

การประเมินศักยภาพการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์  
โดยการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก



นางสาวชนัญญา หาวารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

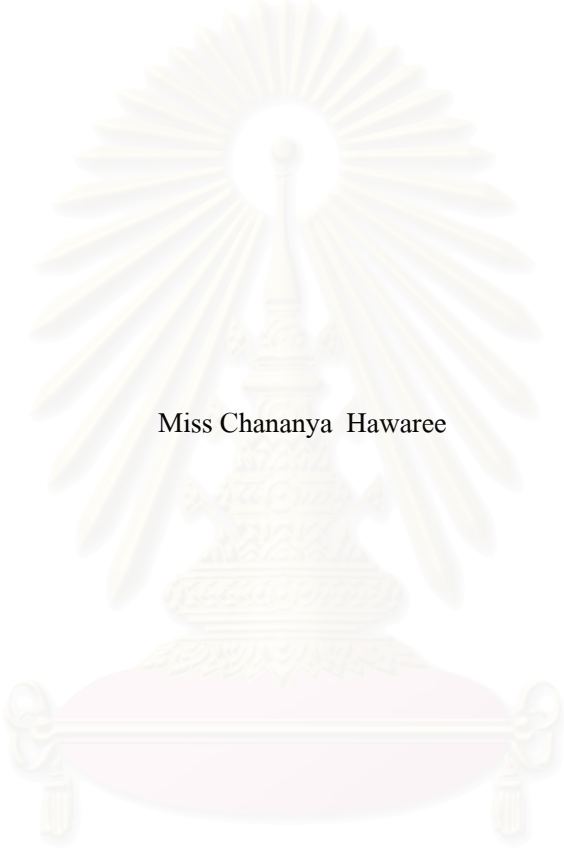
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2507-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF INDUSTRIAL UTILIZATION POTENTIAL  
BY HEAVY METAL LEACHABILITY TEST



Miss Chananya Hawaree

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2507-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินศักยภาพการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้  
ประโยชน์โดยการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก

โดย

นางสาวชนัญญา หาวารี


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

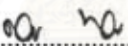
อาจารย์ที่ปรึกษา

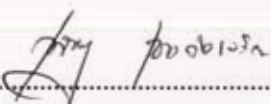
รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเชียร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

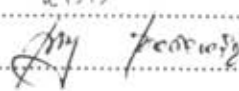
  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วินุลย์ ศรีเจริญชัชกุล)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

ชัญญา หาวารี : การประเมินศักยภาพการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์โดยการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก. (EVALUATION OF INDUSTRIAL UTILIZATION POTENTIAL BY HEAVY METAL LEACHABILITY TEST) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 127 หน้า. ISBN 974-14-2507-4.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ โดยทำการศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอนอุตสาหกรรมจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของการนิคมอุตสาหกรรมจำนวน 3 แห่ง ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนแบบผสมรวมเพื่อให้เป็นตัวแทนของตัวอย่างตลอดเดือน เป็นเวลา 3 เดือน ทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตะกอนทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน ได้แก่ การหาขนาดของตะกอนด้วยวิธีการร่อน ค่าความเป็นกรดค่าค่าความเป็นด่าง ค่าความชื้น ทำการทดสอบและศึกษาถึงผลการชะละลายปริมาณของโลหะหนักจากตะกอน โดยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดตามลำดับขั้น วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure เพื่อตรวจสอบว่าตะกอนจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) นอกจากนี้ทำการทดสอบศึกษาสมบัติเบื้องต้นของตะกอนในด้านการใช้เป็นปุ๋ย อาทิเช่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นต้น ผลการทดสอบปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ พบว่ามีปริมาณ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี อยู่ค่อนข้างสูง และเมื่อนำมาทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น พบว่ามีปริมาณทองแดงสังกะสี แมงกานีส และเหล็ก สกัดออกมาในขั้นที่ 3 และ 4 สูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น และพบว่ามีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่ (residual) ในขั้นที่ 5 มากที่สุด แสดงให้เห็นถึงปริมาณโลหะหนักในตะกอนไม่สามารถสกัดออกมาได้ทั้งหมด ผลการทดสอบการชะละลายพบว่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) และ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure มีค่าไม่เกินมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ดังนั้นกากตะกอนดังกล่าวไม่จัดเป็นของเสียอันตราย นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของตะกอนในด้านการใช้เป็นปุ๋ยพบว่าตัวอย่างตะกอนทั้ง 3 แห่งมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 6.1-30.1 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์สูง ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 3.15-17.26 ปริมาณฟอสฟอรัส (46-921 พีพีเอ็ม) และโพแทสเซียม (550-1600 พีพีเอ็ม) ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูงมาก แคลเซียม (2000-6600 พีพีเอ็ม) และแมกนีเซียม (240-1500 พีพีเอ็ม) ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง ผลการศึกษานี้สามารถระบุได้ว่าตะกอนดังกล่าวไม่จัดเป็นของเสียอันตราย น่าจะมีการศึกษาและพัฒนาต่อไปเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับสภาพหรือเป็นปุ๋ยต่อไปโดยเน้นที่การนำไปใช้ประโยชน์ภายในนิคมอุตสาหกรรมเป็นอันดับแรก

ภาควิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม...  
สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม...  
ปีการศึกษา...2549.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ชัญญา หาวารี.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

## 4770259521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: INDUSTRIAL SLUDGE / HEAVY METAL / LEACHABILITY TEST / TCLP / EXTRACTION PROCEDURES

CHANANYA HAWAREE : EVALUATION OF INDUSTRIAL UTILIZATION POTENTIAL BY HEAVY METAL LEACHABILITY TEST. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph. D., 127 pp. ISBN 974-14-2507-4.

This research studied the potential of industrial sludge utilization. Sludge were obtained from the filter press of 3 units of Industrial Estate's central wastewater treatment plant. The composit sludge samples were constantly collected for 3 months and then analyzed. Themes of analysis covered both physical and chemical properties, including sieve analysis, pH and humidity. The Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) was compare with Sequential Extraction Procedures, Microwave digestion method and Leachate Extraction Procedures for taken into account in the analysis as required by the Notification of the Ministry of Industry no.6 (B.E. 2540). Moreover, industrial sludges were also analyzed in aspects like organic quantity, the ratio of carbon to nitrogen, the amount of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium; all determined the extent to which industrial sludges could transform into fertilizer. The results of Microwave digestion method indicated that the sludge contained high concentration of copper, iron, manganese and zinc. The results of Sequential Extraction Procedures showed that during step 3 and step 4 indicated that copper, zinc, manganese and iron were extracted. The results was related to that of Microwave digestion method. The results of Sequential Extraction Procedures step 5 considering as residual which remain high concentration of heavy metals. The concentration of heavy metals obtained from The Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) and Leachate Extraction Procedures were within the standard limit according to the Notification of the Ministry of Industry no.6 (B.E. 2540). The results implied that industrial sludges are considering as nonhazardous waste and contained 6.1-30.1% which was considering as high organic content. Other substances include carbon to nitrogen in a ratio of 3.15-17.26, phosphorus 46-921 ppm and potassium 550-1600 ppm, which was considering as very high level. The amounts of calcium and magnesium were also high; scoring at 2000-6600 ppm and 240-1500 ppm respectively. It can be conclude from these results that industrial sludges are considering as nonhazardous waste and with further study can be transformed into fertilizer particularly for use in Industrial Estates.

Department.....Environmental Engineering. Student's signature.....Chananya Hawaree  
 Field of study...Environmental Engineering.. Advisor's signature.....Petchporn Chawakitchareon  
 Academic year .... 2006.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไข และสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น และคำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณบริษัทโกบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (GUSCO) ที่อนุเคราะห์วัสดุและข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้อทั้งอุปกรณ์ สถานที่ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เงินทุน ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย

ความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ ความรัก การสนับสนุน ทั้งด้านกำลังทรัพย์ คำปรึกษา และกำลังใจ ที่มีให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคน โดยเฉพาะ พี่พุท พี่เป้ง ตาล แก้ว จุน กิ๊ฟ ปัด ที่คอยช่วยเหลือเป็นอย่างดีทั้งในขณะศึกษาและดำเนินงานวิจัย

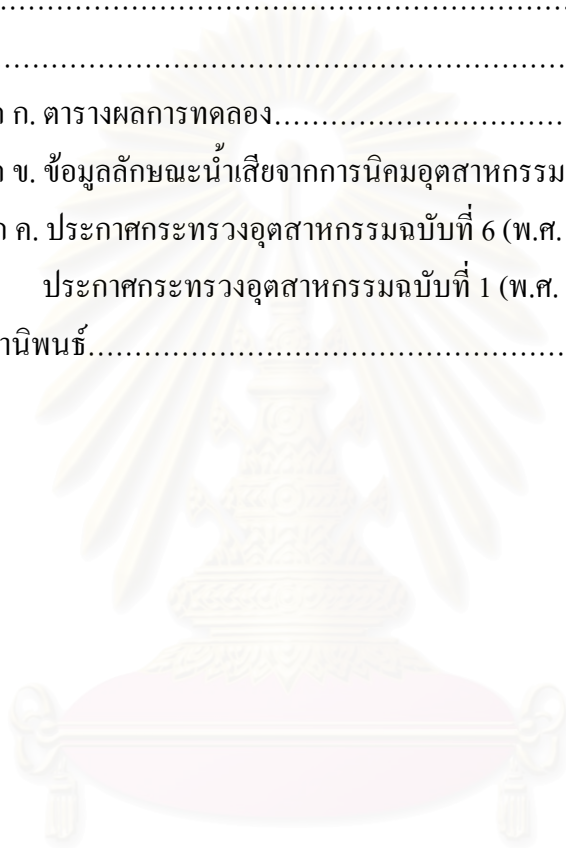
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 สลัดจ์.....	3
2.2 นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	3
2.2.1 การกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	3
2.2.2 ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	4
2.2.3 การจัดการตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรม.....	4
2.3 การบำบัดและกำจัดกากตะกอน.....	6
2.3.1 วิธีการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย.....	7
2.3.2 การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.....	8
2.4 การกำจัดและบำบัดของเสียอันตราย.....	11
2.5 การวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในตะกอน.....	12
2.5.1 การวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของดิน.....	12
2.5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี.....	12
2.6 การทดสอบการชะละลาย.....	20
2.6.1 วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ.....	20
2.6.2 วิธีการสกัดตามลำดับขั้น.....	21
2.6.3 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure.....	24

	หน้า
2.6.4 วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	25
2.7 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.....	33
3.1.1 วัตถุประสงค์.....	33
3.1.2 สารเคมี.....	33
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	34
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	34
3.2.1 การทดลองที่ 1 การเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอน.....	34
3.2.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาขนาดเม็ดตะกอน.....	37
3.2.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ของตะกอน.....	37
3.2.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนัก จากตะกอน.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	44
4.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดตะกอนด้วยตะแกรงร่อน.....	44
4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	46
4.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ.....	46
4.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี.....	48
4.3 ความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน .....	50
4.3.1 การย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ .....	50
4.3.2 การสกัดโลหะหนักด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้น.....	55
4.3.3 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure .....	62
4.3.4 วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	68
4.4 สรุปเปรียบเทียบวิธีการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน.....	72
4.4.1 วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับชั้น..	72
4.4.2 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure และ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	78



	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก ข. ข้อมูลลักษณะน้ำเสียจากการนิคมอุตสาหกรรม.....	110
ภาคผนวก ค. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541).....	117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	127



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง...	3
2.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง.....	4
2.3 ข้อมูลการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร...	4
2.4 ข้อมูลประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	5
2.5 ลักษณะพื้นที่ของลานตากตะกอนและเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบัง และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	6
2.6 ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอน.....	9
2.7 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547)..... เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน.....	10
2.8 แสดงการประเมินผลการตรวจสอบเนื้อดิน.....	13
2.9 แสดงการประเมินระดับพีเอชที่มีผลกระทบต่อดินและพืช.....	13
2.10 แสดงระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชนิดของพืช.....	14
2.11 แสดงการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและผลกระทบที่มีต่อพืช.....	15
2.12 การประเมินฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์และผลกระทบที่มีต่อพืช.....	17
2.13 การประเมินโพแทสเซียมในดินและผลกระทบที่มีต่อพืช.....	18
2.14 การประเมินแคลเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์และผลที่กระทบต่อพืช.....	19
2.15 แสดงการประเมินแมกนีเซียม.....	19
2.16 ระดับมาตรฐานของปริมาณ โลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวง อุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)หรือ Maximum Concentration of Contaminants for Toxicity Characteristic (US EPA) .....	27
3.1 วิธีวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีในตะกอน.....	39
3.2 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลายที่ใช้ในการวิจัย.....	43
4.1 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	45
4.2 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	45
4.3 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	45

ตารางที่	หน้า
4.4 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	47
4.5 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	47
4.6 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	47
4.7 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	48
4.8 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	48
4.9 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	48
4.10 เปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและ..... นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	50
4.11 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	51
4.12 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	52
4.13 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	54
4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้น (Sequential Extraction) ชั้นที่ 1.....	56
4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้น (Sequential Extraction) ชั้นที่ 2.....	56
4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้น (Sequential Extraction) ชั้นที่ 3.....	57
4.17 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้น (Sequential Extraction) ชั้นที่ 4.....	57
4.18 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้น (Sequential Extraction) ชั้นที่ 5.....	58
4.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง .....	60

ตารางที่	หน้า
4.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	63
4.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	64
4.22 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	65
4.23 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	69
4.24 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	70
4.25 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	71
4.26 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลาย..... ไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับขั้นของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	73
4.27 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลาย..... ไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับขั้นของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	75
4.28 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลาย..... ไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับขั้นของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	77
4.29 การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี TCLP.....	79
4.30 การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Extraction Procedure.....	79
4.31 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดสาร..... Extraction Procedure.....	80
4.32 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดตามลำดับขั้น..... ที่ 1 และ ขั้นที่ 2.....	81
ก.1 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (มก./ล.).....	89
ก.2 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (มก./ล.).....	90
ก.3 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (มก./ล.).....	91
ก.4 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (มก./ก.).....	92

ตารางที่	หน้า
ก.5 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (มก./ก.).....	93
ก.6 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (มก./ก.).....	94
ก.7 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ล.) ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) เพื่อแยกสารที่มี ความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย.....	95
ก.8 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ล.) ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต ( $NaOAc$ ) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต.....	96
ก.9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ล.) ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ( $NH_2.OH.HCl$ ) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์.....	97
ก.10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ล.) ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ( $NH_4OAc$ ) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์.....	98
ก.11 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ก) ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) เพื่อแยกสารที่มี ความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย.....	99
ก.12 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ก) ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต ( $NaOAc$ ) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต.....	100
ก.13 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ก) ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ( $NH_2.OH.HCl$ ) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์.....	101
ก.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ก) ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ( $NH_4OAc$ ) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์.....	102
ก.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ก) ขั้นที่ 5 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ.....	103

ตารางที่	หน้า
ก.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบังเฟส 1-2.....	104
ก.17 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบังเฟส 3.....	105
ก.18 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม สมุทรสาคร.....	105
ก.19 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2.....	106
ก.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedureของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	107
ก.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedureของตะกอน จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.....	108
ก.22 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง....	109
ก. 23 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้นที่ 1 และ ขั้นที่ 2.... ของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง.....	109
ข. 1 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนมิถุนายนปีพ.ศ. 2548...	111
ข. 2 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนกรกฎาคมปีพ.ศ.2548...	112
ข. 3 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนสิงหาคมปีพ.ศ. 2548....	113
ข. 4 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนสิงหาคมปีพ.ศ.2548....	114
ข. 5 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนกันยายนปีพ.ศ.2548....	115
ข. 6 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนตุลาคมปีพ.ศ.2548.....	116

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องรีดตะกอนและตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	4
2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น.....	23
3.1 ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์.....	35
3.2 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)	35
3.3 เครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ Model ETHOS SEL.....	36
3.4 วิธีการแบ่งสี่ (quartering) ตาม AASHTO T-248.....	36
4.1 ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและสมุทรสาคร.....	46
4.2 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ.....	51
4.3 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ.....	53
4.4 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. - ต.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ.....	54
4.5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 .....	61
4.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3.....	61
4.7 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.. .....	61
4.8 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธี TCLP.....	65
4.9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธี TCLP.....	66
4.10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. – ต.ค. จากวิธี TCLP.....	66
4.11 ตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง หลังอบเพื่อทดสอบการชะละลาย.....	67
4.12 น้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง ก่อนทำการกรอง.....	67
4.13 น้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง หลังทำการกรอง.....	67

รูปที่	หน้า
4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	69
4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	70
4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. - ต.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure.....	71



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สัญลักษณ์และคำย่อ

LB 1-2	=	นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2
LB 3	=	นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3
SK	=	นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร
TCLP	=	Toxicity Characteristic Leaching Procedure



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนิคมอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้นทุกๆ ปี เป็นเหตุให้น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีมากขึ้นตามไปด้วย การบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมแต่ละแห่งพบว่า มีปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยกว่า 4 แสนลูกบาศก์เมตรต่อเดือน โดยน้ำเสียดังกล่าวหลังจากผ่านกระบวนการรีดตะกอนแล้วพบว่ายังมีปริมาณตะกอนคงเหลือเฉลี่ยกว่า 400 ตันต่อเดือน ซึ่งปัจจุบันกากตะกอนดังกล่าวทางนิคมอุตสาหกรรมจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพื่อการฝังกลบต่อไป โดยค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตะกอนว่าจัดอยู่ในประเภทของเสียอันตรายหรือไม่ ในกรณีที่ตะกอนดังกล่าวไม่มีลักษณะที่เป็นอันตราย การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์น่าจะเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง ซึ่งนอกจากสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำตะกอนไปฝังกลบแล้วยังสามารถพัฒนาการนำตะกอนไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ภายในนิคมอุตสาหกรรม อาทิเช่น การพัฒนาเพื่อใช้ปรับสภาพดินหรือใช้เป็นปุ๋ยเชิงเกษตรกรรม เป็นต้น

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นการศึกษาเบื้องต้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบลักษณะสมบัติของตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมว่าจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ โดยทำการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับขั้น ศึกษาถึงผลการชะละลายปริมาณของโลหะหนักจากตะกอน โดยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เพื่อเป็นแนวทางประกอบการพิจารณาในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ของนิคมอุตสาหกรรม และทดสอบศักยภาพเบื้องต้นของตะกอนในด้านการใช้เป็นปุ๋ย (Basic Soil Fertility Test)
2. ทดสอบหาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากตะกอน

3. จำแนกประเภทตะกอนว่าเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ โดยทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอนโดยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure เพื่อเป็นแนวทางประกอบการพิจารณาในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไป
4. ประเมินศักยภาพในการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนซึ่งผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ ของนิคมอุตสาหกรรมจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร โดยแต่ละแห่งทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมรวม (Composit sample) เดือนละครั้ง เป็นเวลา 3 เดือน

2. วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนรวมถึงทดสอบศักยภาพเบื้องต้นของตะกอนในด้านการใช้เป็นปุ๋ย (Basic Soil Fertility Test)

3. ทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากตะกอน และทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร โดยวิธีสกัดสาร TCLP และวิธีสกัดสาร Extraction Procedure เพื่อตรวจสอบว่าตะกอนจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่

4. เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากตะกอน เพื่อเป็นแนวทางประกอบการพิจารณาในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไป

การพิจารณาลักษณะสมบัติของตะกอนและปริมาณโลหะหนักในตะกอนจะทำให้ทราบถึงศักยภาพในการนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการนำตะกอนไปกำจัดโดยการฝังกลบ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สลัดจ์ (Sludge)

หมายถึง กากตะกอนที่มีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่อยู่ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นจะทำให้เกิดกากตะกอน (สลัดจ์) ขึ้นเสมอ ไม่ว่าจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใด กากตะกอนที่ได้จะแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์และกากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ กากตะกอนเหล่านี้ถ้าทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือพื้นดินจะยังสามารถย่อยสลายได้อีก เนื่องจากยังอยู่ในสภาพไม่คงตัว (unstable) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดกากตะกอนจนได้กากตะกอนที่มีสภาพคงตัว (stable) ซึ่งไม่ย่อยสลายก่อนนำไปกำจัดด้วยวิธีการต่างๆ ต่อไป

#### 2.2 นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

##### 2.2.1 การกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร จะรวบรวมน้ำเสียของแต่ละโรงงานภายในพื้นที่ของนิคมอุตสาหกรรมมาทำการบำบัด ปัจจุบันตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 มีปริมาณเฉลี่ย 10 ตันต่อวัน (ตารางที่ 2.1) มีค่าเฉลี่ย (กุมภาพันธ์ 47- กุมภาพันธ์ 48) ของปริมาณตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังที่ถูกนำไปกำจัดเท่ากับ 351 ตันต่อเดือน (ตารางที่ 2.2) และตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครซึ่งมีค่าเฉลี่ย (กุมภาพันธ์ 47- กุมภาพันธ์ 48) เท่ากับ 280 ตันต่อเดือน โดยตะกอนของการนิคม อุตสาหกรรมทั้ง 2 แห่งจะนำไปฝังกลบที่จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง	อัตราขันทิ้ง (ตัน/วัน)	ความถี่ (วัน/สัปดาห์)
เฟส 1-2	10	6
เฟส 3	10	3

ที่มา : บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (GUSCO), 2548

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง	Sludge Volume (m <sup>3</sup> )	% Solid Content
ค่าเฉลี่ย (กุมภาพันธ์ 47- กุมภาพันธ์ 48)	351	-

ที่มา : บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (GUSCO), 2548

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการขนตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนไปกำจัดทิ้งของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร	Sludge Volume (m <sup>3</sup> )	% Solid Content
ค่าเฉลี่ย (กุมภาพันธ์ 47- กุมภาพันธ์ 48)	280	19.28
สิงหาคม 48	270	19
กันยายน 48	140	19
ตุลาคม 48	312	19

ที่มา : บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (GUSCO), 2548

## 2.2.2 ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

โรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร สามารถแบ่งประเภทของโรงงานได้ดังตารางที่ 2.4

### 2.2.3 การจัดการตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรม

การจัดการตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ทำการกำจัดโดยใช้เครื่องรีดตะกอนและลานตากตะกอน ดังสรุปในตารางที่ 2.5 และลักษณะตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครื่องรีดตะกอนและตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง  
และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

ลำดับ	ประเภทโรงงาน	นิคมฯ ลาดกระบัง	นิคมฯ สมุทรสาคร
1	Others	73	11
2	Fertilizers paint and chemical products	10	13
3	Electrical appliances and electronics	31	2
4	Motors machinery and parts	24	4
5	Iron and metal products	8	13
6	Plastic products and initiative leathers	32	14
7	Food and beverages	11	21
8	Vehicles and transportation	22	-
9	Textiles and fabrics	4	21
10	Wood and furniture	3	3
11	Leather products and garments	11	-
12	Musical instruments sports and games equipment	12	3
13	Oil and energy	2	5
14	Offices, warehouse	3	-
15	Paper and printings	4	-
16	Jewelry	11	-
17	Glasses mirror and ceramic	9	-
18	Cement construction materials and equipment	3	-
19	Cosmetic & Drug	3	1
20	Agriculture and agricultural products	-	3
<b>TOTAL</b>		<b>276</b>	<b>114</b>

ที่มา : บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิสเซส จำกัด (GUSCO), 2548

**ตารางที่ 2.5** ลักษณะพื้นที่ของลานตากตะกอนและเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรม  
ลาดกระบังและนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

	นิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบังเฟส 1-2	นิคมอุตสาหกรรม ลาดกระบังเฟส 3	นิคมอุตสาหกรรม สมุทรสาคร
ลานตากตะกอน	ขนาด 2 x 5 x 0.3 ม <sup>2</sup> จำนวน 2 ลาน ขนาด 2 x 8 x 0.3 ม <sup>2</sup> จำนวน 1 ลาน	ลานตากตะกอนไม่ได้ ใช้งานแล้ว	ขนาด 8 x 3.5 x 0.3 ม <sup>2</sup> จำนวน 16 ลาน
เครื่องรีดตะกอน	1 เครื่อง	1 เครื่อง	1 เครื่อง
เวลาเดินเครื่อง	เวลา 8.00 – 19.00 น. ทุกวันจันทร์ – เสาร์		
ตะกอนที่รีดแล้ว	ฝังกลบที่จังหวัดชลบุรี		

ที่มา : บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด (GUSCO), 2548

### 2.3 การบำบัดและกำจัดกากตะกอน (Sludge Treatment and Disposal)

กากตะกอนที่ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งจากกระบวนการทางกายภาพ ทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพ-เคมี จำเป็นต้องทำการบำบัดเสียก่อน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของกากตะกอนการเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย ก่อนที่จะนำไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ต่อไป การบำบัดกากตะกอนประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่

