนใน
ด้านอสังหาริมทรัพย์ ทำให้ชาวจีนในประเทศไทยมีความมั่งคั่งและมีอำนาจทางเศรษฐกิจที่สำคัญ ไม่แพ้ชาติใดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ชาวจีนในประเทศไทยเป็นชนกลุ่มน้อยที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และเศรษฐกิจ ของประเทศไทย

$$q_s = \frac{q_{\infty} b C_s}{1 + b C_s} \quad (1)$$

ດែល ៤ មិនឹករាយទេវបន្ទី និងចំណាំក្នុងខ្លួន ហើយវាត្រូវបានក្រោមការអនុញ្ញាត (តាម) , ២ មិនឹករាយទេវបន្ទី និងចំណាំក្នុងខ្លួន ហើយវាត្រូវបានក្រោមការអនុញ្ញាត គុទ្ទិសក្រារ គុទ្ទិសក្រារ ពីក្រុងខ្លួនជាដារីណី និងចំណាំ (តាម) , ៣ មិនឹករាយពីក្រុងខ្លួន និងចំណាំ ទៅក្នុងខ្លួន ដើម្បីសម្រេចការងារ និងការប្រើប្រាស់ (តាម) , ៤ មិនឹករាយពីក្រុងខ្លួន និងចំណាំ ទៅក្នុងខ្លួន ដើម្បីសម្រេចការងារ និងការប្រើប្រាស់ (តាម) .

นักวิชาการและนักเขียน

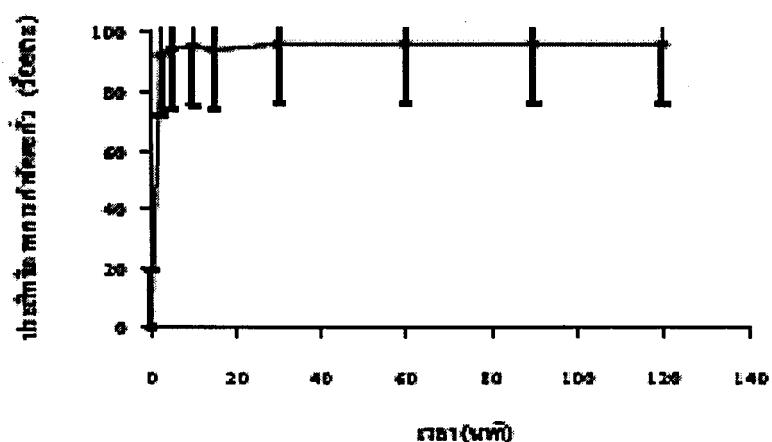
บริการทางการเงินที่ให้การสนับสนุนและดูแลลูกค้าที่มีความต้องการที่จะเข้าร่วมลงทุน



มาตรฐานที่ 1 ป้ายติดต่อทางการค้าที่วิ่งบนทางด้วยภาษาไทยและอังกฤษ ไม่น้อยกว่า ๕๐% ที่มีขนาดตั้งแต่

www.ijerph.org

ຄາງຄະນະທ່ານວັດທະນາໄດ້ເປົ້າຄາວີ້ວິຫຼາຍແລ້ວທຳກຳເວັ້ນເຫັນວ່າ ໂດຍການເພີ້ມຄາມຕາງໝາຍການ 0.5 ຊັ້ນ ອາໄສເຫັນ
ຂັ້ນມາດຕະຖິບໍ່ເຊົ້າວ່າມີກົດໜີ 10 ພຶສອນເກີນ ມີການ 100 ພຶສອນແລ້ວ ມີກຳໄປໃໝ່ເຫັນວ່າມີກົດໜີ 200 ພຶສອນທ່ານວັດທະນາ ວິວາຫຼຸມ
ເວັ້ນທຳກຳກົດໜີທີ່ຂັ້ນເຫັນວ່າ (ເພົ້າທຳກຳກົດໜີ 2, 5, 3, 10, 15, 30, 60, 90 ພຶສ 120 ພຶສ) ແລ້ວກາຈົກວົງຄາວີ້ວິຫຼາຍການ 0.5
ຄາງຄະນະທ່ານວັດທະນາໄດ້ເປົ້າຄາວີ້ວິຫຼາຍແລ້ວທຳກຳເວັ້ນເຫັນວ່າມີກົດໜີທີ່ວິວດອກເພື່ອທຳກຳທີ່
ວິວດອກເພື່ອທຳກຳທີ່ 2

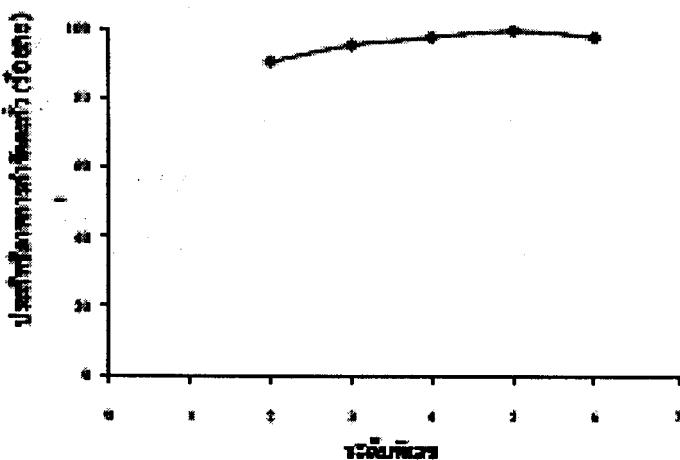


ภาระที่ 2 สำหรับผู้ติดตามการดำเนินงานที่รับผิดชอบตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ

ก้าวเข้าสู่โลกแห่งความคิดสร้างสรรค์

www.flame.com

ສາທາລະນະລັດໄກໄດ້ສໍາເລັດວ່າງອາຍື່ນຫົວໜ້ານີ້ 10 ນີ້ ໃນການສະແດງວ່າໄດ້ມີການກາຫຼັດຕົວໂລດທີ່ມີການແກ່ງງານແລ້ວ
ນີ້ 0.5 ຕົວໜ້າ ພົມການກາຫຼັດຕົວຈຳ 30 ປີເຊື້ອເກົ່າ ລາງກໍາຮ້າງວ່າໃນການກາຫຼັດຕົວຈຳ 20 ວິວາຍ່ານ້າຕີ ໂດຍໄດ້ການໃນການກາຫຼັດຕົວຈຳໄວ້ການ
ສາທາລະນະລັດ 3.2 ດີ່ງ 30 ພົມການໄດ້ໄກໄດ້ວ່າ 2-4 ສຳຄັນການກາຫຼັດຕົວຈຳລັດຕົວຈຳ 3 ສຳຄັນກ່າວກ່າວຈະ 2 ສາດລ້ອດລັດຕົວຈຳລັດຕົວຈຳເປົ້າ
ທີ່ມີຜົນ ມາດຕະຖະລົບຕົວຈຳລັດຕົວຈຳນີ້ ຮັນເນື້ອກ່າວກ່າວຈະ 4-6 ພົມການເປັ້ນກ່າວກ່າວຈຳຕໍ່າງໆ ໄກສະແດງກ່າວກ່າວ
ຂໍ້ຕົວຈຳພົມການໄດ້ການກາຫຼັດຕົວຈຳ ມາດຕະຖະລົບຕົວຈຳລັດຕົວຈຳນີ້ 10 ປີ້າ ທີ່ມີການຫຼັບກ່າວກ່າວຈຳລັດຕົວຈຳ



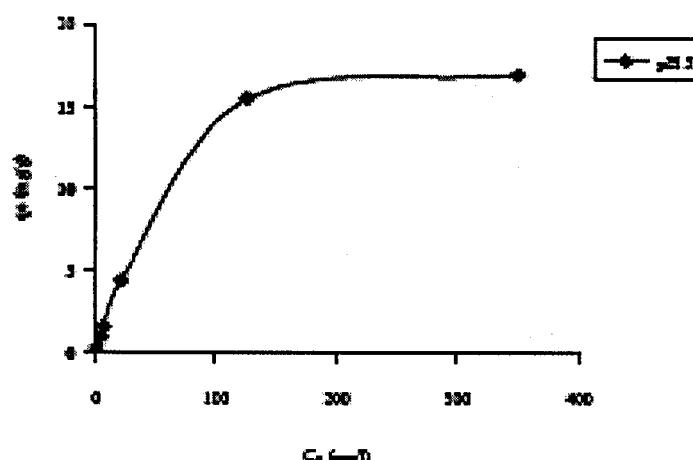
การพัฒนาชุมชนและการบริหารจัดการชุมชนท้องถิ่น 2 ฉบับ