ก. การทำชั้น (Thickener) โดยใช้ถังทำชั้น ซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) และ ใช้กลไกการลอยตัว (Floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณกากตะกอนก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป

ข. การทำให้กากตะกอนคงตัว (Stabilization) โดยการย่อยกากตะกอนด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือใช้กระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในกากตะกอน ทำให้กากตะกอนคงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

ค. การปรับสภาพกากตะกอน (Conditioning) เพื่อทำให้กากตะกอนมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น

ง. การรีดน้ำ (Dewatering) เพื่อลดปริมาณกากตะกอนที่จะนำไปทิ้ง โดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (Filter press) หรือเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รวมถึงลานตากตะกอน (Sludge drying bed)

### 2.3.1 วิธีการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

หลังจากกากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาตรลดลงเพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้วต้องมีการนำกากตะกอนเหล่านั้นไปกำจัดทิ้งโดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

2.3.1.1 การฝังกลบ (Landfill) เป็นการนำกากตะกอนมาฝังในสถานที่ซึ่งจัดเตรียมไว้และกลบด้วยชั้นดินทับอย่างถูกต้องสุขาภิบาล แล้วทำการบดอัดพื้นที่ให้แน่นเพื่อป้องกันปัญหา กลิ่นเหม็น และแมลงต่างๆรบกวนบริเวณใกล้เคียง ระบบการระบายน้ำฝนของบริเวณถมที่จะต้องมีการระบายน้ำฝนที่ดีและต้องมีระบบป้องกันการไหลซึมลงไปในพื้นที่ดิน ซึ่งอาจต้องใช้แผ่นยางปูบริเวณส่วนล่างของพื้นที่

2.3.1.2 การหมักทำปุ๋ย (Composting) กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีสารเคมีที่มีพิษอันตราย เช่น โลหะหนัก ยาปราบศัตรูพืช เป็นต้น อาจนำมาใช้ทำปุ๋ยจากกากตะกอนค่อนข้างแห้ง โดยวิธีการทำปุ๋ยจากกากตะกอนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีคือ

#### ก. ระบบทั่วไปของการทำปุ๋ย

เป็นระบบที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วสามารถนำกากตะกอนที่เป็นปุ๋ยแล้ว ไปใช้กับการปรับสภาพดินได้ดี จุลชีพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำปุ๋ย ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และ กลุ่มแบคทีเรียเส้นใย (Actinomycetes) โดยทั่วไปในระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยจะมีกระบวนการที่เกิดขึ้นอยู่ 3 ขั้นตอน คือ 1.) Mesophile 2.) Thermophile 3.) ทำให้เย็นลง ขั้นตอน Mesophile จะค่อยๆ เกิดขึ้นจากเดิมที่มีอุณหภูมิปกติในบรรยากาศได้ถูกเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดพวกแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกรดและเชื้อรา จากนั้นจะค่อยๆ เกิดขั้นตอน Thermophile คือจาก 40 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 70 องศาเซลเซียส จึงเกิดแบคทีเรียชนิด Thermophilic Bacteria เกิดพวก กลุ่มแบคทีเรียเส้นใย และเกิดพวก Thermophilic fungi ขั้นตอนนี้จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างเต็มรูปแบบ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนทำให้เย็นลง คือจะทำให้ลดการทำงานของจุลินทรีย์ พวกจุลินทรีย์ของ Thermophilic จะลดลงแต่จะมีพวกแบคทีเรียชนิด Mesophilic และพวกเชื้อราเพิ่มขึ้น ในขั้นตอนทำให้เย็นลงนี้ จะเกิดการระเหยของน้ำในปุ๋ยที่เพิ่งผลิตได้นี้ และขณะเดียวกันจะทำให้พีเอชถูกปรับให้อยู่ในสภาพเสถียรขึ้น



ในกระบวนการทำปุ๋ยมีขั้นตอนการทำอยู่ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ผสมกากตะกอนค่อนข้างแห้งกับสารอีด (Bulking agent) 2) ทำการเติมอากาศให้กากตะกอนได้สัมผัสกับอากาศได้ทั่วถึง ซึ่งอาจใช้เครื่องเป่าอากาศ หรือใช้การกลับไปกลับมาให้สัมผัสกับอากาศก็ได้ 3) นำสารอีดที่ใช้กลับคืนออกมา 4) ทำการบ่มและเก็บไว้ต่อไปอีกระยะหนึ่ง 5) นำไปใช้เป็นปุ๋ยต่อไป

#### ข. Aerated Static Pile

เป็นระบบที่มีการติดตั้งระบบท่อเป่าอากาศ ถูวางทับถมด้วยกองกากตะกอนที่ผสมกับสารอีด โดยปกติจะทำการเป่าอากาศประมาณ 21-28 วัน และปล่อยทิ้งไว้อีก 30 วัน หรือนานกว่านั้น โดยปกติกองกากตะกอนเหล่านี้จะมีความสูง 2-2.5 เมตร บริเวณผิวบนของกองกากตะกอนจะมีพวกปุ๋ยที่ผลิตได้แล้ว มาปกคลุมกองกากตะกอน เพื่อเป็นตัวปกคลุมไม่ให้อุณหภูมิภายในกองเปลี่ยนแปลงไปมากนัก

#### ค. Windrow

ระบบนี้มีการวางกองกากตะกอนเหมือนกับของระบบ Aerated Static Pile มีกองกากตะกอนสูง 1-2 เมตร จะมีการกวานของกากตะกอนภายในกองอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการใช้เครื่องเติมอากาศเข้าช่วย โดยปกติระบบนี้จะมีการกวานกันอย่างต่ำ 5 ครั้ง โดยมีอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส และจะใช้เวลาในการหมักประมาณ 21 – 28 วัน ซึ่งอาจใช้ Bulking agent ผสมกับกากตะกอนด้วย

#### ง. In – Vessel Composting System

เป็นระบบที่ทำการหมักปุ๋ยในถังเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นรบกวน การควบคุมสภาพแวดล้อมทั่วไปของระบบได้แก่ อัตราไหลเข้าของอากาศ อุณหภูมิ และความเข้มข้นของออกซิเจน ถึงที่ใช้กันอยู่มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบถังไหลตามกัน (Plug – flow Systems) และแบบการกวาน (Dynamic System)

2.3.1.3 การเผา (Incineration) เป็นการนำกากตะกอนที่ค่อนข้างแห้งมาเผาโดยไม่จำเป็นต้องทำการย่อยสลายก่อนเข้าระบบนี้ ระบบนี้จะทำให้ปริมาณลดลงอย่างมาก สามารถฆ่าเชื้อโรคและกำจัดสารพิษได้ค่อนข้างมากกว่าระบบอื่น และยังสามารถนำพลังงานที่ได้จากการเผากลับมาใช้ได้ แต่ระบบนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและต้องมีผู้ควบคุมระบบได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย

### 2.3.2 การนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนมีความเป็นไปได้ เพราะกากตะกอนมีคุณสมบัติในการเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งมีอยู่มากในกากตะกอน ตารางที่ 2.6 ได้แสดงข้อมูลเปรียบเทียบธาตุ

อาหารของปุยที่ใช้กันทั่วไปกับกากตะกอน จะเห็นว่ากากตะกอนมีธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากพอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับปุยโดยทั่วไป

**ตารางที่ 2.6** ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุยกับกากตะกอน  
(เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ปุยทั่วไป	5	10	10
กากตะกอน	3.3	2.3	0.3

การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ควรคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินของการปนเปื้อนสารอันตรายที่ยอมให้มีในดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่สัมผัสดินทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ดังตารางที่ 2.7

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศ  
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ดัชนีคุณภาพดิน	ค่ามาตรฐาน (มก./กก.)	ค่ามาตรฐาน (มก./ก.)
<b>1.สารอินทรีย์ระเหยง่าย</b>		
เบนซีน (Benzene)	6.5	0.0065
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	2.5	0.0025
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	3.5	0.0035
1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	0.5	0.0005
ซิส-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	43	0.043
ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	63	0.063
ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	89	0.089
เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	230	0.23
สไตรีน (Styrene)	1,700	1.7
เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	57	0.057
โทลูอีน (Toluene)	520	0.52
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	28	0.028
1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	630	0.63
1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	8.4	0.0084
ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	210	0.21
<b>2.โลหะหนัก</b>		
สารหนู	3.9	0.0039
แคดเมียม	37	0.037
โครเมียม	300	0.3
ตะกั่ว	400	0.4
แมงกานีส	1,800	1.8
ปรอท	23	0.023
นิกเกิล	1,600	1.6
ซีลีเนียม	390	0.39

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547

## 2.4 การกำจัดและบำบัดของเสียอันตราย

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA) ได้ให้ความหมายของเสียอันตรายไว้ว่า ของเสียอันตรายเป็นกากของเสีย หรือมีส่วนผสมของกากของเสีย ที่มีปริมาณความเข้มข้น หรือมีคุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ หรือมีลักษณะที่ทำให้ติดเชื้อโรค ที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยทันทีทันใด หรือในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือเกิดการตายอย่างเฉียบพลัน ซึ่งกากของเสียอันตรายนี้ หากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับประเทศไทยตามท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) สามารถแยกประเภทของของเสียอันตรายได้ ได้แก่

1. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภท สารไวไฟ (Ignitable substances) สารกัดกร่อน (Corrosive substances) สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances) สารพิษ (Toxic substances) และสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances)
2. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดไม่จำเพาะประเภทหรือไม่จำเพาะชนิด (Non-specific sources) และจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด (Specific sources)
3. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะและคุณสมบัติเป็นเคมีภัณฑ์ที่ไม่ใช้แล้วหรือเสื่อมคุณภาพ (Discarded) หรือไม่ได้คุณภาพตามกำหนด (Off-specification) หรือเป็นเศษเคมีภัณฑ์ในภาชนะบรรจุหรือเศษวัสดุใดๆที่ใช้ทำความสะอาดและถูกปนเปื้อนด้วยเคมีภัณฑ์ที่หกหล่น (Container and spill residues)
4. สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติเป็นของเสียเคมีวัตถุ (Chemical waste)

ในการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังกลบของเสียอันตราย สามารถทำได้หลายวิธี โรงงานอุตสาหกรรมที่มีของเสียอันตรายที่เหลือจากการผลิตจะต้องดำเนินการโดยวิธีการบำบัดหรือการกำจัด หรือหลายๆ วิธีรวมกัน ตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียหากยังเป็นของเสียอันตรายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) จะต้องมีการจัดการที่ถูกต้องต่อไป และหากไม่เป็นของเสียอันตราย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) สามารถนำตะกอนมาพัฒนาคุณภาพเพื่อใช้ในการนำกลับไปใช้ประโยชน์อีกต่อไปได้

## 2.5 การวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในตะกอน

### 2.5.1 การวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของดิน (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

การตรวจสอบเนื้อดิน (texture) เนื่องจากเนื้อดินเป็นสมบัติบ่งบอกถึงขนาดของอนุภาคดินต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นดิน แม้ว่าเนื้อดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชโดยตรง แต่เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนควบคุมให้สมบัติต่างๆ ดินผิดปกติไป ทำให้ไม่เหมาะสมต่อพืชบางชนิดหรือก่อให้เกิดการเหมาะสมต่อพืชบางชนิดได้เช่นกัน อาทิ การดูดซับน้ำ การดูดซับธาตุอาหาร การยึดราก การถ่ายเทอากาศ และการแลกเปลี่ยนก๊าซในช่องว่างภายในดิน เป็นต้น

การจัดจำแนกขนาดของอนุภาคดินมีหลายระบบแต่ส่วนใหญ่ใช้ตามมาตรฐานสากลของสมาคมดินนานาชาติ (International soil society) โดยอนุภาคดินทราย (sand) มีขนาด 0.02 – 2.0 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคดินตะกอน (silt) ระหว่าง 0.002 – 0.02 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคดินเหนียว (clay) เล็กกว่า 0.0025 มิลลิเมตร

แม้ว่าเนื้อดินจะมีผลทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ก็สำคัญไม่น้อยเพราะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับพืชตั้งแต่เริ่มทำการปลูกพืช เป็นปัจจัยหนึ่งที่พืชใช้ในการยึดลำต้น และเป็นแหล่งสำคัญสำหรับแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร อากาศ และน้ำ การวิเคราะห์เนื้อดินจึงพอประเมินถึงผลกระทบของเนื้อดินที่จะมีผลต่อพืชที่ปลูกได้อย่างกว้างๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.8

### 2.5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### 2.5.2.1 การวิเคราะห์ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH)

เป็นค่าบ่งบอกระดับความเข้มข้นความเป็นกรดของดิน ในค่าของปริมาณกรดจริง (active acidity) และกรดแฝง (potential acidity) โดยค่าพีเอชของดินไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่มีผลกระทบทางอ้อมในการวิเคราะห์หากพบว่าดินเป็นกรดหรือดินเป็นด่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.9 นอกจากนี้ระดับพีเอชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชในดินแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดเนื้อดิน

ตารางที่ 2.8 แสดงการประเมินผลการตรวจสอบเนื้อดิน

เนื้อดิน	ส่วนประกอบ	สภาพทางการเกษตร
ดินทราย	กลุ่มดินที่มีอนุภาคเป็นทราย ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์	ดินไม่อิ่มน้ำ หน้าดินจะแห้งเร็ว ธาตุอาหารและน้ำจะไม่ถูกยึดไว้ที่ผิวดิน มีธาตุอาหารสูญเสีย ออกจากดินง่ายมาก ช่องว่างขนาดใหญ่จะมีมากกว่าช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้มีการถ่ายเทอากาศดีและการระบายน้ำดีมาก ดินไม่เกาะตัวเป็นก้อน ดินตอบสนองต่อปุ๋ยและปุ๋ยได้เร็ว พืชสามารถใช้ได้ทันทีที่ได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ดินต้องมีการปรับปรุง
ดินร่วน	กลุ่มดินที่มีอนุภาคดินทราย ดินตะกอนและดินเหนียว อย่างละเท่าๆ กัน	ดินอุ้มน้ำได้ดี น้ำจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่าดินอื่น ธาตุอาหารจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวดินบางส่วน ทำให้การสูญเสียไปยากขึ้น พืชสามารถดูดธาตุอาหารและน้ำเข้าไปได้ง่าย การซึมซับน้ำดี ช่องว่างขนาดใหญ่ใกล้เคียงช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้มีอากาศถ่ายเท ดินมีธาตุอาหารระดับปานกลางเป็นดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืช
ดินเหนียว	กลุ่มดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์	ดินอุ้มน้ำได้ดีมาก น้ำเป็นประโยชน์ได้น้อยกว่าดินร่วน เพราะน้ำถูกดูดไว้ที่ผิวของเม็ดดินด้วยแรงที่สูงมาก และธาตุอาหารก็ถูกดูดยึดไว้ได้มาก เช่นเดียวกับการเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับสภาพดินเปียก หรืออยู่ในสภาพแห้ง สภาพดินเปียกพืชจะใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าดินแห้ง ดินแห้งจะมีปัญหาเกี่ยวกับพืชที่ปลูก ช่องอากาศจะมีน้อยกว่าช่องน้ำการถ่ายเทอากาศไม่ดี การระบายน้ำเลว ธาตุอาหารอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ดินต้องมีการปรับปรุง

ที่มา : มุกดา สุขสวัสดิ์ (2544)

ตารางที่ 2.9 แสดงการประเมินระดับพีเอชที่มีผลกระทบต่อดินและพืช

พีเอช	การประเมิน	ผลกระทบต่อพืช
มากกว่า 7.0	ต่ำ	พืชดูดธาตุอาหารบางธาตุได้น้อย โดยเฉพาะจุลธาตุ ดินต้องได้รับการปรับปรุง
6.0 - 7.0	กรดอ่อนกลาง	พืชเจริญเติบโตได้ดี
5.5 - 6.0	กรดปานกลาง	ผลกระทบต่อพืชบางชนิด ดินต้องได้รับการปรับปรุง
4.5 - 5.5	กรดจัด	ผลกระทบต่อพืชบางชนิด สารพิษบางชนิดละลายได้ ดินต้องได้รับการปรับปรุง
น้อยกว่า 4.5	กรดรุนแรง	สารพิษหลายชนิดละลายได้ ดินต้องได้รับการปรับปรุง

ที่มา : อภิรดี อิ่มเอิบ (2534, 2542)

นอกจากนี้ระดับพีเอชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชในดินแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดเนื้อดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมในดินอินทรีย์ (organic soil) จะต่ำกว่าดินแร่ (mineral soil) ดินแร่ที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่นั้นพีเอชของดินที่เหมาะสมกับพืชจะสูงขึ้นตามสัดส่วนของดินเหนียวที่เพิ่มขึ้น และในดินอินทรีย์ควรรักษาระดับพีเอชไม่ให้สูงเกินไป ทั้งนี้เพราะดินมีปริมาณธาตุอาหารต่ำ ความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารจะลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น โดยเฉพาะอนุมูลของฟอสเฟต บอเรต แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี

ดินที่มีพีเอชต่ำกว่า 6.0 แสดงว่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับที่อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชบางชนิด เนื่องจากสารพิษที่สามารถละลายได้ดีในช่วงพีเอชต่ำ ดินที่มีสารพิษจำเป็นต้องใส่ปูน เพื่อจัดสารพิษให้ออกไปอยู่ในรูปที่ไม่อาจทำอันตรายแก่พืชได้ ปริมาณปูนที่ใส่จะหาได้ด้วยวิธีการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ของวูดดราฟฟ์ (Wooddraf's buffer solution) ที่ปรับพีเอชให้เป็น 7.0 ใส่ไปในตัวอย่างดินที่วัดพีเอชได้ต่ำกว่า 6.0 จำนวน 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ ½ ถึง 1 ชั่วโมง แล้วจึงวัดพีเอช ค่าพีเอชที่ได้ใหม่นี้ปกติจะต่ำกว่าพีเอช 7.0 แล้วนำค่าที่แตกต่างกันจากการวัด 2 ครั้ง ไปใช้ในการคำนวณปริมาณปูนแคลเซียมคาร์บอเนตที่จำเป็นต้องใส่ในดิน 1 ไร่ โดยหาได้จากกราฟไตเตรชันของบัฟเฟอร์กับกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

ดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6.0 ในดินที่มีสารพิษจำเป็นต้องปรับสภาพดินด้วยปูน ยกเว้นดินที่ไม่มีสารพิษและมีแคลเซียมพอควร ให้พิจารณาปรับพีเอชได้เมื่อดินมีพีเอชต่ำกว่า 5.0 ถ้าดินมีแคลเซียมมากก็ไม่สมควรปรับพีเอชเพราะอาจเกิดสภาพเกินปูนได้ ทำให้ธาตุหลายชนิดเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 2.10 แสดงระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชนิดของพืช

ชนิดของดิน	ส่วนประกอบในดิน	ช่วงพีเอชที่เหมาะสม
	เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว	
ดินทราย	น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์	5.3 - 5.7
ดินทราย	5-10 เปอร์เซ็นต์	5.8 - 6.2
ดินร่วนปนทราย	10-15 เปอร์เซ็นต์	6.3 - 6.7
ดินร่วนถึงดินเหนียว	มากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์	7.0 - 7.5
	เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ	
ดินทรายอินทรีย์	5-10 เปอร์เซ็นต์	5.0
ดินทรายอินทรีย์	10-20 เปอร์เซ็นต์	4.8 - 5.0
ดินพรุ	มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์	3.8 - 4.0

ที่มา : อภิรดี อิมเอิบ (2534)

### 2.5.2.2 การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter)

ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอาหารอื่นๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ธาตุอาหารพืชเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกเมื่ออินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลาย โดยผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินใช้วิธี wet oxidation ของ Walkley Black (จำเป็น อ่อนทอง, 2547) แล้วคำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนกลับมาเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งในอินทรีย์วัตถุประกอบด้วยอินทรีย์คาร์บอน 58 % คือ เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน x 1.7241

การประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยทั่วไป สามารถบอกถึงผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและผลกระทบที่มีต่อพืช

อินทรีย์วัตถุ %	การประเมิน	ผลกระทบต่อพืช
น้อยกว่า 0.5	ต่ำมาก	ธาตุอาหารไม่เพิ่มขึ้น
0.5 – 1.5	ต่ำ	ธาตุอาหารเพิ่มน้อยมาก
1.5 – 2.5	ปานกลาง	ดินจับตัวและจับธาตุอาหารได้บ้าง พืชดูดธาตุอาหารง่าย แต่ธาตุอาหารเพิ่มน้อย
2.5 – 4.5	สูง	เพิ่มธาตุอาหาร พืชดูดธาตุอาหารดี ดินจับตัวและจับธาตุอาหารยับยั้งสมบัติทางเคมี
มากกว่า 4.5	สูงมาก	ระวังการมีไนโตรเจนสารพิษเพิ่มขึ้นและอาจสูงมากจนเป็นพิษต่อพืชได้

ที่มา : อภริตี อิมเอิบ (2534, 2542)

### 2.5.2.3 ธาตุอาหารหลักของพืช (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2540)

ก. ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นตัวที่ช่วยทำให้พืชสร้างโปรตีนได้อย่างเพียงพอ ธาตุไนโตรเจน แม้จะมีอยู่เป็นจำนวนมากในอากาศ กล่าวคือ มีเป็นองค์ประกอบของอากาศอยู่ร้อยละ 78 แต่ทั้งหมดจะอยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (N) ซึ่งพืชส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ธาตุไนโตรเจนที่รากพืชดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์เคมีเท่านั้น คือ แอมโมเนียมไนโตรเจน ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ), ไนเตรตไนโตรเจน ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ ) และ ยูเรียไนโตรเจน (Urea - N)



ไนโตรเจนในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปหรือแปรสภาพตลอดเวลาโดยจุลินทรีย์ดิน โดยกระบวนการแอมมิไนเซชันเพื่อนำเอาบางส่วนมาสร้างเซลล์ของพืชและจุลินทรีย์ และบางส่วนจะถูกแปรสภาพต่อไปอีกโดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปของสารประกอบเอมีน จากนั้นจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรต์และไนเตรตโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เพื่อให้พืชและจุลินทรีย์ดินนำไปใช้

ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชัน ได้แก่ การถ่ายเทอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน ปฏิกริยาในดิน ปริมาณไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ธาตุอาหารต่างๆ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกว้าง จะมีผลทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันไม่อาจจะดำเนินไปได้ เนื่องจากจุลินทรีย์จะแย่งไนโตรเจนไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์จนทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันต้องหยุดชะงักลง ซึ่งมีผลทำให้พืชที่ปลูกขาดธาตุไนโตรเจน ไนโตรเจนในดินสามารถสูญหายไปหลายทาง คือจากการนำไปใช้ของพืชและจุลินทรีย์ดิน จากกระบวนการชะล้าง (Leaching) จากการระเหยในรูปของก๊าซ (Volatilization) ทั้งจากกระบวนการทางชีวและกระบวนการทางเคมี

การวิเคราะห์และประเมินระดับไนโตรเจนในดิน จะวิเคราะห์ระดับของอินทรีย์วัตถุในดินเพื่อการประเมินไนโตรเจนด้วยเช่นกัน เพราะไนโตรเจนในดินประกอบด้วยรูปที่เป็นประโยชน์ (available nitrogen) ได้แก่ รูปของแอมโมเนียและไนเตรตไอออน แต่ปริมาณที่พบในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ดีในดิน จึงมีการเคลื่อนที่ สูญเสีย เปลี่ยนรูป แปรสภาพได้ง่ายและเร็วขึ้นกับสภาพแวดล้อมนั้นๆ ค่าที่วิเคราะห์ได้ จึงเป็นการบอกปริมาณไนโตรเจนในดินในขณะที่วิเคราะห์มากกว่าไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์นี้จึงเป็นค่าที่ไม่น่าเชื่อในการบอกสถานะของไนโตรเจนในดิน

การวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) วิเคราะห์หาโดยวิธีของเจดดาห์ (Kjeldahl) นี้ทำโดยการย่อยไนโตรเจนในดิน (รวมทั้งอินทรีย์ไนโตรเจนในดินด้วย) ให้เป็นแอมโมเนียมาจึงกลั่นให้เป็นแอมโมเนีย แล้วจึงไตเตรตหาปริมาณของแอมโมเนียที่กลั่นได้ ก็จะทราบค่าไนโตรเจนทั้งหมดของดิน ซึ่งค่าที่วิเคราะห์นี้เป็นการบอกปริมาณไนโตรเจนในดินทั้งหมด ที่นับรวมส่วนของไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุที่ยังไม่สลายตัวเข้าไปด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินบนที่ใช้เพาะปลูกทั่วไป มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.06 ถึง 0.51

ข. ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสทำหน้าที่สำคัญต่างๆ ทางด้านสรีระของพืช เช่น กระบวนการถ่ายเทพลังงาน นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบอยู่ในโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตในเซลล์ของพืช ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนั้นจะมาจากแร่และสารประกอบฟอสฟอรัสบางชนิดที่ละลายน้ำได้บ้าง ซึ่งในดินมักมีอยู่อย่างจำกัด จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาอยู่ในรูปของอนุมูลฟอสเฟต ในสภาพของสารละลาย ซึ่งอยู่ในรูปน้ำ

เท่านั้นที่รากพืชสามารถดูดดึงขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ความสามารถในการละลายหรือการปลดปล่อย ฟอสเฟต ไอออนสู่สารละลายดินจะต่างกันตามชนิดของสารฟอสเฟตและปฏิกิริยาของดิน ในดินที่มีพีเอชสูงหรือมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เหล็กฟอสเฟตหรืออลูมิเนียมฟอสเฟต สามารถปลดปล่อย ฟอสเฟต ไอออนออกมาสู่สารละลายดินได้ ถ้าลดพีเอช หรือเพิ่มความเป็นกรด เหล็กออกไซด์ หรือ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยาจับกับฟอสเฟต ไอออนละลายยากขึ้น ดินที่มีพีเอชอยู่ระหว่าง 6-7 จะมีฟอสเฟตที่อยู่ในรูปที่พืชจะใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด

ในการประเมินระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อภิรดี อิ่มเอิบ (2542) ได้จัดทำเกณฑ์ในการประเมินและผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 การประเมินฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์และผลกระทบที่มีต่อพืช

ฟอสฟอรัส (พีพีเอ็ม)	การประเมิน	ผลผลิตสูงสุด (%)	ผลกระทบต่อพืช
น้อยกว่า - 10	ต่ำมาก	ต่ำกว่า 50	ต้องการธาตุอาหารสูงมาก
10 - 15	ต่ำ	50 - 75	ต้องการธาตุอาหารสูง
15 - 25	ปานกลาง	75 - 100	ต้องการธาตุอาหาร
25 - 45	สูง	100	อาจจะต้องการธาตุอาหารเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์
มากกว่า - 45	สูงมาก	100	ไม่ต้องการธาตุอาหารและอาจจะกระทบต่อการเติบโต

ที่มา : อภิรดี อิ่มเอิบ (2542)

ค. โพแทสเซียม ธาตุโพแทสเซียมมีความสำคัญในกระบวนการสร้างอาหารพวกน้ำตาลและแป้งของพืช ธาตุโพแทสเซียมที่รากพืชสามารถดูดดึงขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่ต่างๆ หลายชนิดในดิน ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน มีอยู่ประมาณร้อยละ 2.4 แต่ส่วนใหญ่หรือร้อยละ 90 ถึง 98 จะอยู่ในรูปแร่ต่างๆ ที่ยังไม่ สุกสลายตัว จึงไม่เป็นประโยชน์แก่พืช ประมาณร้อยละ 1 ถึง 10 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้อย่างช้าๆ และประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 เท่านั้น ที่อยู่ในรูปที่ง่ายที่พืชดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ และจะต้องอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ เมื่อละลายน้ำธาตุโพแทสเซียมจะอยู่ในรูปอนุมูลโพแทสเซียมที่มีประจุไฟฟ้าบวก( $K^+$ ) ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ง่ายในดินมีอยู่สองรูป กล่าวคือ อนุมูลโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable  $K^+$ ) ซึ่งได้แก่ อนุมูลโพแทสเซียมที่เกาะยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบ การเกาะยึดจะหลุดออกได้ ถ้ามีอนุมูลประจุบวกของธาตุอื่นเข้ามาแลกเปลี่ยนและไล่ให้

อนุมูลโพแทสเซียมหลุดออกมาเป็นอิสระในน้ำในดิน ส่วนใหญ่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 ของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินจะอยู่ในรูปนี้ อีกรูปหนึ่งของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ได้แก่ อนุมูลโพแทสเซียมอิสระ ( $K^+$ ) ที่ละลายอยู่ในน้ำในดิน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นเอง

การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินใช้เป็นตัวชี้วัดความเป็นประโยชน์หรือที่เรียกว่า โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) แต่โดยทั่วไปจะใช้ค่าของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้บวกกับโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ หรือโพแทสเซียมทั้งหมดที่ถูกสกัดโดยใช้แอมโมเนียมแอกซีเตตเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 การประเมินโพแทสเซียมในดินและผลกระทบต่อพืช

โพแทสเซียม (พีพีเอ็ม)	การประเมิน	ผลผลิตสูงสุด (%)	ผลกระทบต่อพืช
น้อยกว่า – 30	ต่ำมาก	ต่ำกว่า 50	ต้องการธาตุอาหารสูงมาก
30 – 60	ต่ำ	50 – 75	ต้องการธาตุอาหารสูง
60 – 90	ปานกลาง	75 – 100	ต้องการธาตุอาหาร
90 – 120	สูง	100	อาจจะต้องการธาตุอาหารเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์
มากกว่า 120	สูงมาก	100	ไม่ต้องการธาตุอาหารและอาจจะกระทบต่อการเติบโต

ที่มา : อภิรดี อิมเอิบ (2542)

#### 2.5.2.4 ธาตุอาหารรองของพืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

ก. ธาตุแคลเซียม เป็นพวกธาตุโลหะค่อนข้างอ่อน วงวงเวต่อการเกิดปฏิกิริยา บางครั้งเรียกว่าธาตุปูน เพราะในปูนมักมีแคลเซียมและแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบเสมอ ซึ่งมีผลดีในด้านที่ไม่กระทบต่อพืชในดินมากนัก โดยไม่ทำให้ดินเป็นด่าง พืชสามารถนำแคลเซียมไปใช้ได้ในรูปแบบของแคลเซียมไอออนในสารละลายดิน แคลเซียมจะช่วยทำให้ดินโปร่งร่วนซุย มีผลต่อการระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศของดิน

การวิเคราะห์แคลเซียมปริมาณแคลเซียมในดินแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และแคลเซียมที่อยู่ในสารละลายดินเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณแคลเซียมที่อยู่ในสารละลายดินขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียมแลกเปลี่ยนได้ในดินด้วย ตารางที่ 2.14 แสดงการประเมินแคลเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์และผลที่กระทบต่อพืช

ตารางที่ 2.14 การประเมินแคลเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์และผลที่กระทบต่อพืช

แคลเซียม (พีพีเอ็ม)	การประเมิน	ผลผลิตสูงสุด (%)	ผลกระทบต่อพืช
น้อยกว่า – 50	ต่ำมาก	ต่ำกว่า 50	ต้องการธาตุอาหารสูงมาก
50 – 100	ต่ำ	50 – 75	ต้องการธาตุอาหารสูง
100 – 200	ปานกลาง	75 – 100	ต้องการธาตุอาหาร
200 – 600	สูง	100	อาจจะต้องการธาตุอาหารเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์
มากกว่า 600	สูงมาก	100	ไม่ต้องการธาตุอาหารและอาจจะกระทบต่อการเติบโต

ที่มา : อภิรดี อิมเอิบ (2542)

ข. ธาตุแมกนีเซียม แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแร่และหิน และยังอยู่ในรูปของไอออน ที่ถูกสารคอลลอยด์ของดินดูดซับไว้ ซึ่งเรียกว่าแมกนีเซียมที่ถูกดูดซับ และอยู่ในสารละลายดิน ทั้งสองรูปนี้มีอยู่น้อยมากในดินทั่วไป จะอยู่ในสภาพที่สมดุลกันและเป็นรูปที่มีประโยชน์ต่อพืช แมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชเกิดสีเขียว และสังเคราะห์แสงได้ตามปกติ ตารางที่ 2.15 แสดงการประเมินแมกนีเซียมในดิน

ตารางที่ 2.15 แสดงการประเมินแมกนีเซียม

New Mehlich (พีพีเอ็ม)	วิธีการวิเคราะห์		การประเมิน (พีพีเอ็ม)
	NH <sub>4</sub> OCA	DA. (พีพีเอ็ม)	
น้อยกว่า 25	น้อยกว่า 25	น้อยกว่า 20	ขาดแคลน
25 – 50	25 – 50	20 – 40	เพียงพอสำหรับพืช
51 – 100	51 – 100	41 – 80	เพียงพอบางพืช
มากกว่า 100	มากกว่า 100	มากกว่า 80	สูงไปสำหรับพืช

ที่มา : อภิรดี อิมเอิบ (2542)

## 2.6 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Tests)

### 2.6.1 วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) (EPA Method 3051)

การย่อยสลายสารด้วยการนำความร้อนโดยทั่วไปต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง และในสารตัวอย่างบางชนิดอาจต้องใช้เวลามากกว่านี้ แต่ถ้าย่อยสลายด้วยวิธีย่อยสลายไมโครเวฟสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 5-15 นาที ความแตกต่างนี้เนื่องมาจากกลไกที่แตกต่างกัน ภาชนะที่ใช้ในการให้ความร้อนด้วยเปลวไฟหรือเตาไฟฟ้านั้นเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี จึงต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่ภาชนะ แล้วถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ (conduction) ไปให้แก่สารละลายภายในภาชนะ ซึ่งการนำความร้อนในสารละลายก็เกิดได้ไม่ดัดนัก นอกจากนี้การระเหยที่ผิวหน้าของของเหลว จะทำให้สูญเสียความร้อนออกไปนอกภาชนะโดยการพา (convection) และโดยการไหลบ้างเป็นส่วนน้อย ดังนั้นเมื่อมีการให้ความร้อนโดยการนำจะมีเพียงส่วนน้อยของของเหลวที่มีอุณหภูมิเหนือจุดเดือดของสารละลาย ในทางตรงข้ามการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแก่สารละลาย พลังงานไมโครเวฟจะถูกถ่ายโอนโดยตรงไปยังทุกโมเลกุลของสารละลายเกือบพร้อมกันโดยไม่มีการให้ความร้อนแก่ภาชนะ ดังนั้นพลังงานความร้อนจะเข้าถึงสารละลายอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิของสารละลายจะถึงจุดเดือดอย่างรวดเร็ว ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ คือ การนำความร้อนของกรดที่ใช้ ระยะเวลาคลายตัวของไดอิเล็กตริก (dielectric relaxation time หมายถึง ระยะเวลาสำหรับการทำให้โมเลกุลในสารตัวอย่างกลับไปสู่ความไม่เป็นระเบียบประมาณร้อยละ 63) ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และปริมาณกรด

สำหรับวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) ตามมาตรฐาน US EPA Method 3051 เป็นการย่อยสลายโดยใช้กรดเข้ามาช่วยในการย่อยสลายตะกอนสารที่ตกตะกอน ดิน และน้ำมัน เพื่อวิเคราะห์หาธาตุหรือโลหะที่อยู่ในสารเหล่านั้น เช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว และ สังกะสี เป็นต้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โลหะ Flame Atomic Absorption (FLAA), Graphite Furnace Atomic Absorption (GFAA), Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-ES) และ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

ขั้นตอนการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ มีดังนี้

1. สำหรับตัวอย่างของดิน สารที่ตกตะกอน และตะกอนใช้ตัวอย่างไม่เกิน 0.5 กรัม สำหรับตัวอย่างของน้ำมันใช้ไม่เกิน 0.250 กรัม เมื่อซึ่งตัวอย่างเสร็จแล้วนำมาใส่ลงในหลอดทดลอง
2. เติมกรดไนตริกจำนวน  $10 \pm 0.1$  มิลลิลิตร

3. ปิดฝาหลอดทดลอง แล้วนำเข้าเครื่องย่อยสลายสารด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ใช้เวลาค่ากว่า 5.5 นาที และช่วงระหว่างอุณหภูมิ 175-180 องศาเซลเซียสใช้เวลา 4.5 นาที ที่ความดัน 6 บรรยากาศ
4. เมื่อครบกำหนดนำหลอดทดลองออกจากเครื่อง ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปกรอง
5. นำสารละลายที่ได้ปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES หรือ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

### 2.6.2 วิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (Tessier, 1979 อ้างถึงใน Li, 2001)

วิธีการสกัดตามลำดับขั้น เป็นวิธีการสกัดสารเพื่อหาโลหะหนักที่มีอยู่ในสารนั้น เช่น แคลเซียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี เป็นต้น โดยในแต่ละขั้นของการสกัดจะใช้น้ำสกัดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถระบุได้ว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำสกัดที่ต่างชนิดกัน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ สำหรับพันธะโลหะที่เกิดการแลกเปลี่ยนได้ง่าย ตัวอย่างจะถูกสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) 0.5 โมลาร์ ที่พีเอช 7 โดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำสกัดเป็น 1 ต่อ 8 นำไปเข้าเครื่องเขย่าแบบหมุน (Agitator) เป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต สำหรับโลหะที่มีพันธะคาร์บอนต่นำตัวอย่างที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต ( $NaOAc$ ) 1 โมลาร์ ปรับพีเอชเป็น 5 ด้วยกรดอะซิติก ( $HOAc$ ) ใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำสกัดเป็น 1 ต่อ 8 นำไปเข้าเครื่องเขย่าแบบหมุน เป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ สำหรับพันธะที่มีเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ นำตัวอย่างที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ( $NH_2.OH.HCl$ ) 0.04 โมลาร์ ในกรดอะซิติก ( $HOAc$ ) 25 % โดยปริมาตร ให้พีเอชเริ่มต้นที่ 2 และอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำสกัดเป็น 1 ต่อ 20 นำไปต้มและกวนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส

ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต สำหรับโลหะที่มีพันธะกับสารอินทรีย์และซัลไฟด์ นำตัวอย่างที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติมกรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 0.02 โมล จากนั้นสกัดด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) 30% ให้พีเอชเริ่มต้นที่ 2 และอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 20 นำไปต้มและกวนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85

องศาเซลเซียส จากนั้นเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) 30% ให้พีเอชเริ่มต้นที่ 2 นำไปต้ม และกวนเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม แอมโมเนียมอะซิเตต ( $NH_4OAc$ ) 3.2 โมลาร์ ในกรดไนตริก 20 % โดยปริมาตร และนำไปเข้า เครื่องเขย่าแบบหมุนเป็นเวลา 30 นาที

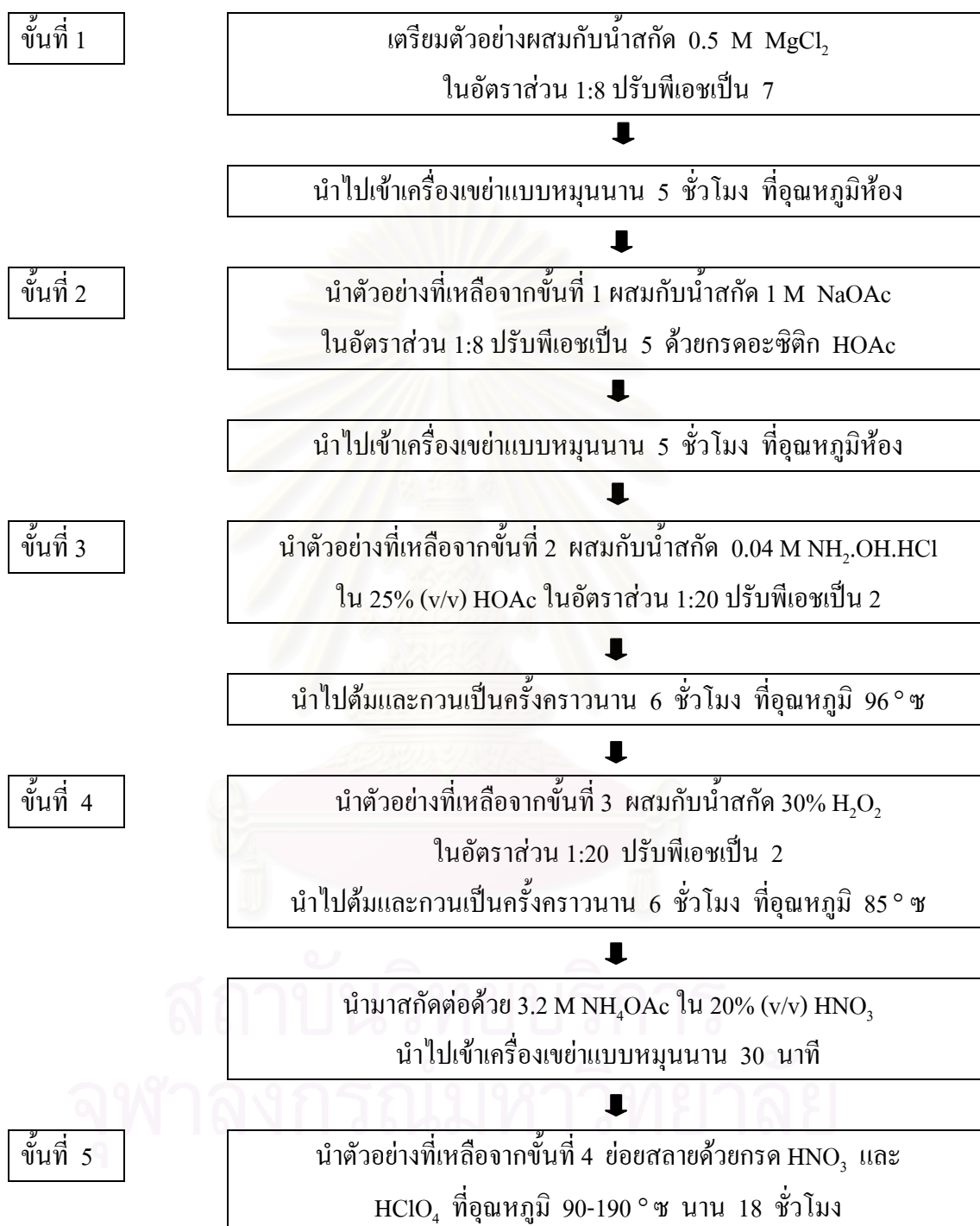
ขั้นที่ 5 การสกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก นำตัวอย่างที่เหลือจากขั้นที่ 4 ไปย่อยสลายด้วยกรด ไนตริกและกรดไฮโดรเจนเปอร์คลอไรด์ ( $HClO_4$ ) ที่อุณหภูมิ 90 – 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

เมื่อสิ้นสุดการสกัดแยกทุกขั้นตอน นำน้ำที่ได้จากการสกัดแต่ละขั้นไปวัดค่าพีเอช และวิเคราะห์หาสารประกอบของโลหะหนัก ซึ่งสามารถระบุได้ว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำสกัดที่ต่างชนิดกัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนผังขั้นตอนการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น



### 2.6.3 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (EPA Method 1311)

มีขั้นตอนการดำเนินการสำหรับการสกัดของเสียที่มีของแข็งปนอยู่ ดังต่อไปนี้

1. สำหรับของเสียที่มีปริมาณของแข็งน้อยกว่า 0.5 % ให้กรองของเหลวออกจากของแข็งด้วยกระดาษกรองใยแก้วขนาด 0.6 – 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์
2. สำหรับของเสียที่มีของแข็งมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 % ให้กรองของเหลวออกจากของแข็ง แล้วนำของเหลวไปวิเคราะห์ ส่วนของแข็งทำการย่อยให้มีขนาดผ่านตะแกรงขนาดรูตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร และนำมาทดสอบเพื่อเลือกสารสกัด โดยมีสารสกัด 2 ชนิด ได้แก่

สารสกัดชนิดที่ 1 เป็นสารที่เตรียมจาก 5.7 มิลลิลิตร ของกรดอะซิติกผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 11.4 มิลลิลิตร กับ 64.3 มิลลิลิตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 128.6 มิลลิลิตร นำสารทั้งสองผสมเข้าด้วยกันและทำให้เจือจาง โดยเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 2 ลิตร ทำการปั่นจนกระทั่งพีเอชคงที่ ทำการตรวจสอบพีเอชหากสูงกว่า  $4.93 \pm 0.05$  ให้เติม กรดอะซิติก หากพีเอชต่ำกว่า  $4.93 \pm 0.05$  ให้เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล สารสกัดชนิดที่ 1 เมื่อเตรียมเสร็จแล้วหากยังไม่ใช้งานจะต้องเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด และจะต้องใช้ภายในเวลา 48 ชั่วโมง

สารสกัดชนิดที่ 2 เป็นสารสกัดที่ได้จากการนำ 5.7 มิลลิลิตร ของกรดอะซิติกผสมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 11.4 มิลลิลิตร และทำให้เจือจางโดยเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 2 ลิตร ทำการตรวจสอบพีเอชหากสูงกว่า  $2.88 \pm 0.05$  ให้เติมกรดอะซิติก หากพีเอชต่ำกว่า  $2.88 \pm 0.05$  ให้เติมน้ำกลั่น สารสกัดชนิดที่ 2 เมื่อเตรียมเสร็จแล้วหากยังไม่ใช้งานจะต้องเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด และจะต้องใช้ภายในเวลา 48 ชั่วโมง

3. ให้นำของแข็งจำนวน 5 กรัม ที่มีขนาดผ่านขนาดรูตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร ผสมน้ำกลั่น 96.5 มิลลิลิตร กวนอย่างแรงเป็นเวลา 5 นาที ถ้าพีเอชน้อยกว่า 5 ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1 แต่ถ้าพีเอชมากกว่า 5 ให้เติม 3.5 มิลลิลิตร ของกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล แล้วให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที เมื่อทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วพีเอชน้อยกว่า 5 ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1 ถ้าพีเอชมากกว่า 5 ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 2 สำหรับของเสียที่เป็นสารระเหยได้ ให้ใช้สารสกัดชนิดที่ 1 เท่านั้น

4. นำตัวอย่างประมาณ 100 กรัม และใช้สารสกัดในปริมาณ 20 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ถ้ามีสารระเหยง่ายต้องใช้ภาชนะบรรจุพิเศษ นำตัวอย่างที่ใส่สารสกัดแล้วเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) อัตรา  $30 \pm 2$  รอบต่อนาที เป็นเวลา  $18 \pm 2$

ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมากรองแยกของเหลวออกจากของแข็ง ด้วยกระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 – 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวไปวิเคราะห์

ค่าปริมาณของสารอันตรายแต่ละชนิดที่วิเคราะห์ได้จากน้ำสกัดจะต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐานตามที่ระบุในตาราง Maximum Concentration of Contaminants for Toxicity Characteristic ของ US EPA จึงถือว่าเป็นของเสียที่ไม่จัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย (ตารางที่ 2.16)

#### 2.6.4 วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว กำหนดวิธีการทดสอบการสกัดของของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดแล้วโดยใช้วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure มีรายละเอียดและขั้นตอนดังนี้

หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเป็นของเหลว หรือมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณที่น้อยกว่า 0.5 % ให้กรองตัวอย่างนั้นด้วยแผ่นกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 – 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์

หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว มีของแข็ง (dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่า 0.5 % ให้ดำเนินการดังนี้

1. ทำการบดตัวอย่างให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
2. หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่มีขนาดผ่านตะแกรงจำนวน 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถัน และกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4. กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน นำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES

โดยวิธีการสกัดสารนี้ จะทำการควบคุมค่าพีเอช (pH) ของสารสกัดช่วงเริ่มต้นทำการสกัดเท่านั้น ค่าปริมาณของสารอันตรายแต่ละชนิดที่วิเคราะห์ได้จากน้ำสกัดจะต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐานตามที่ระบุในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงถือว่าเป็นของเสียที่ไม่จัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย (ตารางที่ 2.16)

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะใช้วิธีการสกัดสารด้วยวิธี TCLP เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าตะกอนจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ และจะทำเปรียบเทียบเพิ่มเติมกับวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นแนวทางพิจารณาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญประกอบการนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.16 ระดับมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) หรือ Maximum Concentration of Contaminants for Toxicity Characteristic (US EPA)

ชนิดสาร	ระดับมาตรฐาน (มก./ล.)	ชนิดสาร	ระดับมาตรฐาน (มก./ล.)
Arsenic	5.0	Hexachlorobenzene	0.13
Barium	100.0	Hexachlorobutadiene	0.5
Benzene	0.5	Hexachloroethane	3.0
Cadmium	1.0	Lead	5.0
Carbon tetrachloride	0.5	Lindane	0.4
Chlordane	0.03	Mercury	0.2
chlorobenzene	100.0	Methoxychlor	10.0
Chloroform	6.0	Methyl ethyl ketone	200.0
Chromium	5.0	Nitrobenzene	2.0
o-Cresol	200.0	Pentachlorophenol	100.0
m-Cresol	200.0	Pyridine	5.0
p-Cresol	200.0	Selenium	1.0
Cresol	200.0	Silver	5.0
2,4-D*	10.0	Tetrachloroethylene	0.7
1,4-Dichlorobenzene	7.5	Toxaphene	0.5
1,2-Dichloroethane	0.5	Trichloroethylene	0.5
1,1-Dichloroethylene	0.7	2,4,5-Trichlorophenol	400.0
2,4-Dinitrotoluene	0.13	2,4,6-Trichlorophenol	2.0
Endrin	0.02	2,4,5-TP (Silvex)**	1.0
Heptachlor	0.008	Vinyl chloride	0.2