ร่างกายสามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าการดื่มน้ำ แต่การดื่มน้ำที่รวดเร็วจะทำให้ร่างกายต้องทำงานหนักเพิ่มขึ้น (increased workload) จึงต้องดื่มน้ำอย่างช้าๆ อยู่ๆ ก่อนที่หิวแล้วก่อนที่กระหาย (anticipatory drinking) เพื่อเตรียมร่างกายให้พร้อมสำหรับการดูดซึมน้ำที่เป็นไปอย่างลึกซึ้ง (profound drinking) ในที่สุดเมื่อรู้สึกหิวแล้ว ร่างกายจะพยายามหาอาหารให้ได้ แต่การดื่มน้ำไม่ใช่ทางเลือก (option) ในการรับประทานอาหาร แต่เป็นส่วนหนึ่งของการรับประทานอาหาร ดังนั้น ร่างกายจะพยายามดึงดูดน้ำเข้าสู่ร่างกายเพื่อเตรียมตัวสำหรับการดูดซึมน้ำที่จะตามมา ดังนั้น การดื่มน้ำในปริมาณที่มากเกินไป อาจส่งผลให้ร่างกายต้องทำงานหนักเพิ่มขึ้น (overload workload) และส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมน้ำได้เต็มที่ ดังนั้น การดื่มน้ำในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

 สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม ประจำกรุงเทพมหานคร

ໄວລວມທີ່ກ່ານໜີ້ແຫຼງດັບເນື່ອໃຫ້ພົມເປົ້ານີ້ໄວ້ວິຊາຂະໜາດວາງນາງພວກເຮົາ ແລະກ່າວ່າໄດ້ການການຄ່ອງຄວບ (Confiscation) ຈະໄດ້ໄວ້ໂກຮາວໃວລວມ ທ່ານີ້ໄວ້ຮັບສາຍາວົງໃນການຕື່ອຸດກະລຳວ່າວິຊາຂະໜາດວາງນາງພວກເຮົາໄດ້ວິວາປະບົດຢັ້ງຕໍ່ການກ່າວ່າຈະໄດ້ມີກະລຳກ່າວ່າ

ໄສ້າມຕົວເທິງທະນາຄານ



ຄວາມ 4 ໂດຍກວດໜີນາກອາຫານຂອງລັດໄສພະຍານຕາມ ພົມ 5

ผลการที่ 4 ผลการใช้ผลการสอนเพื่อพัฒนาคุณภาพการสอนในภาคตื้นเข้มมากขึ้นที่ ผศ. ดร. ว่าที่ร.ส.ว. 32.78% ซึ่งเป็นผลของการต่อยอดในการสอนเพื่อพัฒนาคุณภาพการสอนเพิ่มขึ้น ผศ. ดร. ว่าที่ร.ส.ว. 32.78%

๘๙

จากการศึกษาการบริหารจัดการของแต่ละวิชาชีพที่มีอยู่ในประเทศ พบว่ากิจกรรมที่สำคัญมากที่สุดคือการตั้งตัวในประเทศไทยคือการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพและมีความต่อเนื่อง การดำเนินการที่มีประสิทธิภาพและมีความต่อเนื่องนี้จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันในระดับโลกได้ ดังนั้น จึงเป็นภารกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมให้ก้าวไปสู่ความยั่งยืน



๘๙

- [1] เนรีบดีและ อุบลรัตน์โรจน์, 2339, ค่าใช้จ่ายในการรักษาสิ่งแวดล้อมทางชุมชน.
 - [2] Kratchai, D., Vodchal, B., 1996b. Trends Biotechnol. 14, 291-300.
 - [3] Lee SH. Dissolved Trace, Toxic, Metal: Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1992.
 - [4] Maierhofer, J., Yu, Q., 1996a. Biotechnology Technol. 63,223-229.
 - [5] Solari, P., Zecchinelli, A., Maiti, K., Stabili, G., 1996. Separation Sci. Technol. 31, 1075-1092.
 - [6] Spini, M., Zhang, H., Trujillo, E., 1995. Water Environ. Sect. 34, 543-562.
 - [7] Tolosa, J., Razo, J., 1998. Water Res. 32, 1407-1414.
 - [8] Tamer Akse and Sibel Tunali, Biodegradation characteristics of Aspergillus fumigatus biomass for removal of Pb(II) and Cd(II) ions from an aqueous solution. Biotechnology. Volume 37, Issue 13, October 2006, Pages: 2760-2767.