หมายเหตุ : \* สารประกอบประเภท Dichlorophenol , \*\* สารประกอบประเภท Trichlorophenol

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540 และ US EPA, 1992

## 2.7 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**Wang, 1997** ได้ทำการศึกษาการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมาปรับสภาพเพื่อใช้ประโยชน์ โดยในประเทศจีนนั้นกระบวนการในการกำจัดกากตะกอนนั้นมีค่าใช้จ่ายที่แพง และง่ายต่อการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีการบำบัดและกำจัดกากตะกอนที่ถูกต้องและเหมาะสม ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต่อมนุษย์ พื้นที่ที่นำมาใช้ประโยชน์จากการนำกากตะกอนมาปรับเสถียร สามารถใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรมได้ สามารถปลูกป่า และทำสวนดอกไม้ได้ โลหะหนักและสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษ ที่ทำให้เกิดโรคได้ในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นอุปสรรคในการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ ในประเทศจีนได้ทำการสำรวจกากตะกอนทั่วมณฑล และเทคโนโลยีในการจัดการและกำจัดกากตะกอนที่เหมาะสมได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

**Bragato และคณะ, 1998** ได้ทำการศึกษาผลกระทบของจุลินทรีย์และโลหะหนักในกากตะกอนก่อนทำการบำบัด โดยทำการบำบัดตะกอนด้วยวิธี ริดเอาน้ำออก และนำไปหมักกับหญ้าแห้ง (9 : 1, สลัดจ์ : หญ้าแห้ง) เป็นเวลา 100 วัน กองไว้ที่กลางแจ้ง และทำการสกัดโลหะหนักพบว่าโลหะสังกะสี ทองแดง นิกเกิล และ ตะกั่ว ในดินที่ทำการบำบัดแล้วด้วยกากตะกอน ไม่แตกต่างจากดินที่ทำการควบคุม การสกัดโลหะ พบว่าร้อยละ 6 ของสังกะสีทั้งหมด ร้อยละ 3 ของนิกเกิลทั้งหมด ร้อยละ 25 ของทองแดงทั้งหมด และ ร้อยละ 23 ของตะกั่วทั้งหมด แต่การสกัดโลหะของสังกะสี และ นิกเกิล เพิ่มขึ้นจากดินที่ควบคุมเป็น 7.5 และ 15 ตันต่อเฮกตาร์ กากตะกอนที่ผ่านการบำบัด การสกัดสังกะสีจะสัมพันธ์กับสังกะสีทั้งหมด และการสกัดนิกเกิลจะสัมพันธ์กับกลุ่มจุลชีพชีวมวลคาร์บอน ความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์จุลินทรีย์ในสังกะสี และ นิกเกิลในดินที่ปรับสภาพแล้วจะอยู่ในขอบเขต กลุ่ม จุลชีพชีวมวล ส่วนการสกัดทองแดงและตะกั่ว จะมีความสัมพันธ์สูงมากในดินทั้งหมด

**Kuai และคณะ, 2000** ได้ทำการศึกษาการนำสลัดจ์ที่ผ่านการบำบัดโดยเดิม Super-absorbent (SA) ลงไปผสมกันที่อัตราส่วน 100 : 1 นำไปเทลงกระดาษแข็งแล้วตากไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ จากนั้นนำสลัดจ์แห้งที่ได้ มาทดลองปลูกข้าวโพด โดยแบ่งเป็นการทดลอง 3 แบบคือ กระดาษที่ใช้ดินผสมสลัดจ์ กระดาษที่ใช้ดินผสมปุ๋ยเคมี และกระดาษที่ใช้ดินอย่างเดียว ทำการทดลอง 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 2 จะใช้ดินจากการทดลองแรกมาทำการปลูกข้าวโพดซ้ำ จากการศึกษาพบว่าสลัดจ์ที่ทำการบำบัดจะมีความชื้นลดลงร้อยละ 96 ถึง 8.5 ในเวลา 10 วันและหลังจาก 4 สัปดาห์ของการปลูกข้าวโพดในการทดลองแรก การปลูกข้าวโพดในกระดาษที่เติมปุ๋ยเคมี มีอัตราการ

เดิบโตมากที่สุด และการทดลองครั้งที่ 2 การปลูกข้าวโพดในกระถางที่เติมสลัดจ์ ที่ผ่านการบำบัดแล้ว มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับกระถางที่เติมปุ๋ยเคมี

**Rost และคณะ, 2001** ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสังกะสี ที่มีต่อแร่ธาตุไนโตรเจน ที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มจุลินทรีย์ และ ชีวมวลในดินทราย กากตะกอนที่มีปริมาณ 25 ต้นต่อเฮกตาร์ จะเติมด้วยสังกะสีที่ใส่ลงไป ระหว่าง 50 และ 800 ไมโครกรัมของดินที่มีสังกะสี 1 กรัม โดยกลุ่มจุลินทรีย์ทั้งหมดจะเป็นตัวบ่งชี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความเข้มข้นสังกะสีในกากตะกอน แต่จะมีผลกระทบกับความเข้มข้นที่แตกต่าง ความเข้มข้นของสังกะสีจะมีผลกระทบมากที่สุดกับคาร์บอนไดออกไซด์และมีผลกระทบปานกลางกับแร่ธาตุไนโตรเจน และมีผลกระทบน้อยสุดกับชีวมวลคาร์บอน

**Chang และคณะ, 2001** ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัด 3 วิธี คือ Toxicity Characteristic Leaching Procedures (TCLP), Extraction Procedure (EP) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) จากการสกัดโลหะในกากตะกอนเคมีและการเผาให้เป็นเถ้า ในกากตะกอนเคมีจะประกอบด้วยตะกอนจากกระบวนการเคลือบโลหะด้วยวิธีการแยกไฟฟ้า และตะกอนจากโรงงานสิ่งทอที่มีการข้อมลี้ โรงงานฟอกหนัง โรงงานเหล็ก จะมีแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และ สังกะสี จากการทำการสกัดความเข้มข้นของโลหะที่สกัดได้จากโรงงานสิ่งทอ การสกัด TCLP ความเข้มข้นจะอยู่ที่  $TCLP \approx EP > ASTM$ , TCLP และ EP จะมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ผลจากการทดลองสกัด TCLP ของตะกอนจากโรงงานสิ่งทอ จะมีโลหะและความเป็นด่างน้อย สามารถนำมาประมาณค่าการชะละลายความเข้มข้นของโลหะ โดยฝนกรดในประเทศได้ทุกวัน

**ธีรดา ร่วมชาติ และ อรทัย ตั้งจิตวัฒนากร, 2545** ได้ทำการศึกษาการทำปุ๋ยจากสลัดจ์ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยใช้สลัดจ์จากโรงงานกระดาษ โรงงานผลิตแป้งมัน โรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูป โรงงานผลิตน้ำมันพืช และโรงงานฟอกย้อม มาใช้ในการทดลองปลูกต้นเบญจมาศแคระโดยมีอัตราส่วนระหว่าง ดิน : สลัดจ์ เป็น 3 : 2 ในระยะเวลา 2 เดือน จากการศึกษาพบว่าปริมาณไนโตรเจนในสลัดจ์ จากโรงงานฟอกย้อมมีมากที่สุด ปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์จากโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูปมีมากที่สุด ปริมาณโพแทสเซียมในสลัดจ์จากโรงงานแป้งมันมีมากที่สุด สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมในสลัดจ์ที่ผ่านการพัฒนาโดยการเติมปุ๋ยสูตรเร่งคอกกลงไปในสลัดจ์ พบว่ามีมากสุดในชุดดินปลูกที่ผสมสลัดจ์จากโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูป ทำการทดลองโดยปลูกต้นกุหลาบ และพบว่าให้จำนวนดอกมากที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสลัดจ์จากโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูปมีปริมาณธาตุอาหารที่

จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของพืชมากที่สุด จึงเหมาะในการนำมาพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้ดีเท่ากับที่ใช้จริงต่อการปลูกพืชชนิดต่างๆ

**Viraraghavan และ Lonescu, 2002** ศึกษาการทดสอบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนของฟอสฟอรัสในกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียของเมือง Regina ประเทศแคนาดา และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ ทำการทดลองโดยย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน สามารถนำไปปรับเสถียรกากตะกอนทางเคมี ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้แสดงถึงการผสมกันของการย่อยกากตะกอนทั้ง 2 แบบ พบโลหะหนักที่มีข้อกำหนดจากที่ต่างๆ สำหรับการนำไปใช้ทางด้านเกษตรกรรม ข้อดีคือจะเพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารและลดความเข้มข้นของโลหะหนัก และใช้ประโยชน์ได้นานในพื้นที่เกษตรกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอย่างเดียวก่อน พื้นที่ที่จะใช้ทำการผสมกากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายจะเป็นขั้นตอนการกำจัดกากตะกอนที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับวิธีการนำไปฝังกลบ

**Bergkvist และคณะ, 2003** ศึกษาถึงผลระยะยาวและผลผลิตที่มีแคดเมียม ในการทดลองปลูกพืชบนดินเหนียวปนร่วน บำบัดกากตะกอนโดยการย่อยและทำปุ๋ยฟอสฟอรัส โปแทสเซียม ในขณะที่ทำการควบคุมแคดเมียมในเตรตและปุ๋ยฟอสฟอรัส โปแทสเซียม ประมาณค่าแคดเมียมทั้งหมด คือ 153 และ 13 มิลลิกรัม ในกากตะกอนและที่ผ่านการบำบัดแล้ว ในกากตะกอนที่ทำการบำบัดแล้ว ร้อยละ 92 ของแคดเมียม จะพบในดินชั้นบน และ ร้อยละ 7 พบในดินชั้นล่างลงไป 17 เซนติเมตร ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอน สังเกตได้จากการวิเคราะห์ คือคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกพืช ดังนั้นกากตะกอนจะมีการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมในอนุภาคดิน และมีการป้องกันไม่ให้ แคดเมียมมีการลำเลียงสปีร์ขนาดใหญ่ การละลายแคดเมียมในสมดุลการสกัดของ  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  เพิ่มขึ้นจากปัจจัยของการบำบัดกากตะกอนเทียบกับที่ควบคุม จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ แคดเมียมในฟางมีส่วนเล็กน้อยในข้าวบาร์เลย์ เกือบทั้งหมดในกากตะกอนที่ผ่านการบำบัดแล้วผลผลิตจะเพิ่มขึ้น และผลที่ตามมาของกากตะกอนคือแคดเมียมที่หลุดออกไปในการเก็บเกี่ยวจะมากกว่าเมื่อเทียบกับที่สภาวะควบคุม กากตะกอนที่นำมาทดลองจะไม่มีความเสี่ยงต่อการชะล้างของแคดเมียมในดิน แต่มีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้นในส่วนของฟาง

**Petersen และคณะ, 2003** ศึกษาประสิทธิภาพของการนำของเสียที่เป็นสารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยง กากตะกอน 2 ชนิด คือ ปุ๋ยที่มาจากบ้านเรือน และปุ๋ยคอก จะทำการศึกษาในทุ่งโล่งและในสภาวะเรือนกระจก เพื่อดูประโยชน์ของปุ๋ยและผลกระทบบนดินและพืชประจำถิ่น ศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และผลที่มีต่อพืช ทำการทดลองเป็นเวลา 3 ปี โดยใช้ดิน 2 ชนิด โดยไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงในพืช และ

สังเกตได้ว่าปุ๋ยมีประโยชน์กับกากตะกอน 1 ชนิด การสะสมของไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส แสดงให้เห็นว่ามีการกระตุ้นต่อการเคลื่อนไปทางด้านชีววิทยาและสัตว์ขนาดเล็ก แต่ผลที่เกิดขึ้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ไม่พบไฮโดรคาร์บอน, di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), nonylphenol และ ethoxylates (NP+NPE) หรือ อัลคิลเบนซินซัลโฟเนต หลังจากทำซ้ำ 3 ครั้ง ดินที่นำมาทำการทดลองนั้นจะถูกควบคุมโดยตรวจสอบความเป็นพิษในกากตะกอน น้อยกว่าร้อยละ 5 ของไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส หรืออัลคิลเบนซินซัลโฟเนตที่มีในของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ จะพบหลังจาก 6 เดือน และน้อยกว่าร้อยละ 6 ของ DEHP จะพบหลังจาก 12 เดือน ประสิทธิภาพของแอมโมเนียมออกซิเดชั่น ที่ระยะ 0-1 เซนติเมตร จากกากตะกอนที่มีการกระตุ้นของความเป็นพิษ ความปนเปื้อนจะสลายเข้าไปในอนุภาคของตะกอนของกรดฟอสฟอรัส (PLFA) จะค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของกลุ่มจุลชีพในกากตะกอน บางส่วนจะออกไปจากสารอาหาร การทดลองกับดินกากตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงและดินที่มีการปนเปื้อนที่พืชไม่มีการใช้ใน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส DEHP หรืออัลคิลเบนซินซัลโฟเนต การแยกออกของอัลคิลเบนซินซัลโฟเนต และ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ที่เพิ่มในกากตะกอนจะช้า และแยก DEHP ออกได้เร็วกว่าเมื่อมีการปนเปื้อนเกิดขึ้นโดยตรง

**Weng และคณะ, 2003** ได้ทำการศึกษาถึงการผลิตอิฐจากตะกอนแห้งที่เลือกมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดลองปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพอิฐคือ อัตราส่วนกากตะกอนและอุณหภูมิในการเผา หลังจากการทำอิฐได้นำมาทำการทดสอบ TCLP ซึ่งผลจากการทดสอบการชะละลายมีโลหะออกมาน้อยมาก อิฐที่ได้คุณภาพจะมีการผสมกากตะกอนร้อยละ 10 กับความชื้นร้อยละ 24 และเผาที่ 880-960 องศาเซลเซียส ในการทำ TCLP โครเมียม และสังกะสี จะชะละลายออกจากกากตะกอน ค่าความเข้มข้นที่ได้จะน้อยกว่ามาตรฐานของได้วันที่กำหนด ส่วนโลหะอื่นๆจากตะกอนแห้งมีค่าน้อยมาก อิฐที่มีกากตะกอน ร้อยละ 30 จะน้อยกว่าตะกอนแห้ง ส่วนโลหะอื่นๆ ที่ชะละลายออกมาน้อยเนื่องมาจากการเผาที่อุณหภูมิสูง

**Mantovi และคณะ, 2005** ศึกษาผลกระทบของการนำกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ย ในการปลูกข้าวสาลี ข้าวโพด และหัวบีท โดยทดลองในดินร่วนปนทรายแข็งในประเทศอิตาลี ในปีค.ศ. 1988 โดยกากตะกอนน้ำเสียจากเทศบาลและโรงงานอุตสาหกรรม จะเป็นการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ใช้เครื่องรีดตะกอนรีดน้ำออกและหมักด้วยหญ้าแห้ง นำไปใช้ที่ 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อเฮกตาร์ ผลผลิตที่ได้หลังการเก็บเกี่ยวจะคล้ายกับปุ๋ยที่มีแร่ธาตุมากที่สุด อย่างไรก็ตามของเหลวที่ได้จากการรีดเอาน้ำออกจากตะกอน พบว่ามีไนโตรเจนมากเกินไป จะทำให้เกิดอันตรายได้ต่อข้าวสาลี และหัวบีท ทำให้มีคุณภาพต่ำ ของแข็งชีวภาพจะเพิ่มขึ้นอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสในดิน จะลดลงในดินที่เป็นด่าง เกิดการหมักสะสมของสารอินทรีย์ในดินชั้นบน



สังเกตได้จากการสะสมของสังกะสีทั้งหมด และทองแดงที่พบในดินชั้นบน แต่ไม่พบโลหะหนัก แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล และตะกั่ว แต่ความเข้มข้นเหล่านั้นยังคงอยู่ แต่ต่ำกว่าระดับการเสี่ยงอันตราย ของแจ้งชีวภาพจะมีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สังกะสี และทองแดง ในเมล็ดข้าวสาลี ในโตรเจน และทองแดงพบในบิทรูท และทองแดงพบในเมล็ดข้าวโพด วิธีการใช้ของแจ้งชีวภาพ นำมาซึ่งผลประโยชน์ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ แต่มีความเกี่ยวข้องกับผลเสียของคุณภาพน้ำที่มีฟอสฟอรัสเพิ่มมาก และในดินที่มีการสะสมของสังกะสี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### แผนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก งานวิจัยสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 การทดลอง ส่วนแรกเป็นการเตรียมตัวอย่างตะกอน โดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (1 จุด) และนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 (2 จุด) ดำเนินการจัดเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของกากตะกอนที่ผ่านเครื่องรีดตะกอนในนิคมอุตสาหกรรม ทั้ง 2 แห่ง (รวม 3 จุด) อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ครั้ง (เก็บตัวอย่างเดือนละครั้ง) และเก็บตัวอย่างครั้งละ 3 ตัวอย่างต่อจุดเก็บตะกอนของการนิคมอุตสาหกรรมรวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองหาขนาดเม็ดตะกอน จะทำการทดสอบหาขนาดเม็ดตะกอนด้วยวิธีร่อนด้วยตะแกรกร่อน (sieve analysis) การทดลองที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนรวมถึงทดสอบศักยภาพเบื้องต้นของตะกอนในด้านการใช้เป็นปุ๋ย สุดท้ายเป็นการทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนัก โดยนำมาทำการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) วิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) วิธีสกัดสาร TCLP และวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ซึ่งเป็นวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540) ทำการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำสกัด เพื่อตรวจสอบว่าตะกอนจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่

### 3.1 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

#### 3.1.1 วัสดุ

- ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอน ซึ่งผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครและนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 (รูปที่ 3.1)

#### 3.1.2 สารเคมี

- กรดอะซิติก
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- แมกนีเซียมคลอไรด์

- โซเดียมอะซิเตต
- ไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์
- แอมโมเนียมอะซิเตต
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- กรดไนตริก
- กรดซัลฟิวริก
- น้ำกลั่น

### 3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร
- ขวดพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 2 ลิตร
- เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.2)
- กระดาษกรองใยแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6 – 0.8 ไมครอน
- เครื่องวัดพีเอช
- เครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Model ETHOS SEL) (รูปที่ 3.3)
- เครื่องวิเคราะห์โลหะ Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-ES)

## 3.2 การดำเนินการวิจัย

### 3.2.1 การทดลองที่ 1 การเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอน

วิธีการเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอน มีขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างตะกอนแบบผสมรวมจะทำการเก็บทุก 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 4 กิโลกรัม จะได้ตัวอย่างวันละ 20 กิโลกรัม
2. การแยกตัวอย่างตะกอนจะใช้วิธีการแบ่งสี่ (quartering) จนได้ตัวอย่างในปริมาณที่พอเพียงและเป็นตัวแทนตะกอน (รูปที่ 3.4)
3. นำตัวอย่างที่ได้ต่อวันมาผสมให้เข้ากัน แล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างไว้ 2 ส่วน จึงได้ตัวอย่าง 10 กิโลกรัมต่อวัน ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันทำการ จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 60 กิโลกรัม
4. นำตัวอย่างที่ได้มากวนผสมกันอีกครั้ง แล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างไว้ 2 ส่วน จึงได้ตัวอย่างเท่ากับ 30 กิโลกรัม

5. เก็บตัวอย่างที่ได้เป็นตัวแทนของแต่ละสัปดาห์ โดย 1 เดือนจะได้ 4 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



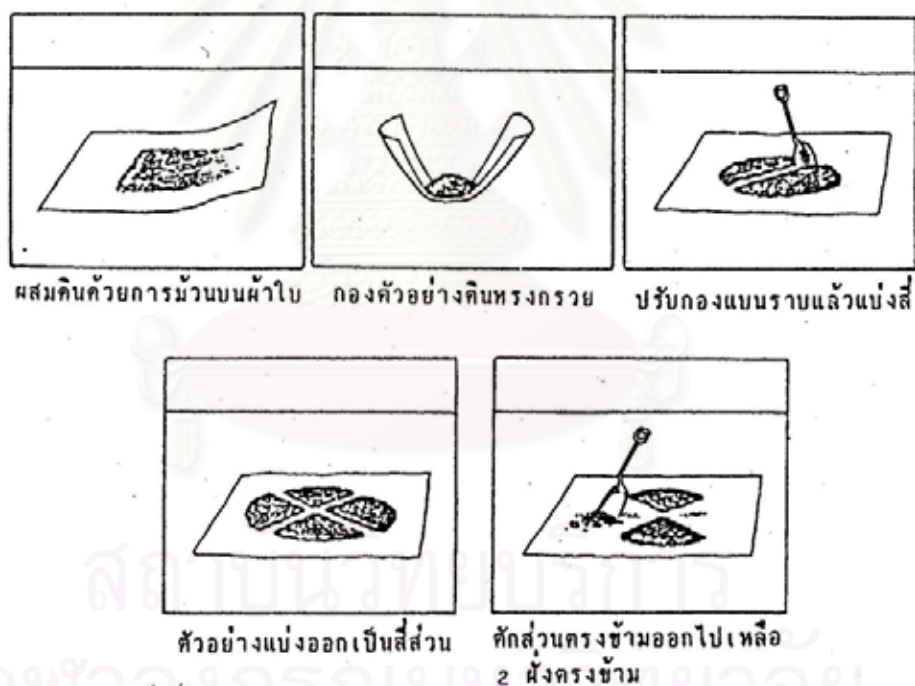
รูปที่ 3.1 ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์



รูปที่ 3.2 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)



รูปที่ 3.3 เครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ Model ETHOS SEL



รูปที่ 3.4 วิธีการแบ่งสี่ (quartering) ตาม AASHTO T-248\*

ที่มา : สถาพร คูวิจิตรจากรู, 2546

\* AASHTO T-248 : American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO)(1974), Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Washington, D.C. (Designation:T-248)

### 3.2.2 การทดลองที่ 2 การทดลองหาขนาดเม็ดตะกอน (grain size analysis)

ทำการทดสอบหาขนาดเม็ดตะกอนด้วยวิธีร่อนด้วยตะแกรงร่อน (sieve analysis)  
เครื่องมือที่ใช้

- 1.) กล้องแบ่งตัวอย่างดิน (sample splitter)
- 2.) ถาดใส่ตัวอย่าง (mixing pan) ขนาด 45 ซม x 45 ซม หรือ 60 ซม x 60 ซม
- 3.) ตะแกรงร่อน (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร
- 4.) เครื่องเขย่าตะแกรง (sieve shaker)
- 5.) เครื่องชั่ง ขนาด 2 กิโลกรัม อ่านละเอียด 0.1 กรัม
- 6.) แปลงทำความสะอาดตะแกรง แปลงลวดสำหรับตะแกรงหยาบ และแปลงขนสำหรับตะแกรงละเอียด
- 7.) ภาชนะเบ็ดเตล็ด มือตักดิน (soil scoop)

วิธีการทดลอง

1.) เลือกขนาดตะแกรงตามขนาดเล็กถึงใหญ่ของเม็ดตะกอน โดยเลือกตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดตะกอนที่ใหญ่ที่สุด 1 ขนาด ส่วนตะแกรงอื่นๆ เลือกขนาดตะแกรงเล็กลงไปประมาณครึ่งเท่า ต่อๆ ไปรวมทั้งเบอร์ 10 (2 มม.) เบอร์ 20 (0.850 มม.) เบอร์ 40 (0.425 มม.) เบอร์ 100 (0.150 มม.) เบอร์ 200 (0.075 มม.) และถาดรับ

2.) ทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบด้วยแปลงลวดและขนาดละเอียดด้วยแปลงขนอ่อน นำตะแกรงแต่ละอันขึ้นชั่งน้ำหนัก

3.) เตรียมตัวอย่างจากกอง มีขนาดพอเพียง ตัวอย่างต้องแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบจะไม่เปลี่ยนน้ำหนัก เนื่องจากน้ำระเหยและเม็ดตะกอนไม่จับตัวกัน

4.) เรียงตะแกรงบนเครื่องเขย่า โดยวางตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่บนตามลำดับขนาดเล็กลงไป และถาดรับอยู่ล่างสุด เทตัวอย่างลงบนตะแกรงอันบน ปิดฝา สั่นตะแกรงประมาณ 5 – 10 นาที หลังจากนั้น แยกตะแกรงแต่ละอันออกมาชั่ง จะเป็นน้ำหนักตะแกรงรวมกับน้ำหนักดินที่ค้างตะแกรง

### 3.2.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน

หลังจากการเก็บตัวอย่างตะกอนแล้วจะนำไปวิเคราะห์ลักษณะสมบัติต่างๆในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีวิเคราะห์ต่างๆ ดังนี้

#### 3.2.3.1 การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในตะกอน

วิธีการทดลอง

- 1.) ชั่งตะกอน 1.00 กรัม ใสในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

- 2.) ใช้ปิเปตดูดโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในช่วงแล้วแกว่งให้ผสมเข้ากับตะกอน ในขั้นนี้ให้ทำแบลนค์ (blank) โดยเติมโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตรลงในขวดที่ไม่มีตะกอนด้วย
- 3.) นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ภายใต้อุณหภูมิห้อง โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด และทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
- 4.) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรอินดิเคเตอร์ลงไป 3-4 หยด แกว่งให้เข้ากัน
- 5.) นำไปไทเทรตด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (ควรรไทเทรตแบลนค์ก่อน) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรตที่ใช้

### 3.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีในตะกอน

#### วิธีการทดลอง วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

##### 1. การย่อย

- 1.1 ชั่งตะกอน 1.00 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 1.2 ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม
- 1.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 3 มิลลิลิตร ภายใต้อุณหภูมิห้อง โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด แล้วเขย่าให้ผสมกับตะกอน
- 1.4 นำไปย่อยด้วยเตาย่อยตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า และตะกอนมีสีขาว

##### 2. การกลั่น

- 2.1 จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย
- 2.2 นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร
- 2.3 ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น
- 2.4 กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) ด้วยน้ำกลั่น

##### 3. การไทเทรต

- 3.1 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (จะต้องทราบความเข้มข้นที่แน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต

3.2 นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง จากนั้นคำนวณหา % ไนโตรเจนทั้งหมด

วิธีการทดลอง วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

1. ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก
2. เติม  $H_2SO_4$  เข้มข้น 20-30 มิลลิลิตร
3. เติม  $KNO_3$  2-4 กรัม ต้มจนหมดควันสีแดง จากนั้นทำให้เย็น
4. เติมน้ำ 150 มิลลิลิตร เขย่าให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (visible - spectrophotometer)

วิธีการทดลอง วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม

1. ชั่งตัวอย่าง 5-10 กรัม ใส่ด้วยกระเบื้อง
2. จากนั้นนำตัวอย่าง มาเผา จนกระทั่งน้ำหนักของกากตะกอนคงที่
3. นำตัวอย่างจากข้อ 2 มาถ่ายใส่บีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
4. เติม HCl 10 มล. และน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที
5. ทำให้เย็น จากนั้นปรับน้ำจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
6. แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีในตะกอน

สมบัติทางเคมี	วิธีวิเคราะห์
1. พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
2. ความชื้น	อบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	วิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley-black method)
4. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน	วิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley-black method)
5. ไนโตรเจน	วิธีเจลดาล (Kjeldahl method)
6. ฟอสฟอรัส	วิธีเบรย์ทู (Bray II method)
7. โพแทสเซียม	ทำการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



### 3.2.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน

#### 3.2.4.1 การย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (EPA Method 3051)

การย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างหนัก 0.5 กรัม แล้วใส่ลงในหลอดทดลอง
2. นำมาเติมกรดไนตริกจำนวน  $10 \pm 0.1$  มิลลิลิตร
3. ปิดฝาหลอดทดลอง แล้วนำเข้าเครื่องย่อยสลายสารด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ใช้เวลาดำกว่า 5.5 นาที และช่วงระหว่างอุณหภูมิ 175-180 องศาเซลเซียสใช้เวลา 4.5 นาที ที่ความดัน 6 บรรยากาศ
4. เมื่อครบกำหนดนำหลอดทดลองออกจากเครื่อง ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปกรอง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร
5. นำสารละลายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy และ เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)

#### 3.2.4.2 การสกัดโลหะหนักด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction)

(Tessier, 1979 อ้างถึงใน Li, 2001)

ขั้นตอนการทดลองการสกัดโลหะหนัก แบ่งขั้นตอนย่อยออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $MgCl_2$ ) เพื่อแยกสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย

- 1.1 ชั่งตัวอย่างที่บดเป็นผงหนัก 5 กรัม ใส่ลงในหลอดพลาสติกชนิดพิวส์
- 1.2 เติมแมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 40 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนของแข็งต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 8
- 1.3 นำไปเข้าเครื่องกวนเขย่าแบบหมุนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 1.4 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทน้ำใสออกเก็บไว้ (กรอง)วิเคราะห์ต่อ
- 1.5 จากนั้นล้างกากที่เหลือด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วเทน้ำทิ้ง

ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต ( $NaOAc$ ) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต

- 2.1 นำกากที่เหลือจากข้อ 1.5 มาเติมโซเดียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 40 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนของแข็งต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 8
- 2.2 ปรับพีเอชให้เท่ากับ 5 ด้วยกรดอะซิติก

- 2.3 นำไปเข้าเครื่องกวนเขย่าแบบหมุนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
- 2.4 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทน้ำใสออกเก็บไว้ (กรอง)วิเคราะห์ต่อ
- 2.5 จากนั้นล้างกากที่เหลือด้วยน้ำกลั่น ตั้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วเทน้ำทิ้ง

ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{NH}_2\cdot\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์

- 3.1 นำกากที่เหลือจากข้อ 2.5 เทใส่บีกเกอร์ จากนั้นเติมด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.04 โมลาร์ ในกรดอะซิติก 25% โดยปริมาตร ให้พีเอชเริ่มต้นที่ 2 โดยอัตราส่วนของแข็งต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 20
- 3.2 นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 3.3 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทน้ำใสออกเก็บไว้ (กรอง)วิเคราะห์ต่อ
- 3.4 จากนั้นล้างกากที่เหลือด้วยน้ำกลั่น ตั้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วเทน้ำทิ้ง

ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์

- 4.1 นำกากที่เหลือจากข้อ 3.4 มาเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปรับพีเอชเป็น 2 โดยการเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ให้อัตราส่วนของแข็งต่อน้ำสกัดเท่ากับ 1 ต่อ 20
- 4.2 นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 4.3 เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ปรับพีเอชเป็น 2
- 4.4 นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 4.5 รอให้เย็น เติมแอมโมเนียมอะซิเตต ความเข้มข้น 3.2 โมลาร์ ในกรดไนตริก 20% โดยปริมาตร
- 4.6 นำไปเข้าเครื่องกวนเขย่าแบบหมุนเป็นเวลา 30 นาที
- 4.7 นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทน้ำใสออกเก็บไว้ (กรอง)วิเคราะห์ต่อ
- 4.8 จากนั้นล้างกากที่เหลือด้วยน้ำกลั่น ตั้งไว้ให้ตกตะกอน แล้วเทน้ำทิ้ง

ขั้นที่ 5 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือจากทั้ง 4 ขั้น (residual fraction)

ได้จากการคำนวณ [ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ) – ผลรวม (ขั้นที่ 1, 2, 3, 4)]

เมื่อสิ้นสุดการสกัดแยกทุกขั้นตอน นำน้ำที่ได้จากการสกัดแต่ละขั้นไปวัดค่าพีเอชและจากการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของโลหะหนัก ซึ่งสามารถระบุได้ว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำสกัดที่ต่างชนิดกัน

หมายเหตุ วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES เป็นอันดับแรก โดยถ้ามีโลหะบางชนิดที่ไม่สามารถวัดได้หรือข้อมูลไม่ชัดเจน ต้องมีการดำเนินการวัดโลหะเหล่านั้นเพิ่มเติมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.2.4.3 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

#### (EPA Method 1311)

วิธีการทดลอง นำตะกอนมาทำการบดแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดผ่านขนาดรู 9.5 มิลลิเมตร นำมาสกัดด้วยวิธีสกัด TCLP หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากกระบวนการสกัดไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

จำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ ทำการสกัดปริมาณโลหะหนักจากตะกอนด้วยวิธี TCLP จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด เป็นตัวแทนของปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกจากตะกอน

### 3.2.4.4 วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

วิธีการทดลอง นำตะกอนมาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดผ่านขนาดรู 9.5 มิลลิเมตร นำมาสกัดด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วย น้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถัน และกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรด่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง นำไปเขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากกระบวนการสกัดไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการทดสอบการชะละลายที่ใช้ในการวิจัย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลายที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการทดสอบ	อ้างอิง	สารที่ใช้ในการชะละลาย	อัตราส่วนของเหลว : ของแข็ง	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ใช้
การย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ	EPA Method 3051	กรดไนตริก	-	-	0.5 กรัม	แปรผันจาก 5 ถึง 10 นาที
การสกัดตามลำดับชั้น	Tessier และคณะ, 1979	ใช้สาร 5 ชนิดเพื่อเพิ่มความเป็นกรด	แปรผันจาก 8 : 1 ถึง 20 : 1	< 150 ไมครอน	5 กรัม	แปรผันจาก 5 ถึง 18 ชั่วโมง
TCLP	EPA Method 1311	อะซิเตด บัฟเฟอร์	20 : 1	< 9.5 มม.	100 กรัม	18 ชั่วโมง
การสกัดสาร Extraction Procedure	กรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ. 2540	กรดซัลฟูริก, กรดไนตริก	20 : 1	< 9.5 มม.	100 กรัม	18 ชั่วโมง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาตะกอนจากเครื่องรีดตะกอน ซึ่งผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบแอกติ-เวดเต็คสลัดจ์ โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนจะดำเนินการจัดเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของกากตะกอนที่ผ่านเครื่องรีดตะกอนในนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร และนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และเฟส 3 รวม 3 จุด อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ครั้ง (เก็บตัวอย่างเดือนละครั้ง) และเก็บตัวอย่างครั้งละ 3 ตัวอย่างต่อจุดเก็บตะกอนของการนิคมอุตสาหกรรมรวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน โดยนำมาทดสอบหาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) ทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) วิธีสกัดสาร TCLP และวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540) เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาจากตะกอนว่าตะกอนจัดเป็นของเสียอันตรายหรือไม่ และประเมินศักยภาพในการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ต่อไป

#### 4.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดตะกอนด้วยตะแกรงร่อน (Sieve analysis)

ผลการทดสอบขนาดของเม็ดตะกอนพบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของทั้ง 3 ระบบ ส่วนใหญ่ร้อยละ 86.364 ถึง 99.0 จะค้างติดอยู่ที่ตะแกรงเบอร์ 10 ซึ่งเป็นตะแกรงที่มีขนาดรู 2 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าตะกอนมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่มากกว่า 2 มิลลิเมตร จัดได้ว่าตะกอนดังกล่าวมีอนุภาคเป็นดินทราย ดังตารางที่ 4.1 - 4.3

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

เบอร์ตะแกรง	ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ม.ย.		ก.ค.		ส.ค.	
		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง	
		กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
10	2	250	92.60	290	92.06	360	92.31
20	0.850	10	3.70	10	3.17	20	5.13
40	0.425	10	3.70	10	3.17	5	1.28
100	0.150	0	0	5	1.60	5	1.28
200	0.075	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

เบอร์ตะแกรง	ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ม.ย.		ก.ค.		ส.ค.	
		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง	
		กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
10	2	190	86.36	290	93.54	360	94.73
20	0.850	20	9.09	10	3.23	10	2.63
40	0.425	10	4.55	10	3.23	5	1.32
100	0.150	0	0	0	0	5	1.32
200	0.075	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.3 ขนาดอนุภาคของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

เบอร์ตะแกรง	ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.	
		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง		น้ำหนักดินค้าง บนตะแกรง	
		กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
10	2	350	97.22	470	94.00	495	99.0
20	0.850	5	1.39	10	2.00	4	0.8
40	0.425	3	0.83	10	2.00	1	0.2
100	0.150	2	0.56	5	1.00	0	0
200	0.075	0	0	5	1.00	0	0

## 4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ผลการเก็บตัวอย่างตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และเฟส 3 ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2548 ถึง เดือนสิงหาคม 2548 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2548 ถึง เดือนตุลาคม 2548 สามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนได้ดังต่อไปนี้

### 4.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

#### 4.2.1.1 การตรวจสอบเนื้อดิน (texture)

รูปที่ 4.1 แสดงตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและสมุทรสาคร จากผลวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 พบว่ามีลักษณะคล้ายดิน มีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายดิน ไม่ฉุน มีความชื้นร้อยละ 63 ถึง 73 และมีค่าพีเอช 4.6 – 6.4 จัดเป็นกรดจัดถึงปานกลาง ส่วนตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครมีสีดำเข้ม มีกลิ่นฉุนและชื้นแฉะ ค่าความชื้นร้อยละ 73 ถึง 78.85 และมีค่าพีเอช 6.8-7.2 จัดเป็นกรดอ่อนกลาง พบว่าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของทั้ง 3 ระบบ มีอนุภาคเป็นดินทราย (sand) และดินร่วนปนทราย (Loamy sand) โดยมีทรายร้อยละ 74 ถึง 97 มีธาตุอาหารฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม อยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึงสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.4 - 4.6



LB 1-2

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย  
นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง  
เฟส 1-2 มีลักษณะคล้ายดิน สี  
น้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายดิน ไม่  
ฉุน และ มีความชื้น

LB 3

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย  
นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง  
เฟส 3 มีลักษณะคล้ายดิน สี  
น้ำตาล มีกลิ่นคล้ายดิน ไม่ฉุน  
และ มีความชื้น

SK

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย  
นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร  
มีลักษณะสีดำ มีกลิ่นฉุน  
และมีความชื้นแฉะ

รูปที่ 4.1 ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและสมุทรสาคร

**ตารางที่ 4.4** ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

LB1-2	ความชื้น	pH	Soil Texture				Organic matter		Phosphorus		Potassium		Calcium		Magnesium	
	%		% Sand	% Silt	% Clay	Texture	%	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate
มี.ย	64.24	6.4	92	4	4	S	16.7	H	107	VH	1600	VH	2000	H	260	H
ก.ค	73.04	6.0	89	8	3	LS	6.1	H	137	VH	1000	VH	4480	H	560	H
ส.ค	68.3	6.4	86	9	5	LS	11.6	H	921	VH	560	VH	5800	H	560	H

**ตารางที่ 4.5** ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

LB 3	ความชื้น	pH	Soil Texture				Organic matter		Phosphorus		Potassium		Calcium		Magnesium	
	%		% Sand	% Silt	% Clay	Texture	%	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate
มี.ย	63.17	5.6	90	6	4	S	16.7	H	344	VH	1300	VH	2080	H	240	H
ก.ค	69.68	4.6	87	10	3	LS	6.5	H	278	VH	1400	VH	4320	H	1500	H
ส.ค	71.59	5.1	86	11	3	LS	11.9	H	359	VH	570	VH	4600	H	450	H

**ตารางที่ 4.6** ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

SK	ความชื้น	pH	Soil Texture				Organic matter		Phosphorus		Potassium		Calcium		Magnesium	
	%		% Sand	% Silt	% Clay	Texture	%	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate	ppm	Rate
ส.ค	74.63	6.8	88	9	3	LS	12.1	H	46	H	550	VH	6600	H	650	H
ก.ย	73.27	7.2	97	3	0	S	11.0	H	89	VH	800	VH	4000	H	260	H
ต.ค	78.85	7.1	74	16	10	LS	30.1	H	91	VH	1060	VH	4560	H	1060	H

Note : Rate , VH = Very high ; H = High ; M = Medium ; L = Low ; VL = Very low ; ND = Not Determined ; NA = Not Applicable ; S = Sand ; LS = Loamy sand



#### 4.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 4.7-4.9 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตะกอน จากผลวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 พบว่า มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 16.7 ถึง 21.42 ซึ่งมีค่าสูงมาก ส่วนตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร มีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 11.0 ถึง 30.1 ซึ่งมีค่าสูงมากเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.7 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

LB 1-2	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N ppm N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N ppm N	O.M %	O.C %	Total - N %	C/N ratio
มี.ย	1,937.8	867.0	16.7	9.67	2.68	3.61
ก.ค	112.0	11.7	16.75	9.74	1.61	6.05
ส.ค	112.3	98.0	21.19	12.32	1.87	6.59

ตารางที่ 4.8 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

LB 3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N ppm N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N ppm N	O.M %	O.C %	Total - N %	C/N ratio
มี.ย	2,630.0	1,100.3	16.7	9.71	3.08	3.15
ก.ค	84.0	6.3	20.26	11.78	1.84	6.04
ส.ค	110.6	70.0	21.42	12.45	1.61	7.73

ตารางที่ 4.9 ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

SK	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N ppm N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N ppm N	O.M %	O.C %	Total - N %	C/N ratio
ส.ค	84.0	42.0	12.1	7.02	0.98	7.16
ก.ย	168.1	2.6	11.0	6.4	0.96	6.67
ต.ค	168.7	0.9	30.1	17.78	1.03	17.26

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 - 4.6 พบว่ามีค่าพีเอชของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 มีค่าอยู่ระหว่าง 6.0 - 6.4 ซึ่งมีความเป็นกรดอ่อนกลาง พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี พีเอชของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 มีค่าอยู่ระหว่าง 4.6 - 5.6 มีความเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง มีผลกระทบต่อพืชบางชนิด ดินต้องได้รับการปรับปรุง เนื่องจาก

สารพิษบางชนิดละลายได้ ค่าพีเอชของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร มีค่าอยู่ระหว่าง 6.8 - 7.1 ซึ่งมีความเป็นกรดอ่อนกลาง พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี (ตารางที่ 2.9)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 3 ระบบ พบว่า มีค่าอยู่ในระดับที่สูง ซึ่งค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 11.0 ถึง 30.1 มีผลกระทบต่อพืชให้ระวังการมีไนโตรเจนสารพิษเพิ่มขึ้นและอาจสูงมากจนเป็นพิษต่อพืชได้ (ตารางที่ 2.11) เนื่องจากว่าหากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง โอกาสที่ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์จะค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาให้รากพืชดูดซับไปใช้ประโยชน์ได้มาก ซึ่งอาจเป็นพิษต่อพืชได้

จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 3 ระบบ พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัส 46 – 921 พีพีเอ็ม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช พืชไม่ต้องการธาตุอาหาร (ตารางที่ 2.12) หากมีปริมาณฟอสฟอรัส มากเกินไปจะทำให้พืชแก่เร็วกว่าปกติ แดกยอดอ่อนได้เร็วแต่ใบจะเล็ก แกร็น

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 3 ระบบ พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียม 550 – 1600 พีพีเอ็ม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช พืชไม่ต้องการธาตุอาหาร (ตารางที่ 2.13) หากมีปริมาณ โพแทสเซียมมากเกินไปจะทำให้พืชแก่ช้ากว่าปกติ มีอาการใบเหลือง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 3 ระบบ พบว่า มีปริมาณแคลเซียม 2000 – 6600 พีพีเอ็ม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช พืชไม่ต้องการธาตุอาหาร (ตารางที่ 2.14) หากมีปริมาณแคลเซียม มากเกินไป จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช

ปริมาณแมกนีเซียมในการศึกษานี้วิเคราะห์วิธี  $\text{NH}_4\text{OCA}$  ผลการวิเคราะห์ ตะกอนจากการนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 ระบบ พบว่า มีปริมาณแมกนีเซียม 240 – 1060 พีพีเอ็ม ซึ่ง อยู่ในเกณฑ์ที่สูงมากเกินไปสำหรับพืช (ตารางที่ 2.15) หากมีปริมาณแมกนีเซียมมากเกินไปจะทำให้ เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช เช่นเดียวกับแคลเซียม

จากผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 3 แห่ง พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.96 ถึง 3.08 ซึ่งมีค่ามากเกินไป ส่งผลกระทบให้พืชมี ลำต้นอวบน้ำเกิดการหักล้มได้ง่ายและมีการแตกกอมากเกินไป ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อ ไนโตรเจน (C/N ratio) ที่วิเคราะห์ได้ในตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง พบว่ามีค่าไม่เกิน 20 : 1 จัดได้ว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกว้างจะทำให้เกิดการขาด ไนโตรเจน

สังเกตได้ว่าตะกอนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากทำให้มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งสำรองของธาตุ อาหารพืช เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

ระหว่างปุ๋ยทั่วไปกับกากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ในตะกอนมีน้อยกว่าปุ๋ยทั่วไป แต่ก็เพียงพอต่อความต้องการของพืช สามารถนำตะกอนมาใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงดินได้ โดยตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 2.05 ถึง 2.18 มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.033 ถึง 0.038 และมีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.105 ถึง 0.109 ส่วนตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.99 มีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.0075 และมีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.08 ดังตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.10** เปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ปุ๋ยทั่วไป*	5	10	10
กากตะกอน*	3.3	2.3	0.3
กากตะกอน LB 1-2	2.05	0.038	0.105
กากตะกอน LB 3	2.18	0.033	0.109
กากตะกอน SK	0.99	0.0075	0.08

หมายเหตุ : \* ข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอน (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2542)

#### 4.3 ความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน

##### 4.3.1 การย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (EPA Method 3051)

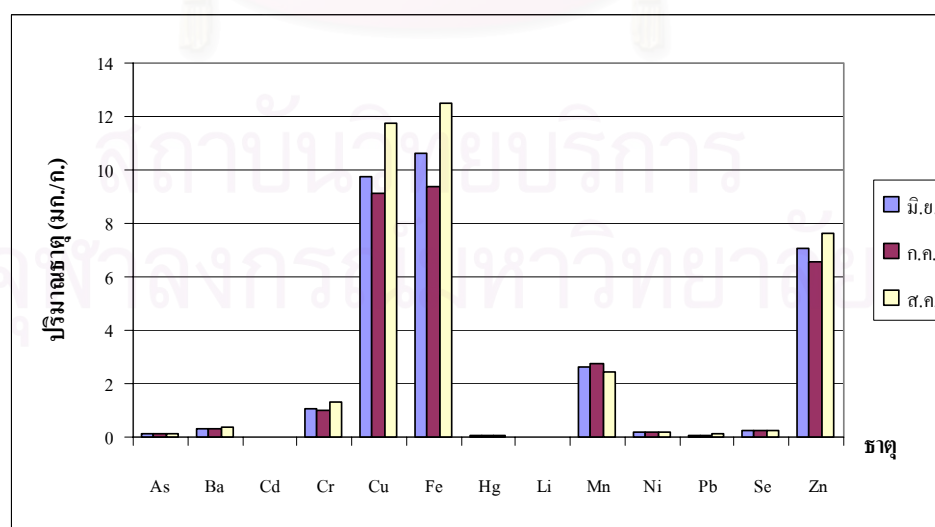
วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) ตามมาตรฐาน US EPA Method 3051 เป็นการย่อยสลายโดยใช้กรดไนตริกเข้ามาช่วยในการย่อยสลายตะกอน เพื่อวิเคราะห์หาธาตุหรือโลหะที่อยู่ในตะกอน

ผลการทดลองพบว่าปริมาณ โลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (ตารางที่ 4.11) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค มีปริมาณ Cu 9.742, 9.094 และ 11.74 มก./ก. ตามลำดับ Fe 10.64, 9.392 และ 12.51 มก./ก. ตามลำดับ Mn 2.621, 2.756 และ 2.447 มก./ก. ตามลำดับ และ Zn 7.038, 6.573 และ 7.624 มก./ก. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

เดือน พารามิเตอร์	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย
	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2
	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.
As	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ba	0.342	0.323	0.369	0.345
Cd	0.004	0.0042	0.0049	0.004
Cr	1.053	1.027	1.333	1.138
Cu	9.742	9.094	11.74	10.19
Fe	10.64	9.392	12.51	10.85
Hg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Li	0.0113	0.0093	0.014	0.012
Mn	2.621	2.756	2.447	2.608
Ni	0.181	0.159	0.217	0.186
Pb	0.088	0.086	0.113	0.096
Se	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Zn	7.038	6.573	7.624	7.078

จากตารางที่ 4.11 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ได้ ดังรูปที่ 4.2



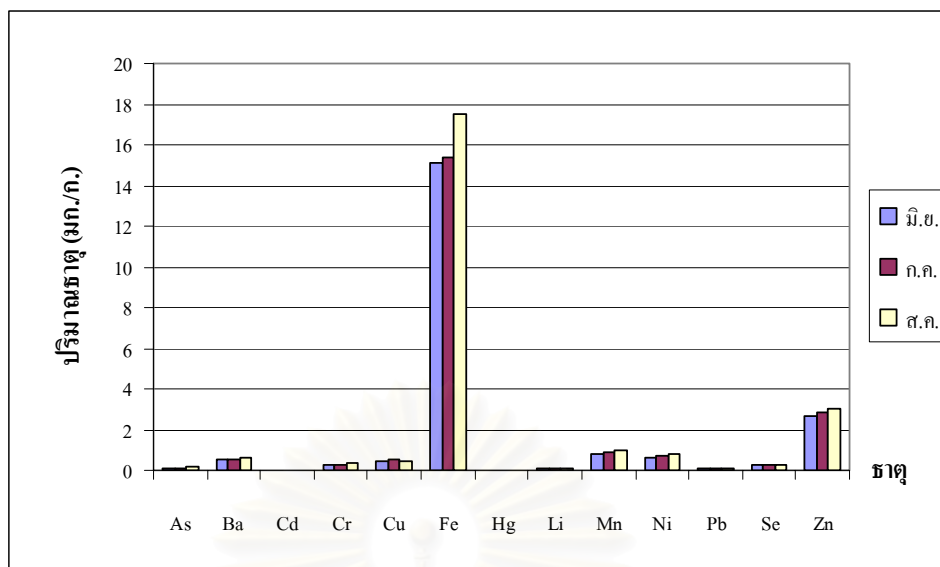
รูปที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (ตารางที่ 4.12) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค. ตรวจพบ Cu 0.407, 0.520 และ 0.470 มก./ก. ตามลำดับ Fe 15.13, 15.42 และ 17.54 มก./ก. ตามลำดับ Mn 0.83, 0.92 และ 0.97 มก./ก. ตามลำดับ และ Zn 2.674, 2.820 และ 3.030 มก./ก. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

พารามิเตอร์	เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3
		มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.
As		0.119	0.128	0.154	0.134
Ba		0.57	0.561	0.663	0.598
Cd		0.011	0.012	0.012	0.012
Cr		0.294	0.305	0.360	0.320
Cu		0.407	0.520	0.470	0.466
Fe		15.13	15.42	17.54	16.03
Hg		<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Li		0.058	0.053	0.069	0.06
Mn		0.83	0.92	0.97	0.907
Ni		0.634	0.705	0.798	0.712
Pb		0.074	0.081	0.089	0.081
Se		<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Zn		2.674	2.820	3.030	2.84

จากตารางที่ 4.12 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ได้ ดังรูปที่ 4.3



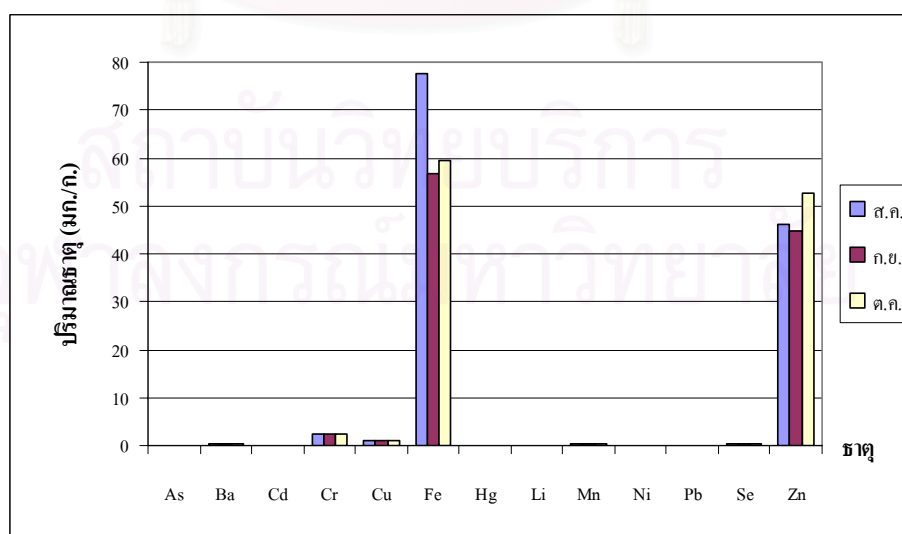
**รูปที่ 4.3** ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (ตารางที่ 4.13) ตัวอย่างเดือน ส.ค. ก.ย. และ ต.ค. ตรวจพบ Cr 2.417, 2.278 และ 2.375 มก./ก. ตามลำดับ Cu 1.119, 0.975 และ 0.885 มก./ก. ตามลำดับ Fe 77.65, 56.75 และ 59.50 มก./ก. ตามลำดับ Mn 0.493, 0.356 และ 0.433 มก./ก. ตามลำดับ และ Zn 46.01, 44.93 และ 52.51 มก./ก. ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครตั้งแต่เดือน ส.ค. ถึง ต.ค. ปี 48 พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณสังกะสีเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด คือมีค่ามากกว่า 5 มก./ล. ดังนั้นจึงทำให้พบสังกะสีปะปนอยู่ในตะกอนเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.13 ปริมาณโลหะหนักจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

เดือน พารามิเตอร์	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ค่าเฉลี่ย
	SK	SK	SK	SK
	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.
As	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ba	0.269	0.280	0.277	0.275
Cd	<0.005	0.0009	0.0006	0.0007
Cr	2.417	2.278	2.375	2.357
Cu	1.119	0.975	0.885	0.993
Fe	77.65	56.75	59.50	64.63
Hg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Li	0.0027	0.0037	0.0032	0.003
Mn	0.493	0.356	0.433	0.427
Ni	0.062	0.051	0.058	0.057
Pb	0.135	0.118	0.121	0.125
Se	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Zn	46.01	44.93	52.51	47.82

จากตารางที่ 4.13 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. - ต.ค. จากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave digestion) พบว่าปริมาณโลหะหนัก As, Cd, Hg, Mn, Ni, Pb และ Se มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) (ตารางที่ 2.7) แต่พบปริมาณ Cu, Fe และ Zn อยู่ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาจากข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 พบว่ามีปริมาณ Cu ที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเกินมาตรฐาน (ตารางที่ ข. 1) และจากข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร พบว่ามีปริมาณ Fe และ Zn ที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเกินมาตรฐาน (ตารางที่ ข.4-6)

#### 4.3.2 การสกัดโลหะหนักด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction)

วิธีการสกัดตามลำดับขั้น เป็นวิธีการสกัดสารเพื่อหาโลหะหนักที่มีอยู่ในสารนั้น โดยในแต่ละขั้นของการสกัดจะใช้น้ำสกัดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถระบุได้ว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำสกัดที่ต่างชนิดกัน วิธีสกัดตามแบบของ Tessier และคณะ (1979) (อ้างถึงใน Li, 2001)

ผลจากการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้นของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และเฟส 3 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร พบว่ามีโลหะหนักในความเข้มข้นสูง และมีความน่าสนใจ 7 ชนิด ได้แก่ แบเรียม (Ba) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ลิเทียม (Li) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 – 4.18



ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl<sub>2</sub>) เพื่อแยกสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.)						
	Ba	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Zn
LB1-2 มิ.ย.	0.004	0.236	0.0002	0.0003	0.638	0.054	0.255
LB1-2 ก.ค.	0.003	0.100	0.0006	0.0004	0.424	0.024	0.093
LB1-2 ส.ค.	0.004	0.227	0.0004	0.0003	0.342	0.026	0.108
ค่าเฉลี่ย	<b>0.004</b>	<b>0.188</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.468</b>	<b>0.034</b>	<b>0.152</b>
LB3 มิ.ย.	0.0038	0.010	0.0002	0.010	0.045	0.03	0.006
LB3 ก.ค.	0.0038	0.020	0.0003	0.009	0.066	0.06	0.010
LB3 ส.ค.	0.0039	0.007	0.0006	0.010	0.082	0.07	0.014
ค่าเฉลี่ย	<b>0.004</b>	<b>0.012</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.010</b>	<b>0.064</b>	<b>0.05</b>	<b>0.010</b>
SK ส.ค.	0.007	0.00024	0.0008	0.0002	0.010	0.002	0.175
SK ก.ย.	0.01	0.00008	0.003	0.0005	0.012	0.001	0.124
SK ต.ค.	0.006	0.00016	0.00	0.0002	0.016	0.004	0.176
ค่าเฉลี่ย	<b>0.006</b>	<b>0.00016</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.013</b>	<b>0.003</b>	<b>0.158</b>

ตารางที่ 4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต (NaOAc) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.)						
	Ba	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Zn
LB1-2 มิ.ย.	0.004	0.511	0.001	0.0003	0.167	0.015	0.123
LB1-2 ก.ค.	0.004	0.240	0.001	0.0002	0.095	0.008	0.062
LB1-2 ส.ค.	0.005	0.304	0.002	0.0002	0.088	0.010	0.059
ค่าเฉลี่ย	<b>0.004</b>	<b>0.352</b>	<b>0.001</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.117</b>	<b>0.011</b>	<b>0.081</b>
LB3 มิ.ย.	0.003	0.007	0.0009	0.005	0.011	0.019	0.005
LB3 ก.ค.	0.004	0.006	0.0005	0.006	0.022	0.040	0.009
LB3 ส.ค.	0.003	0.003	0.0006	0.007	0.019	0.053	0.012
ค่าเฉลี่ย	<b>0.003</b>	<b>0.005</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.006</b>	<b>0.017</b>	<b>0.037</b>	<b>0.008</b>
SK ส.ค.	0.007	0.0012	0.001	0.0004	0.0002	0.002	0.248
SK ก.ย.	0.005	0.0003	0.002	0.0005	0.0026	0.002	0.137
SK ต.ค.	0.005	0.0006	0.004	0.0003	0.0018	0.003	0.198
ค่าเฉลี่ย	<b>0.006</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.002</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.002</b>	<b>0.194</b>

ตารางที่ 4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซีลามีนิไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ ) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.)						
	Ba	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Zn
LB1-2 มิ.ย.	0.003	0.505	0.452	0.0004	0.290	0.019	1.057
LB1-2 ก.ค.	0.005	0.02	0.223	0.0004	0.405	0.023	1.169
LB1-2 ส.ค.	0.005	0.009	0.209	0.0003	0.297	0.019	1.005
ค่าเฉลี่ย	<b>0.004</b>	<b>0.178</b>	<b>0.295</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.331</b>	<b>0.02</b>	<b>1.077</b>
LB3 มิ.ย.	0.006	0.002	0.237	0.005	0.143	0.08	0.46
LB3 ก.ค.	0.006	0.002	0.222	0.004	0.125	0.065	0.404
LB3 ส.ค.	0.006	0.001	0.242	0.004	0.129	0.064	0.414
ค่าเฉลี่ย	<b>0.006</b>	<b>0.002</b>	<b>0.234</b>	<b>0.004</b>	<b>0.132</b>	<b>0.07</b>	<b>0.426</b>
SK ส.ค.	0.007	0.00012	10.52	0.0004	0.113	0.0073	8.388
SK ก.ย.	0.009	0.00008	6.94	0.0004	0.078	0.0049	6.596
SK ต.ค.	0.008	0.00008	5.91	0.0002	0.076	0.0045	6.544
ค่าเฉลี่ย	<b>0.008</b>	<b>0.00008</b>	<b>7.79</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.089</b>	<b>0.0056</b>	<b>7.176</b>

ตารางที่ 4.17 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.)						
	Ba	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Zn
LB1-2 มิ.ย.	0.002	1.530	0.761	0.0001	0.140	0.005	0.617
LB1-2 ก.ค.	0.002	1.448	0.819	0.0001	0.198	0.013	0.731
LB1-2 ส.ค.	0.001	1.592	0.749	0.0002	0.148	0.02	0.606
ค่าเฉลี่ย	<b>0.002</b>	<b>1.523</b>	<b>0.777</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.162</b>	<b>0.013</b>	<b>0.651</b>
LB3 มิ.ย.	0.015	0.164	1.895	0.002	0.086	0.084	0.386
LB3 ก.ค.	0.013	0.209	1.640	0.002	0.075	0.079	0.343
LB3 ส.ค.	0.015	0.165	1.845	0.002	0.077	0.082	0.352
ค่าเฉลี่ย	<b>0.015</b>	<b>0.179</b>	<b>1.793</b>	<b>0.002</b>	<b>0.079</b>	<b>0.082</b>	<b>0.360</b>
SK ส.ค.	0.004	0.366	8.304	0.0001	0.02	0.0072	6.30
SK ก.ย.	0.005	0.348	6.420	0.0001	0.02	0.0086	7.98
SK ต.ค.	0.01	0.289	6.284	0.0001	0.021	0.0093	7.74
ค่าเฉลี่ย	<b>0.006</b>	<b>0.334</b>	<b>7.002</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.02</b>	<b>0.0084</b>	<b>7.34</b>

ตารางที่ 4.18 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) ขั้นที่ 5 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (residual fraction)

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.)						
	Ba	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Zn
LB1-2 มิ.ย.	0.329	6.96	9.43	0.01	1.39	0.088	4.99
LB1-2 ก.ค.	0.309	7.29	8.35	0.008	1.63	0.0092	4.52
LB1-2 ส.ค.	0.353	9.61	11.55	0.013	1.57	0.142	5.85
ค่าเฉลี่ย	<b>0.33</b>	<b>7.95</b>	<b>9.77</b>	<b>0.01</b>	<b>1.53</b>	<b>0.107</b>	<b>5.12</b>
LB3 มิ.ย.	0.542	0.225	13.0	0.036	0.545	0.421	1.817
LB3 ก.ค.	0.534	0.283	13.56	0.031	0.632	0.463	2.054
LB3 ส.ค.	0.643	0.294	15.45	0.046	0.663	0.524	2.239
ค่าเฉลี่ย	<b>0.57</b>	<b>0.268</b>	<b>14.0</b>	<b>0.038</b>	<b>0.613</b>	<b>0.469</b>	<b>2.037</b>
SK ส.ค.	0.244	0.75	58.82	0.002	0.349	0.043	30.9
SK ก.ย.	0.255	0.63	43.39	0.002	0.243	0.034	30.1
SK ต.ค.	0.248	0.60	47.30	0.002	0.318	0.037	37.8
ค่าเฉลี่ย	<b>0.250</b>	<b>0.66</b>	<b>49.84</b>	<b>0.002</b>	<b>0.304</b>	<b>0.038</b>	<b>32.9</b>

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในตะกอนจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้นทั้ง 5 ขั้นของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง คิดเป็นร้อยละ พบว่าตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เฟส 1-2 ในขั้นที่ 1 เพื่อแยกสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย มีปริมาณ Mn และ Ni สกัดออกมาประมาณร้อยละ 17.95 และ 18.28 ตามลำดับ ในขั้นที่ 2 เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต มีปริมาณโลหะหนักออกมาจากน้ำสกัดน้อยประมาณร้อยละ 1 ถึง 5 แสดงให้เห็นว่าไม่มีโลหะหนักที่ชะละลายออกมาได้ง่าย ในขั้นที่ 3 เป็นการแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ พบว่ามีปริมาณ Mn, Ni และ Zn สกัดออกมาร้อยละ 12.69, 10.75 และ 15.22 ตามลำดับ และขั้นที่ 4 เป็นการแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์ พบว่ามีปริมาณ Cu ออกมาจากน้ำสกัดอย่างชัดเจนร้อยละ 14.95 ส่วนขั้นที่ 5 จะเป็นปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในตะกอน (residual) ซึ่งมีปริมาณโลหะหนักที่สกัดไม่ออกอยู่ประมาณร้อยละ 57 ถึง 95 แสดงว่าปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนชะละลายออกมาได้ยาก

ตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 พบว่าในขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 มีปริมาณ Li ออกมาจากน้ำสกัดอย่างชัดเจนถึงร้อยละ 16 และ 10 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า Li สามารถชะละลายออกมาได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ในขั้นที่ 3 พบว่ามีปริมาณ Mn, Ni และ Zn ออกมาจากน้ำสกัดร้อยละ 14.55, 9.83 และ 15 ตามลำดับ และขั้นที่ 4 พบว่ามีปริมาณ Cu, Fe, Ni และ Zn ออกมาจากน้ำสกัดอย่างชัดเจน ร้อยละ 38.41, 11.18, 11.51 และ 12.67 ตามลำดับ ส่วนขั้น

ที่ 5 จะเป็นปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในตะกอน (residual) ซึ่งมีปริมาณโลหะหนักที่สกัดไม่ออก อยู่ประมาณร้อยละ 57 ถึง 95 แสดงว่าปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนจะละลายออกมาได้ยาก ตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร พบว่าในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีปริมาณ Li ออกมาจากน้ำสกัดอย่างชัดเจนถึงร้อยละ 10 และ 13.33 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า Li สามารถจะละลายออกมาได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ในชั้นที่ 3 พบว่ามีปริมาณ Fe, Li, Mn, Ni และ Zn ออกมาจากน้ำสกัดร้อยละ 12.05, 10, 20.84, 9.82 และ 15 ตามลำดับ และชั้นที่ 4 พบว่ามี ปริมาณ Cu, Fe, Ni และ Zn ออกมาจากน้ำสกัดอย่างชัดเจน ร้อยละ 33.63, 10.83, 14.73 และ 15.34 ตามลำดับ ส่วนชั้นที่ 5 จะเป็นปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในตะกอน (residual) ซึ่งมี ปริมาณโลหะหนักที่สกัดไม่ออกอยู่ประมาณร้อยละ 66 ถึง 90 แสดงว่าปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ใน ตะกอนจะละลายออกมาได้ยาก (ตารางที่ 4.19)

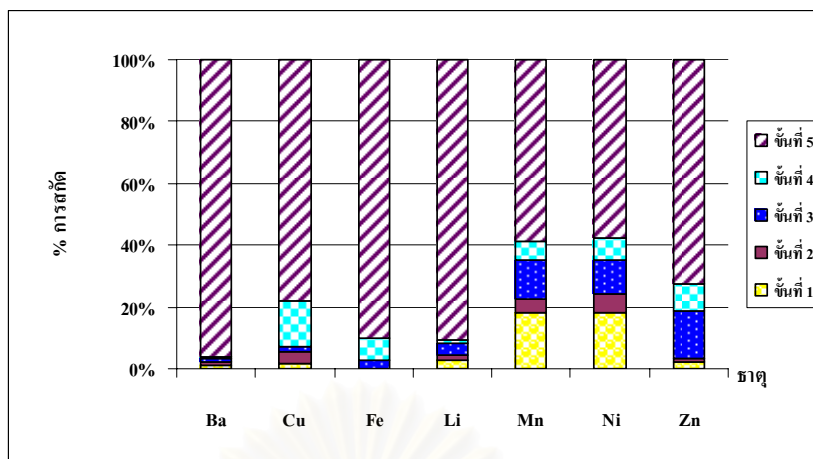


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

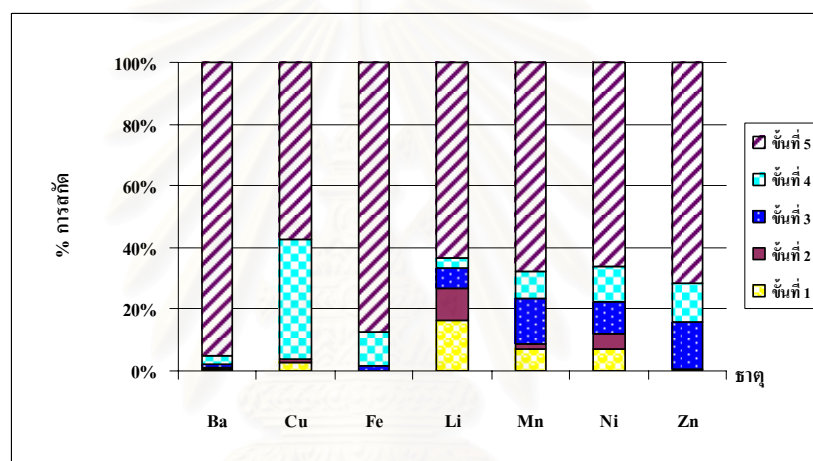
ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง

LB 1-2	วิธีการสกัดตามลำดับชั้น									
	ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
	พารามิเตอร์	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.
Ba	0.004	1.159	0.004	1.159	0.004	1.16	0.002	0.58	0.33	95.65
Cu	0.188	1.845	0.352	3.454	0.178	1.75	1.523	14.95	7.95	78.02
Fe	0.0004	0.004	0.001	0.009	0.295	2.72	0.777	7.16	9.77	90.05
Li	0.0003	2.5	0.0002	1.667	0.0004	3.33	0.0001	0.83	0.01	83.33
Mn	0.468	17.945	0.117	4.486	0.331	12.69	0.162	6.21	1.53	58.67
Ni	0.034	18.28	0.011	5.914	0.02	10.75	0.013	6.99	0.107	57.53
Zn	0.152	2.147	0.081	1.144	1.077	15.22	0.651	9.2	5.12	72.34
LB 3	ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
พารามิเตอร์	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.004	0.669	0.003	0.502	0.006	1.003	0.015	2.508	0.57	95.32
Cu	0.012	2.575	0.005	1.073	0.002	0.429	0.179	38.412	0.268	57.51
Fe	0.0004	0.002	0.0006	0.004	0.234	1.46	1.793	11.185	14.00	87.34
Li	0.01	16.667	0.006	10.00	0.004	6.667	0.002	3.333	0.038	63.33
Mn	0.064	7.056	0.017	1.874	0.132	14.553	0.079	8.71	0.613	67.59
Ni	0.05	7.022	0.037	5.197	0.07	9.831	0.082	11.517	0.469	65.87
Zn	0.01	0.352	0.008	0.282	0.426	15	0.36	12.676	2.037	71.73
SK	ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
พารามิเตอร์	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.006	2.182	0.006	2.182	0.008	2.909	0.006	2.182	0.25	90.91
Cu	0.00016	0.016	0.0007	0.07	0.00008	0.008	0.334	33.635	0.66	66.47
Fe	0.0021	0.003	0.002	0.003	7.79	12.053	7.00	10.831	49.84	77.12
Li	0.0003	10.00	0.0004	13.333	0.0003	10.00	0.0001	3.333	0.002	66.67
Mn	0.013	3.044	0.0015	0.351	0.089	20.843	0.02	4.684	0.304	71.19
Ni	0.003	5.263	0.002	3.509	0.0056	9.825	0.0084	14.737	0.038	66.67
Zn	0.158	0.33	0.194	0.406	7.176	15.006	7.34	15.349	32.9	68.8

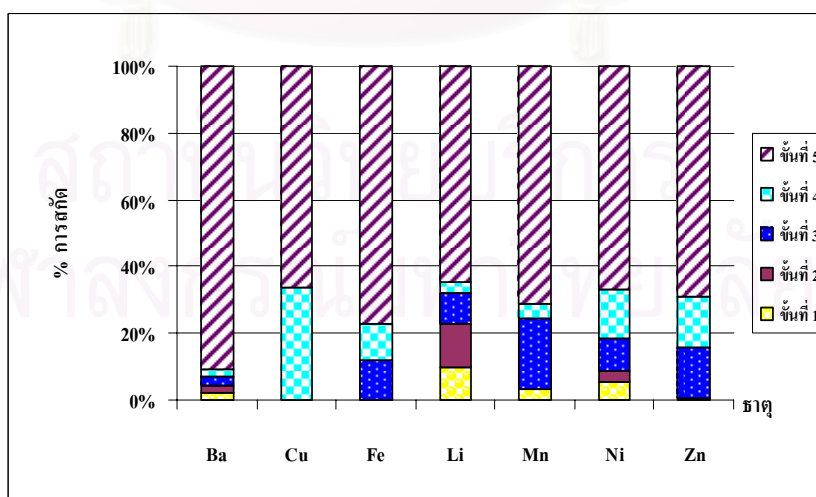
จากตารางที่ 4.19 สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของแต่ละนิคมอุตสาหกรรมได้ ดังรูปที่ 4.5 – 4.7



รูปที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2



รูปที่ 4.6 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3



รูปที่ 4.7 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟพบว่าปริมาณโลหะหนักปะปนอยู่ในตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่งจำนวนมาก และเมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้นที่สกัดด้วยกรดที่มีความเข้มข้นสูงแล้ว ก็พบว่าปริมาณโลหะหนักชะละลายออกมาน้อย และมีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่ในขั้นที่ 5 เกินกว่าร้อยละ 50 ซึ่งผลการทดลองในขั้นที่ 5 เป็นการคำนวณจากปริมาณโลหะหนักทั้งหมดจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟลบกับผลรวมปริมาณโลหะหนักในขั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 ของวิธีการสกัดตามลำดับขั้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำตะกอนมาพัฒนาเพื่อเป็นปุ๋ยปรับปรุงดิน โดยพิจารณาข้อมูลร่วมกับผลการทดลองอื่นๆ ต่อไป

#### 4.3.3 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

นำตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และเฟส 3 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร มาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง คัดขนาดผ่านขนาดรูตะแกรง 9.5 มิลลิเมตร นำมาสกัดด้วยวิธีสกัด TCLP หลังจากนั้นนำของเหลวที่ได้จากกระบวนการสกัดไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการชะละลายโลหะหนักจากตะกอนมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แห่งพบว่าปริมาณโลหะหนัก As, Ba, Cd, Cr, Hg, Se และ Formaldehyde ที่ชะละลายออกมานั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงถือว่าเป็นของเสียที่ไม่จัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย (ตารางที่ 2.16) โดยในตารางดังกล่าวมิได้ระบุระดับค่ามาตรฐานสำหรับ Cu, Ni และ Zn ไว้

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (ตารางที่ 4.20) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค ตรวจพบ Cu 14.5, 14.0 และ 39.1 มก./ล. ตามลำดับ Ni 0.974, 0.711 และ 2.04 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 25.7, 11.1 และ 15.2 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
		LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	5.0
Ba		0.699	0.600	0.462	0.587	100
Cd		0.009	0.007	0.012	0.0093	1.0
Cr		0.013	<0.007	0.024	0.0185	5.0
Cu		14.5	14.0	39.1	22.53	-
Hg		<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.2
Li		<0.80	<0.80	<0.80	<0.80	-
Ni		0.974	0.711	2.04	1.242	-
Se		<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	1.0
Zn		25.7	11.1	15.2	17.33	-
Formaldehyde		0.53	0.3	0.95	0.593	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (ตารางที่ 4.21) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค ตรวจพบ Cu 2.65, 0.538 และ 0.932 มก./ล. ตามลำดับ Ni 4.21, 2.81 และ 8.52 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 3.15, 4.61 และ 7.25 มก./ล. ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

พารามิเตอร์	เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	5.0
Ba		0.216	0.357	0.453	0.342	100
Cd		0.02	0.013	0.029	0.021	1.0
Cr		0.012	<0.007	<0.007	0.012	5.0
Cu		2.65	0.538	0.932	1.373	-
Hg		<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.2
Li		<0.80	<0.80	<0.80	<0.80	-
Ni		4.21	2.81	8.52	5.18	-
Se		<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	1.0
Zn		3.15	4.61	7.25	5.003	-
Formaldehyde		0.53	0.45	0.98	0.653	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (ตารางที่ 4.22) ตัวอย่างเดือน ส.ค ก.ย และ ต.ค. ตรวจพบ Cu 0.065, 0.006 และ 0.04 มก./ล. ตามลำดับ Ni 0.271, 0.101 และ 0.42 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 1.02, 3.83 และ 2.62 มก./ล. ตามลำดับ

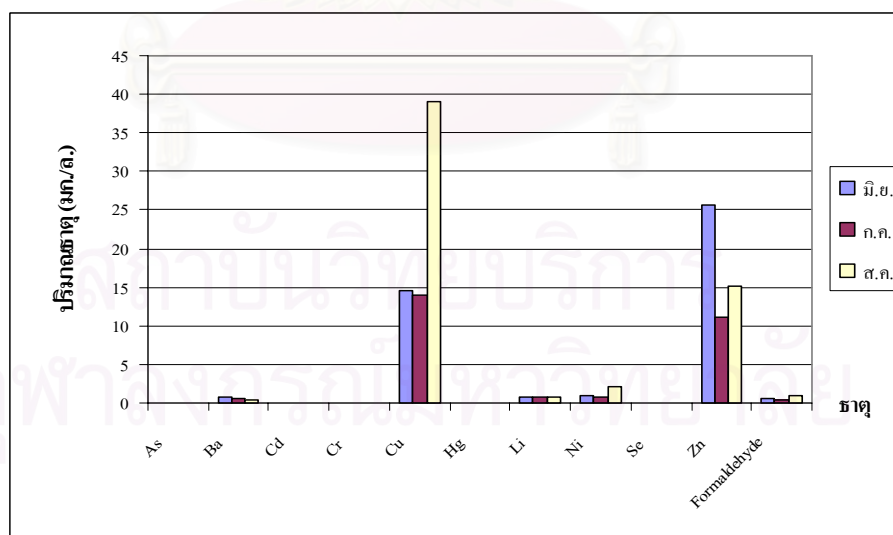
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

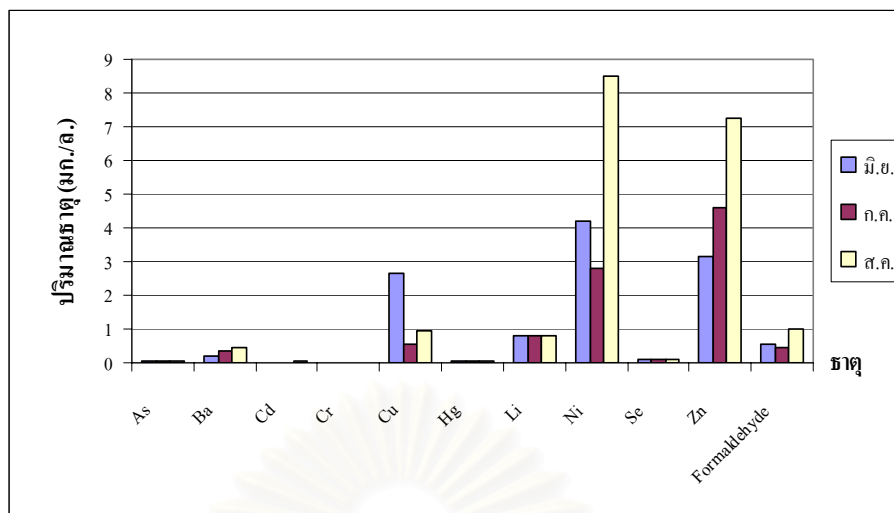
เดือน พารามิเตอร์	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
	SK	SK	SK	SK	
	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.
As	<0.05	0.053	<0.05	0.053	5.0
Ba	1.35	1.90	1.03	1.426	100
Cd	0.003	<0.003	<0.004	0.003	1.0
Cr	0.175	0.072	0.53	0.259	5.0
Cu	0.065	0.006	0.04	0.037	-
Hg	<0.03	<0.03	<0.04	<0.03	0.2
Li	<0.80	<0.80	0.04	0.04	-
Ni	0.271	0.101	0.42	0.264	-
Se	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	1.0
Zn	1.02	3.83	2.62	2.49	-
Formaldehyde	0.93	0.99	0.89	0.936	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

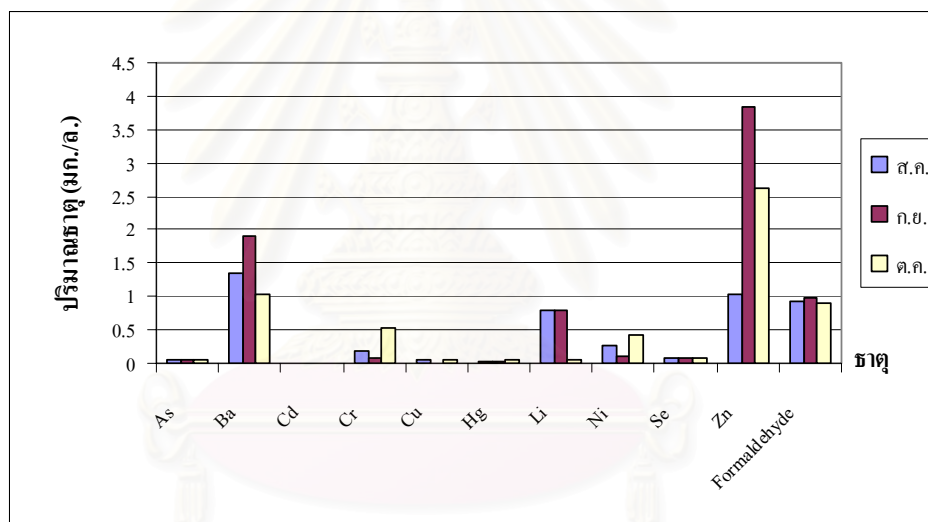
จากตารางที่ 4.20 – 4.22 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก  
ในน้ำสกัดกับตัวอย่างตะกอนของแต่ละเดือนได้ ดังรูปที่ 4.8 – 4.10



รูปที่ 4.8 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2  
ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธี TCLP



รูปที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธี TCLP



รูปที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. – ต.ค. จากวิธี TCLP

ตัวอย่างสำหรับทดสอบการชะละลายดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 จะเห็นว่าน้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 หลังทำการกรอง มีสีฟ้าซึ่งเป็นสีของ Cu โดยเมื่อทำการวิเคราะห์พบปริมาณ Cu 14-14.5 มก./ล. สำหรับตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค และพบปริมาณ Cu สูงถึง 39 มก./ล. สำหรับตัวอย่างเดือน ส.ค. เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ที่เข้าสู่ระบบในเดือนมิถุนายนตรวจพบว่ามีปริมาณ Cu 2.21 มก./ล. ซึ่งสูงเกินมาตรฐาน



LB 1-2

LB 3

SK

รูปที่ 4.11 ตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง หลังอบเพื่อทดสอบการชะละลาย



LB 1-2

LB 3

SK

รูปที่ 4.12 น้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง ก่อนทำการกรอง



LB 1-2

LB 3

SK

รูปที่ 4.13 น้ำสกัดของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง หลังทำการกรอง

#### 4.3.4 วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure

วิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540) จะทำการบดตะกอนแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างจำนวน 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด ปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองสารละลายจากการสกัดด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน นำของเหลวที่ผ่านการกรองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะ ICP-ES

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แห่ง พบว่าปริมาณโลหะหนัก As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb และ Se ที่ชะละลายออกมานั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐานของปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงถือว่าเป็นของเสียที่ไม่จัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย (ตารางที่ 2.16) โดยในตารางดังกล่าวมิได้ระบุระดับค่ามาตรฐานสำหรับ Cu, Ni และ Zn ไว้

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (ตารางที่ 4.23) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค. ตรวจพบ Cu 6.343, 1.603 และ 8.062 มก./ล. ตามลำดับ Ni 1.704, 0.897 และ 1.186 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 5.405, 1.718 และ 2.649 มก./ล. ตามลำดับ

ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (ตารางที่ 4.24) ตัวอย่างเดือน มิ.ย ก.ค. และ ส.ค. ตรวจพบ Cu 0.178, 0.197 และ 0.077 มก./ล. ตามลำดับ Ni 0.538, 1.031 และ 1.468 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 0.236, 0.187 และ 0.260 มก./ล. ตามลำดับ

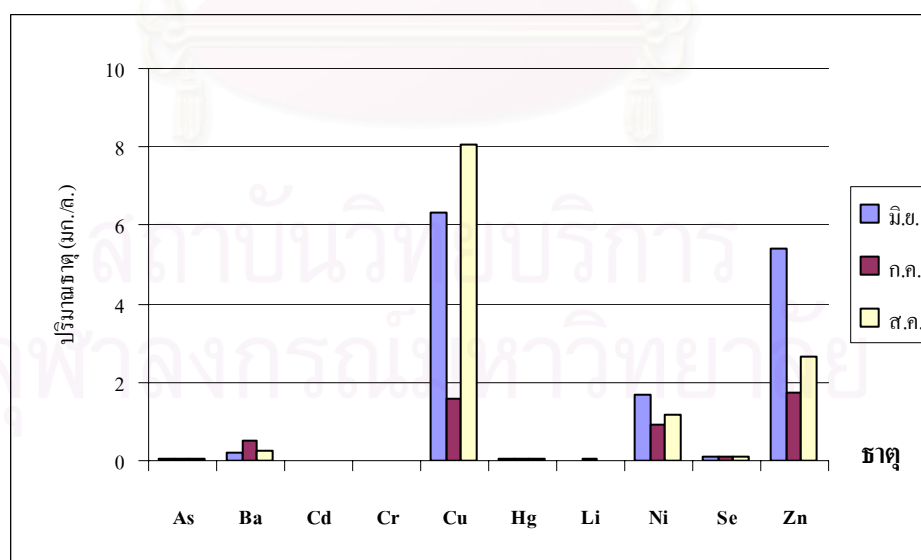
ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (ตารางที่ 4.25) ตัวอย่างเดือน ส.ค ก.ย และ ต.ค. ตรวจพบ Cu 0.069, 0.138 และ 0.127 มก./ล. ตามลำดับ Ni 0.086, 0.066 และ 0.268 มก./ล. ตามลำดับ และ Zn 3.516, 6.112 และ 6.140 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.23 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
		LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	5.0
Ba		0.195	0.501	0.260	0.318	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	1.0
Cr		0.016	0.010	0.012	0.0126	5.0
Cu		6.343	1.603	8.062	5.336	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0.2
Li		0.023	0.027	0.019	0.023	-
Ni		1.704	0.897	1.186	1.262	-
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	1.0
Zn		5.405	1.718	2.649	3.257	-

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

จากตารางที่ 4.23 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกับตัวอย่างตะกอนของแต่ละเดือนได้ ดังรูปที่ 4.14



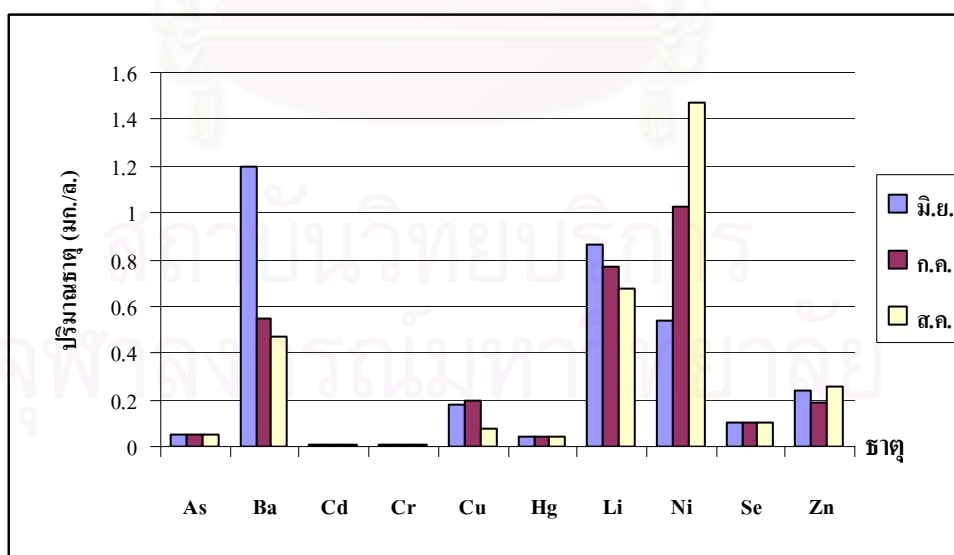
รูปที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ตั้งแต่เดือน ม.ย. – ส.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure

ตารางที่ 4.24 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

พารามิเตอร์	เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	5.0
Ba		1.196	0.547	0.467	0.736	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	1.0
Cr		<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	5.0
Cu		0.178	0.197	0.077	0.1506	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0.2
Li		0.864	0.774	0.678	0.772	-
Ni		0.538	1.031	1.468	1.012	-
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	1.0
Zn		0.236	0.187	0.260	0.227	-

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

จากตารางที่ 4.24 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกับตัวอย่างตะกอนของแต่ละเดือนได้ ดังรูปที่ 4.15



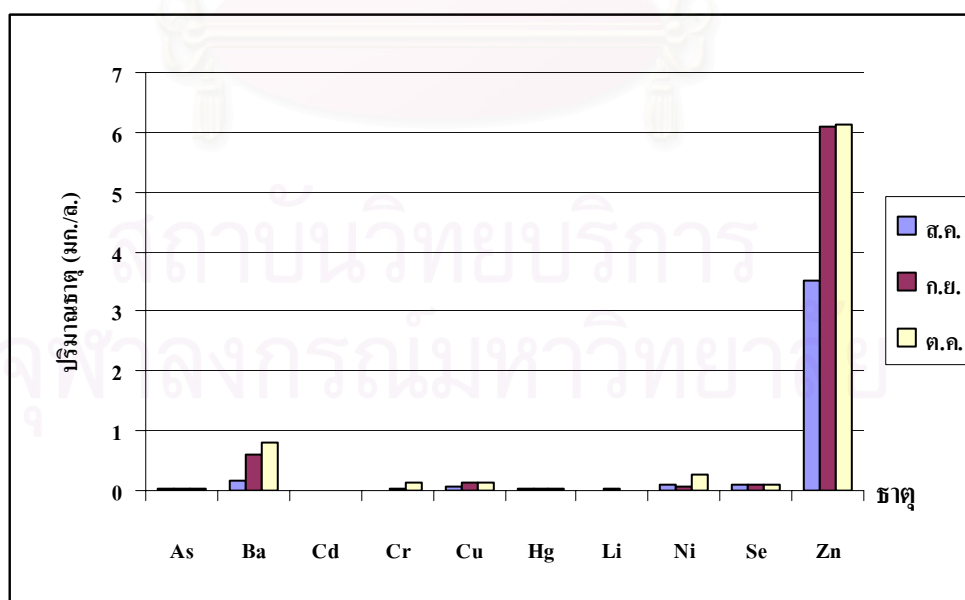
รูปที่ 4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย. – ส.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure

ตารางที่ 4.25 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

พารามิเตอร์	เดือน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ค่าเฉลี่ย	ระดับมาตรฐาน
		SK	SK	SK	SK	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	5.0
Ba		0.184	0.613	0.788	0.528	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	1.0
Cr		0.004	0.039	0.134	0.059	5.0
Cu		0.069	0.138	0.127	0.111	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0.2
Li		0.010	0.039	0.008	0.019	-
Ni		0.086	0.066	0.268	0.140	-
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	1.0
Zn		3.516	6.112	6.140	5.256	-

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

จากตารางที่ 4.25 สร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดกับตัวอย่างตะกอนของแต่ละเดือนได้ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค. - ต.ค. จากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure



#### 4.4 สรุปเปรียบเทียบวิธีการชะละลายโลหะหนักจากตะกอน

##### 4.4.1 วิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) และวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction)

จากการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ พบว่าตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 มีปริมาณโลหะหนัก Cu, Fe, Mn และ Zn ปะปนอยู่ในตะกอนจำนวนมาก แต่เมื่อทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้นพบว่า ในขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 มีปริมาณ Mn และ Ni ในน้ำสกัดประมาณร้อยละ 5 ถึง 18 ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ ซึ่งสกัดออกมาได้มากกว่าโลหะชนิดอื่นที่สกัดออกมาได้เพียงร้อยละ 0.004 ถึง 3.454 แสดงให้เห็นว่า Mn และ Ni ชะละลายออกมาได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่น

ในขั้นที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแอมกานีสออกไซด์ พบปริมาณ Mn, Ni และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 12.69, 10.75 และ 15.22 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ สามารถสรุปได้ว่าโลหะทั้ง 3 ชนิดนี้มีการชะละลายได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่นในขั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแอมกานีสออกไซด์

ในขั้นที่ 4 เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์ พบว่ามีปริมาณ Cu, Fe, Mn, Ni และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 14.95, 7.16, 6.21, 6.99 และ 9.20 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และพบโลหะหนักเหลืออยู่ในขั้นที่ 5 ประมาณ ร้อยละ 57 ถึง 95 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักในตะกอนชะละลายได้ยากและไม่สามารถสกัดออกมาได้ทั้งหมดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่พบในตะกอนจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และวิธีการสกัดตามลำดับขั้น สามารถนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 มาเปรียบเทียบกับได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับชั้นของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

พารามิเตอร์	วิธี วิธีย่อยสลาย ด้วยเครื่องย่อย สลาย ไมโครเวฟ	วิธีการสกัดตามลำดับชั้น									
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
		มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.345	0.004	1.159	0.004	1.159	0.004	1.16	0.002	0.58	0.33	95.65
Cu	10.19	0.188	1.845	0.352	3.454	0.178	1.75	1.523	14.95	7.95	78.02
Fe	10.85	0.0004	0.004	0.001	0.009	0.295	2.72	0.777	7.16	9.77	90.05
Li	0.012	0.0003	2.500	0.0002	1.667	0.0004	3.33	0.0001	0.83	0.01	83.33
Mn	2.608	0.468	17.945	0.117	4.486	0.331	12.69	0.162	6.21	1.53	58.67
Ni	0.186	0.034	18.280	0.011	5.914	0.02	10.75	0.013	6.99	0.107	57.53
Zn	7.078	0.152	2.147	0.081	1.144	1.077	15.22	0.651	9.20	5.12	72.34

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ พบว่ามีปริมาณโลหะหนัก Fe และ Zn ปะปนอยู่ในตะกอนสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น แต่เมื่อทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้นพบว่า ในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีปริมาณ Li ในน้ำสกัดประมาณร้อยละ 10 ถึง 16 ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ ซึ่งสกัดออกมาได้มากกว่าโลหะหนักอื่นที่สกัดออกมาได้เพียงร้อยละ 0.002 ถึง 7.056 แสดงให้เห็นว่า Li จะละลายออกมาได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่น

ในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์ พบปริมาณ Mn และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 14.55 และ 15 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ สามารถสรุปได้ว่าโลหะทั้ง 2 ชนิดนี้มีการชะละลายได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่นในชั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์

ในชั้นที่ 4 เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์ พบว่ามีปริมาณ Cu, Fe, Ni และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 38.42, 11.18, 11.51 และ 12.67 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และพบโลหะหนักเหลืออยู่ในชั้นที่ 5 ประมาณ ร้อยละ 57 ถึง 95 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักในตะกอนชะละลายได้ยากและไม่สามารถสกัดออกมาได้ทั้งหมดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่พบในตะกอนจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และวิธีการสกัดตามลำดับชั้น สามารถนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 มาเปรียบเทียบกับได้ดังตารางที่ 4.27

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับชั้นของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

พารามิเตอร์	วิธี วิธีย่อยสลาย ด้วยเครื่องย่อย สลาย ไมโครเวฟ	วิธีการสกัดตามลำดับชั้น									
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
		มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.598	0.004	0.669	0.003	0.502	0.006	1.003	0.015	2.508	0.57	95.32
Cu	0.466	0.012	2.575	0.005	1.073	0.002	0.429	0.179	38.412	0.268	57.51
Fe	16.03	0.0004	0.002	0.0006	0.004	0.234	1.460	1.793	11.185	14.00	87.34
Li	0.06	0.01	16.667	0.006	10.000	0.004	6.667	0.002	3.333	0.038	63.33
Mn	0.907	0.064	7.056	0.017	1.874	0.132	14.553	0.079	8.710	0.613	67.59
Ni	0.712	0.05	7.022	0.037	5.197	0.07	9.831	0.082	11.517	0.469	65.87
Zn	2.84	0.01	0.352	0.008	0.282	0.426	15.000	0.360	12.676	2.037	71.73

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ พบว่ามีปริมาณโลหะหนัก Fe และ Zn ปะปนอยู่ในตะกอนสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น แต่เมื่อทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้น พบว่า ในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 มีปริมาณ Li ในน้ำสกัดประมาณร้อยละ 10 ถึง 13 ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ ซึ่งสกัดออกมาได้มากกว่าโลหะชนิดอื่นที่สกัดออกมาได้เพียงร้อยละ 0.003 ถึง 5.263 แสดงให้เห็นว่า Li จะละลายออกมาได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่น

ในชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์ พบปริมาณ Fe, Li, Mn และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 12.05, 10, 20.84 และ 15 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ สามารถสรุปได้ว่าโลหะทั้ง 4 ชนิดนี้มีการชะละลายได้ง่ายกว่าโลหะชนิดอื่นในชั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์

ในชั้นที่ 4 เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์ พบว่ามีปริมาณ Cu, Fe, Ni และ Zn สูงกว่าโลหะชนิดอื่น โดยมีปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด คิดเป็นร้อยละ 33.63, 10.83, 14.73 และ 15.34 ตามลำดับ ของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และพบโลหะหนักเหลืออยู่ในชั้นที่ 5 ประมาณ ร้อยละ 66 ถึง 90 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักในตะกอนชะละลายได้ยากและไม่สามารถสกัดออกมาได้ทั้งหมดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักทั้งหมดที่พบในตะกอนจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ และวิธีการสกัดตามลำดับชั้น สามารถนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร มาเปรียบเทียบกับได้ดังตารางที่ 4.28

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟและวิธีการสกัดตามลำดับชั้นของนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

พารามิเตอร์	วิธี วิธีย่อยสลาย ด้วยเครื่องย่อย สลาย ไมโครเวฟ	วิธีการสกัดตามลำดับชั้น									
		ชั้นที่ 1		ชั้นที่ 2		ชั้นที่ 3		ชั้นที่ 4		ชั้นที่ 5	
		มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.275	0.006	2.182	0.006	2.182	0.008	2.909	0.006	2.182	0.25	90.91
Cu	0.993	0.00016	0.016	0.0007	0.070	0.00008	0.008	0.334	33.635	0.66	66.47
Fe	64.63	0.0021	0.003	0.002	0.003	7.79	12.053	7.00	10.831	49.84	77.12
Li	0.003	0.0003	10.00	0.0004	13.333	0.0003	10.000	0.0001	3.333	0.002	66.67
Mn	0.427	0.013	3.044	0.0015	0.351	0.089	20.843	0.02	4.684	0.304	71.19
Ni	0.057	0.003	5.263	0.002	3.509	0.0056	9.825	0.0084	14.737	0.038	66.67
Zn	47.82	0.158	0.330	0.194	0.406	7.176	15.006	7.34	15.349	32.9	68.80

จากการศึกษาพบว่าตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง มีปริมาณโลหะหนักปะปนอยู่มาก แต่เมื่อทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับชั้น พบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดไม่สามารถชะละลายออกมาได้ แม้ในสถานะที่เป็นกรดความเข้มข้นสูง ยังคงมีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่ในตะกอนถึงร้อยละ 57 ถึง 95 จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำตะกอนมาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร หรือนำไปเป็นปุ๋ยปรับปรุงดินต่อไป

#### 4.4.2 วิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (US EPA Method 1311) และ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540)

การทดสอบการชะละลายนั้น เป็นการวัดความเป็นไปได้ของของเสียที่เสถียร ที่สามารถจะปล่อยสารเจือปนออกสู่สิ่งแวดล้อม จากการทดสอบของเสียจะถูกให้หลุดออกมาสู่น้ำชะ (leachant) และปริมาณสารเจือปนในน้ำชะ หรือน้ำสกัดจะถูกนำมาวัดและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure สามารถนำค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 ตั้งแต่เดือน มิ.ย.- ส.ค. ปี 2548 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตั้งแต่เดือน ส.ค.- ต.ค. ปี 2548 มาเปรียบเทียบกันได้ ดังตารางที่ 4.29 และ 4.30

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.29 การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี TCLP

พารามิเตอร์	วิธี	TCLP			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับมาตรฐาน
		LB 1-2	LB 3	SK			
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.			
As	<0.05	<0.05	0.053	0.053	0.0017	5	
Ba	0.587	0.342	1.426	0.785	0.568	100	
Cd	0.0093	0.021	0.003	0.011	0.009	1	
Cr	0.0185	0.012	0.259	0.097	0.141	5	
Cu	22.53	1.373	0.037	7.98	12.62	-	
Hg	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	0.2	
Li	<0.80	<0.80	0.04	0.04	0.76	-	
Ni	1.242	5.18	0.264	2.23	2.602	-	
Se	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	-	1	
Zn	17.33	5.003	2.49	8.27	7.942	-	

ตารางที่ 4.30 การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี Extraction Procedure

พารามิเตอร์	วิธี	Extraction Procedure			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับมาตรฐาน
		LB 1-2	LB 3	SK			
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.			
As	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	-	5	
Ba	0.318	0.736	0.528	0.527	0.726	100	
Cd	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	1	
Cr	0.0126	<0.008	0.059	0.036	0.189	5	
Cu	5.336	0.1506	0.111	1.866	1.366	-	
Hg	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-	0.2	
Li	0.023	0.772	0.019	0.271	0.521	-	
Ni	1.262	1.012	0.14	0.805	0.897	-	
Se	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	-	1	
Zn	3.257	0.227	5.256	2.913	1.707	-	



จากตารางผลการทดสอบการชะละลายวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure พบว่าปริมาณโลหะหนักที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีโลหะ 4 ชนิดคือ Ba, Cu, Ni และ Zn เมื่อสกัดด้วยวิธี TCLP พบว่ามีค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะในน้ำสกัดมากกว่าวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure เนื่องจากน้ำสกัดของวิธี TCLP มีค่าพีเอชประมาณ  $4.93 \pm 0.05$  ซึ่งมีความเป็นกรดมากกว่าน้ำสกัดของวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ที่มีค่าพีเอชประมาณ 7-8 ทำให้สามารถสกัดโลหะออกมาได้มากกว่า และจากตารางที่ 4.31 พบว่าการสกัดด้วยวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure สามารถสกัดโลหะหนักออกจากตะกอนได้น้อยกว่าวิธี TCLP คิดเป็นร้อยละ 59.54 จากผลการทดสอบการสกัดของทั้ง 2 วิธี พบว่าปริมาณโลหะหนักที่วัดได้ไม่เกินกว่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงจัดได้ว่าตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง ไม่เป็นของเสียอันตรายสามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อไปได้

ตารางที่ 4.31 เปรียบเทียบปริมาณ โลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure

พารามิเตอร์	วิธี	TCLP		Extraction Procedure		ค่าความแตกต่าง
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	
		มก./ล.	มาตรฐาน	มก./ล.	มาตรฐาน	ร้อยละ
Ba		0.785	0.568	0.527	0.209	32.87
Cu		7.980	12.62	1.865	3.005	76.63
Ni		2.228	2.602	0.805	0.589	63.87
Zn		8.274	7.940	2.913	2.532	64.79
<b>ค่าเฉลี่ย</b>						<b>59.54</b>

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธี TCLP สามารถนำข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก Ba, Cu, Li, Ni และ Zn ของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง มาเปรียบเทียบกับพิจารณากับค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักจากวิธีการสกัดตามลำดับชั้นในชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2 ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัมได้ ดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธี TCLP กับ วิธีการสกัดตามลำดับขั้นที่ 1 และ ขั้นที่ 2

วิธี	TCLP	วิธีการสกัดตามลำดับขั้น			
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 1+2	ค่าความแตกต่าง
พารามิเตอร์	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	ร้อยละ
Ba	0.016	0.0047	0.0043	0.009	วิธี TCLP มากกว่า 43.75
Cu	0.160	0.0667	0.1192	0.186	วิธี สกัดตามลำดับขั้นมากกว่า 13.97
Li	0.0008	0.0035	0.0022	0.0057	วิธี สกัดตามลำดับขั้นมากกว่า 85.96
Ni	0.045	0.0290	0.0167	0.0457	วิธีสกัดตามลำดับขั้นมากกว่า 1.53
Zn	0.166	0.1067	0.0943	0.201	วิธีสกัดตามลำดับขั้นมากกว่า 17.41

จากตารางเปรียบเทียบการสกัดด้วยวิธี TCLP กับวิธีการสกัดตามลำดับขั้นในขั้นที่ 1 และ 2 พบว่า การสกัดด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้นจะสกัดได้มากกว่าวิธี TCLP ประมาณร้อยละ 1 ถึง 85 แต่โลหะหนักบางชนิด คือ Ba จะสกัดออกมาได้มากกว่าด้วยวิธี TCLP ประมาณร้อยละ 43.74 แสดงให้เห็นว่าการสกัดโลหะหนักจากตะกอนของทั้ง 2 วิธี มีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อเป็นแนวทางในการนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

จากการศึกษาความสามารถในการชะละลายของตะกอนพบว่าปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนจากวิธีการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) (ตารางที่ 2.7) และจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้นพบว่าปริมาณ Li สามารถชะละลายออกมาได้ง่ายกว่าโลหะหนักชนิดอื่นในขั้นที่ 1 และ ขั้นที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นที่โลหะอยู่ในรูปสารประกอบที่เกิดการแลกเปลี่ยนได้ง่าย และสารประกอบโลหะที่มีพันธะกับคาร์บอเนตตามลำดับ พบปริมาณ Mn, Ni และ Zn ชะละลายออกมาได้สูงกว่าโลหะชนิดอื่นในขั้นที่ 3 ซึ่งเป็นขั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ พบปริมาณ Cu, Fe, Mn, Ni และ Zn ชะละลายออกมาได้สูงกว่าโลหะชนิดอื่นในขั้นที่ 4 ซึ่งเป็นขั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะกับสารอินทรีย์และซัลไฟด์ และพบปริมาณโลหะหนักทุกชนิดเหลืออยู่ในขั้นที่ 5 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนไม่สามารถชะละลายออกมาได้ทั้งหมด

การทดสอบการชะละลายด้วยวิธี TCLP และ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure พบว่าโลหะหนักทั้งหมดที่ตรวจพบมีค่าไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงจัดได้ว่าตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง ไม่เป็นของเสียอันตรายสามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่อไปได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีของตะกอน แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการชะละลายโลหะหนักในน้ำสกัด โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไปของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 มีสีน้ำตาลเข้ม กลิ่นคล้ายดิน ไม่ฉุน ความชื้นร้อยละ 63 ถึง 73 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร มีสีดำเข้ม กลิ่นฉุนความชื้นร้อยละ 73 ถึง 78.85 ตะกอนมีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่มากกว่า 2 มิลลิเมตร จากการตรวจสอบเนื้อดิน พบว่าเป็นดินทราย (sand) และดินร่วนปนทราย (Loamy sand) โดยมีทรายร้อยละ 74 ถึง 97

2. ลักษณะสมบัติทางเคมีของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง พบว่าค่าพีเอชมีความเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุจัดอยู่ในเกณฑ์สูง ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จัดอยู่ในระดับสูงมาก แคลเซียม และแมกนีเซียม จัดอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึงสูงมาก พอเพียงต่อความต้องการของพืช

3. ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนจากการย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายไมโครเวฟ (Microwave Digestion) ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง พบว่ามีปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี อยู่ค่อนข้างสูง และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโลหะหนักด้วยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) พบว่าในขั้นที่ 1 และ ขั้นที่ 2 สกัดโลหะหนักออกมาได้น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย และที่มีพันธะกับคาร์บอนเนต สามารถชะละลายออกมาได้ยาก ในขั้นที่ 3 และ ขั้นที่ 4 สามารถสกัดทองแดง สังกะสี แมงกานีส และเหล็ก ออกมาได้สูงกว่าโลหะชนิดอื่น ซึ่งเป็นขั้นที่มีสารประกอบโลหะที่มีพันธะเหล็กกับแมงกานีสออกไซด์และพันธะสารอินทรีย์กับซัลไฟด์ และพบว่ามีปริมาณโลหะหนักเหลืออยู่ (residual) ในขั้นที่ 5 มากที่สุด แสดงให้เห็นถึงปริมาณโลหะหนักในตะกอนไม่สามารถสกัดออกมาได้ทั้งหมด

4. ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตะกอนจากวิธี TCLP และ วิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540) พบว่าปริมาณโลหะหนัก As, Ba, Cd, Cr, Hg, Se และ Formaldehyde ที่ชะละลายออกมานั้นมีค่าไม่เกินมาตรฐานของ

ปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จึงถือว่าเป็นของเสียที่ไม่จัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย (ตารางที่ 2.16)

5. สามารถพัฒนาตะกอนเพื่อนำไปปรับสภาพดินหรือปรับปรุงเป็นปุ๋ยเพื่อประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรมได้ เนื่องจากผลวิเคราะห์เบื้องต้นของลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนพบว่าค่าพีเอชมีความเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม) ที่สูงมาก อาจส่งผลกระทบต่อพืชบางชนิด ปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตะกอนมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพดิน และโลหะหนักที่ชะละลายออกมามีค่าไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 ควรได้รับการพิจารณาเป็นอันดับแรกในกรณีต้องการพัฒนาไปใช้ประโยชน์ต่อไป รองลงมาตะกอนจากเครื่องรีดตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 และ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร ตามลำดับ เนื่องจากตะกอนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 และ เฟส 3 มีปริมาณไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกับกากตะกอนทั่วไป จากข้อมูลเปรียบเทียบธาตุอาหารของปุ๋ยกับกากตะกอน (ตารางที่ 4.10) แต่ตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 มีค่าพีเอชจัดเป็นกรดอ่อนกลาง พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าตะกอนที่มีความเป็นกรดจัด โดยเน้นที่การนำไปใช้ประโยชน์ภายในนิคมอุตสาหกรรมเป็นอันดับแรก

2. ศึกษาถึงอัตราส่วนของตะกอนต่อดินที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับ หรือเพื่อการผลิตในลักษณะการขยายพันธุ์พืช อาทิเช่น กุหลาบ ดาวเรือง เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2542. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สยามสเตรชเนอริชัฟฟลายส์.
- จำเริญ อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธีรดา ร่วมชาติ และ อรทัย ตั้งจิตวัฒนากร. 2545. การทำปุ๋ยจาก Sludge ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด. โครงการระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราณี พันธุ์สินชัย. 2542. มลพิษอุตสาหกรรมเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส. พรินต์ติ้ง เฮาส์.
- ขงยุทธ โอสถสภา สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชัยสิทธิ์ ทองจู. 2541. ปุ๋ยพืชขาวเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด, บริษัท. 2548. รายงานสรุปผลวิเคราะห์ประจำเดือนของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังและนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.diw.go.th/diw\\_web/htm](http://www.diw.go.th/diw_web/htm) [29 มิถุนายน 2548]
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.diw.go.th/diw\\_web/htm](http://www.diw.go.th/diw_web/htm) [29 มิถุนายน 2548]
- สถาพร คูวิจิตรจากร. 2546. ทดลองปลูกพืชกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: รุ่งแสงการพิมพ์.
- สรสิทธิ์ วัชโรทยาน และ ชาคริต จุลกะเสวี. 2540. ดินและปุ๋ย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มุลินธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิรดี อิ่มเอิบ. 2534. การตรวจสอบดิน. อนุรักษ์ดินและน้ำ. 7 (4) : 5-27 .
- อภิรดี อิ่มเอิบ. 2542. แนวทางปรับปรุงคุณภาพทางเคมีของดินในประเทศไทย. พัฒนาที่ดิน. 36 (376): 24-38.

### ภาษาอังกฤษ

- Bergkvist P., Jarvis N., Berggren D. and Carlgren K., 2003. Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. Agriculture, Ecosystems and Environment 97 : 167-179.
- Bragato G., Leita L., Figliolia A. and Nobili M., 1998. Effect of sewage sludge pre-treatment on microbial biomass and bioavailability of heavy metals. Soil & Tillage Research 46 : 129-134.
- Chang E.E., Chiang P.C., Lu P.H., and Ko Y.W., 2001. Comparisons of metal leachability for various wastes by extraction and leaching methods. Chemosphere 45 : 91-99.
- Kuai L., Doulami F. and Verstraete W., 2000. Sludge treatment and reuse as soil conditioner for small rural communities. Bioresource Technology 73 : 213-219.
- Li, X. D., Zhang, Y. M., Poon, C. S., and Lo, I. M. C., 2001. Study of zinc in cementitious material stabilised/solidified wastes by sequential chemical extraction and microstructural analysis. Chemical Speciation and Bioavailability 13(1): 1-7.
- Mantovi P., Baldoni G. and Toderi G., 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. Water Research 39 : 289-296.
- Petersen S.O., Henriksen K., Mortensen G.K., Krogh P.H., Brandt K.K., Sorensen J., Madsen T., Petersen J. and Gron C., 2003. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility. Soil & Tillage Research 72 : 139-152.
- Rost U., Joergensen R.G. and Chander K., 2001. Effects of Zn enriched sewage sludge on microbial activities and biomass in soil. Soil Biology & Biochemistry 33 : 633-638.
- Viraraghavan T. and Lonescu M., 2002. Land application of phosphorus-laden sludge: a feasibility analysis. Environmental Management 64 : 171-177.
- Wang M.J., 1997. Land application of sewage sludge in China. The Science of the Environment 197 : 149-160.
- Weng C.H., Lin D.F. and Chiang P.C., 2003. Utilization of sludge as brick materials. Advances in Environmental Research 7 : 679-685.

U.S. Environmental Protection Agency. Method 1311: Toxicity Characteristic Leaching Procedure. SW-846 Manual [Online]. 2005. Available from: <http://www.epa.gov>[2005, December 25]

U.S. Environmental Protection Agency. Method 3051: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. SW-846 Manual [Online]. 2005. Available from: <http://www.epa.gov>[2005, December 25]



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ก.

ตารางผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ  
ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (มก./ล.)

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-
Ba		3.42	3.23	3.69	3.45	0.231
Cd		0.04	0.04	0.05	0.04	0.005
Cr		0.21	0.21	0.27	0.23	0.034
Cu		97.4	90.9	117.4	101.9	13.79
Fe		106.4	93.9	125.1	108.5	15.69
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li		0.11	0.09	0.14	0.12	0.024
Mn		26.2	27.6	24.5	26.1	1.549
Ni		1.81	1.59	2.17	1.86	0.293
Pb		0.88	0.86	1.13	0.96	0.150
Se		<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn		70.4	65.7	76.2	70.8	5.267

ตารางที่ ก.2 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ  
ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (มก./ล.)

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค.ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As		1.19	1.28	1.54	1.34	0.182
Ba		5.7	5.61	6.63	5.98	0.565
Cd		0.106	0.116	0.124	0.12	0.009
Cr		0.0588	0.061	0.072	0.06	0.007
Cu		4.07	5.2	4.7	4.66	0.566
Fe		151.3	154.2	175.4	160.30	13.157
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li		0.582	0.529	0.686	0.60	0.080
Mn		8.29	9.2	9.7	9.06	0.715
Ni		6.34	7.05	7.98	7.12	0.822
Pb		0.74	0.81	0.89	0.81	0.075
Se		<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn		26.74	28.2	30.3	28.41	1.790

ตารางที่ ก.3 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟของตะกอนจาก  
นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (มก./ล.)

เดือน พารามิเตอร์	ส.ค. ปี 48	ก.ย. ปี 48	ต.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	SK	SK	SK	SK	
	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-
Ba	2.69	2.8	2.77	2.8	0.057
Cd	0.005	0.009	0.006	0.007	0.002
Cr	24.17	22.78	23.75	23.6	0.713
Cu	11.19	9.75	8.85	9.9	1.180
Fe	776.5	567.5	595	646.3	113.56
Hg	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li	0.027	0.037	0.032	0.03	0.005
Mn	4.93	3.56	4.33	4.3	0.687
Ni	0.62	0.51	0.58	0.57	0.056
Pb	1.35	1.18	1.21	1.25	0.091
Se	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn	460.1	449.3	525.1	478.2	41.00

ตารางที่ ก.4 ปริมาณ โลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ  
ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 (มก./ก.)

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	
		มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	
As		< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-
Ba		0.342	0.323	0.369	0.345	0.023
Cd		0.004	0.0042	0.0049	0.004	0.225
Cr		1.053	1.027	1.333	1.138	0.170
Cu		9.742	9.094	11.74	10.192	1.379
Fe		10.64	9.392	12.51	10.847	1.569
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li		0.0113	0.0093	0.014	0.012	0.002
Mn		2.621	2.756	2.447	2.608	0.155
Ni		0.181	0.159	0.217	0.186	0.029
Pb		0.088	0.086	0.113	0.096	0.015
Se		<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn		7.038	6.573	7.624	7.078	0.527

ตัวอย่างการคำนวณ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น มิลลิกรัมต่อกรัม

Ba 3.42 มก./ล.

น้ำสกัด 1000 มล. มี Ba 3.42 มก.

น้ำสกัด 50 มล. มี Ba เท่ากับ  $(3.42 \times 50)/1000 = 0.171$  มก.

ดังนั้น เมื่อสารเริ่มต้นที่ 0.5 กรัม จะมี Ba เท่ากับ  $0.171/0.5 = 0.342$  มก./ก.

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ  
ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3 (มก./ก.)

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ธ.ค.ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3	
		มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	
As		0.119	0.128	0.154	0.134	0.018
Ba		0.57	0.561	0.663	0.598	0.056
Cd		0.011	0.012	0.012	0.012	0.001
Cr		0.294	0.305	0.36	0.320	0.035
Cu		0.407	0.52	0.47	0.466	0.057
Fe		15.13	15.42	17.54	16.030	1.316
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li		0.058	0.053	0.069	0.060	0.008
Mn		0.83	0.92	0.97	0.907	0.071
Ni		0.634	0.705	0.798	0.712	0.082
Pb		0.074	0.081	0.089	0.081	0.008
Se		<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn		2.674	2.82	3.03	2.84	0.179

ตารางที่ ก.6 ปริมาณโลหะหนักจากวิธีย่อยสลายด้วยเครื่องย่อยสลายด้วยไมโครเวฟของตะกอนจาก  
นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร (มก./ก.)

เดือน พารามิเตอร์	ส.ค. ปี 48	ก.ย. ปี 48	ต.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	SK	SK	SK	SK	
	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	มก./ก.	
As	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-
Ba	0.269	0.28	0.277	0.275	0.006
Cd	0.005	0.0009	0.0006	0.001	0.003
Cr	2.417	2.278	2.375	2.357	0.071
Cu	1.119	0.975	0.885	0.993	0.118
Fe	77.65	56.75	59.5	64.633	11.356
Hg	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	-
Li	0.0027	0.0037	0.0032	0.003	0.001
Mn	0.493	0.356	0.433	0.427	0.069
Ni	0.062	0.051	0.058	0.057	0.006
Pb	0.135	0.118	0.121	0.125	0.009
Se	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	-
Zn	46.01	44.93	52.51	47.82	4.100

ตารางที่ ก.7 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ล.)

ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl<sub>2</sub>) เพื่อแยกสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ล.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.51	0.130	0.03	29.45	0.03	< 0.04	0.035	79.69	6.69	<0.05	< 0.25	31.85
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.43	0.09	0.02	12.52	0.07	< 0.04	0.048	52.99	3.01	<0.05	< 0.25	11.67
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.53	0.13	0.02	28.39	0.05	< 0.04	0.034	42.79	3.21	<0.05	< 0.25	13.45
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.49	0.116	0.023	23.45	0.05	< 0.04	0.039	58.49	4.303	<0.05	< 0.25	18.99
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.053	0.023	0.01	9.48	0.02	-	0.008	19.05	2.069	-	-	11.17
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.48	0.11	0.01	1.21	0.03	< 0.04	1.189	5.58	3.73	<0.05	< 0.25	0.74
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.48	0.13	0.02	2.50	0.04	< 0.04	1.163	8.27	7.38	<0.05	< 0.25	1.19
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.49	0.14	0.03	0.87	0.07	< 0.04	1.222	10.23	9.25	<0.05	< 0.25	1.72
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.483	0.13	0.02	1.53	0.046	< 0.04	1.191	8.026	6.787	<0.05	< 0.25	1.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.006	0.015	0.01	0.86	0.02	-	0.03	2.33	2.807	-	-	0.49
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.85	<0.005	0.02	0.03	0.1	< 0.04	0.023	1.23	0.3	<0.05	< 0.25	21.86
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	0.78	<0.005	0.04	0.01	0.38	< 0.04	0.057	1.49	0.17	<0.05	< 0.25	15.52
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	0.72	<0.005	0.10	0.02	0.29	< 0.04	0.024	2.06	0.49	<0.05	< 0.25	22.05
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.783	<0.005	0.053	0.02	0.257	< 0.04	0.035	1.593	0.32	<0.05	< 0.25	19.81
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.065	-	0.04	0.01	0.14	-	0.019	0.42	0.16	-	-	3.72



ตารางที่ ๘.8 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ล.)

ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต (NaOAc) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ล.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.48	0.030	0.04	63.84	0.12	< 0.04	0.034	20.83	1.87	<0.05	< 0.25	15.33
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.53	0.020	0.04	30.01	0.17	< 0.04	0.028	11.9	0.98	<0.05	< 0.25	7.79
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.66	0.020	0.05	37.99	0.19	< 0.04	0.031	11.03	1.27	<0.05	< 0.25	7.41
ค่าเฉลี่ย	<0.1	0.557	0.023	0.043	43.95	0.16	<0.04	0.031	14.587	1.373	<0.05	<0.25	10.177
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.093	0.006	0.01	17.68	0.04	-	0.003	5.42	0.45	-	-	4.47
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.38	0.010	0.01	0.83	0.11	< 0.04	0.639	1.360	2.36	<0.05	< 0.25	0.62
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.46	0.030	0.01	0.78	0.06	< 0.04	0.793	2.78	5.03	<0.05	< 0.25	1.10
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.41	0.010	0.01	0.33	0.07	< 0.04	0.843	2.42	6.62	<0.05	< 0.25	1.46
ค่าเฉลี่ย	<0.1	0.417	0.017	0.01	0.647	0.08	<0.04	0.758	2.187	4.67	<0.05	<0.25	1.06
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.04	0.012	-	0.275	0.03	-	0.106	0.738	2.153	-	-	0.42
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.87	<0.005	0.06	0.15	0.17	0.05	0.044	0.03	0.3	<0.05	< 0.25	30.99
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	0.60	<0.005	0.13	0.04	0.26	0.04	0.068	0.33	0.21	<0.05	< 0.25	17.08
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	0.62	<0.005	0.20	0.08	0.46	0.04	0.039	0.22	0.38	<0.05	< 0.25	24.71
ค่าเฉลี่ย	<0.1	0.697	<0.005	0.13	0.09	0.297	0.043	0.05	0.193	0.297	<0.05	<0.25	24.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.15	-	0.07	0.056	0.15	0.0058	0.016	0.15	0.085	-	-	6.97

ตารางที่ ๑.๑ ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ล.)

ขั้นที่ ๓ การสกัดด้วยไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (NH<sub>2</sub>OH.HCl) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ล.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	0.13	0.83	0.160	6.66	126.2	112.9	0.05	0.091	72.56	4.77	0.26	< 0.25	264.3
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	1.25	0.205	7.77	5.07	55.86	< 0.04	0.101	101.2	5