การดูดซึบสารโลหะในน้ำด้วยโซลูชันที่มีค่ากรดสูง Dissorption of Lead from Aqueous Solution using Concentrated Acid

អ្នកចាប់រួមនូវការងារ នាយករដ្ឋមន្ត្រី ក្រសួងពេទ្យ

สถานที่ท่องเที่ยว

ໃຫຍ່

ปัจจัยภายนอก	- ภัยคุกคามต่างๆ	จัดการความไม่สงบ	จัดการความไม่สงบในประเทศ
	- ภัยคุกคามต่างๆ	จัดการความไม่สงบทั่วโลก	จัดการความไม่สงบในประเทศ

พิจารณาเรื่องที่ไม่ดี

พืชบ้านไร่

သင့်အမှာ

ЧАСТЬ

ภาคผนวก ง

หลักการและประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (2539)

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายนอกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เว้นแต่จะได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือพยายามอย่างจนน้ำทิ้งมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในพระราชกฤษฎีกานี้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีการจาง (dilution) “รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนด คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายนอกจากโรงงาน ดังนี้”

ข้อ 1 กำหนดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการจากโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายน้ำลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่จะระบายนอกจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่นากกว่า 9.0
- (2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้
 - 2.1 ค่า ทีดีเอส ไม่นากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่นากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายนอกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำໄดีไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- (3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่นากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่าง

จากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

- 4.1 ปรอท (Mercury) ไม่นากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่นากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่นากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่นากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.5 อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่นากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
 - 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่นากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่นากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บารีียม (Barium) ไม่นากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickle) ไม่นากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่นากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่นากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่นากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ชัลไฟต์ (Sulfide) คิดเทียบเป็น ไฮโคลเรนชัลไฟต์ (H_2S) ไม่นากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซยาไนต์ (Cyanide) คิดเทียบเป็น ไฮโคลเรนไซยาไนต์ (HCN) ไม่นากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลเดคไซด์ (Formaldehyde) ไม่นากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบฟีโนอล (Phenol Compound) ไม่นากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่นากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี

(11) อุณหภูมิ ไม่นากกว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่น่ารังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ไม่นากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่ กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ กรม

โรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นักกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่นักกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นักกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคอีน (TKN Total หรือ Kjeldahl Nitrogen) ไม่นักกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นักกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่นักกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นักกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องมือวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่าทีคีอีส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองไยแก้ว (Glass Fiber FilterDisc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคนเดียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปกโตร โฟร์โตเมตทรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไดเร็คแอสไพรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาasma อิมิชั่น สเปกโตร ไอคีปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี กัพเพลิ พลาasma (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และ酇เลนเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิค แอบซอฟชั่น สเปกโตร โฟร์โตเมตทรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไฮไครด์ เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาasma อิมิชั่น สเปกโตรไอคีปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี

คัพเพลิ พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma: ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปะrog ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอฟชั่น โคลด์ เวเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour technique)

- (5) การตรวจสอบค่าซัลไฟฟ์ ให้ใช้วิธีการ titrate
- (6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีการกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดิน บาร์บิตูริกแอซิด (Pyridine Barbituric Acid)
- (7) การตรวจสอบค่าฟอร์มัลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีการเทียบสี (Spectrophotometry)
- (8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีโนอล ให้ใช้วิธิกลั่นและตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนดีไพริน (Distillation , 4 -Aminoantipyrine)
- (9) การตรวจสอบค่าคลอรินอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมต릭 (Iodometric Method)
- (10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีกําชาโครโนมาโท กราฟฟี (Gas –Chromatography)
- (11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
- (12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหน้าหนักของน้ำมันและไขมัน
- (13) การตรวจสอบค่าบีโอลี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โนมิฟิเกชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีการอื่นที่กรรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
- (14) การตรวจสอบค่าทีเคอีน ให้ใช้วิธีเจดาล (Kjeldahl)
- (15) การตรวจสอบค่าซีโอลี ให้ใช้วิธีบอยล์สตอลด้วยโดย โพตัสเซียม ไดโกรเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Stand Methods for the Examination of water and wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Work Association และ Water Environmental Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศลงในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นายธีระวุฒิ บุญถ้อง
วัน เดือน ปีเกิด	28 กรกฎาคม 2514 ที่จังหวัดอุบลราชธานี
ที่อยู่	3 หมู่ 2 ถ.สลดมาร์ค ต. แสนสุข อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี
	โทร. 045-322-965
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ. 2550 วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี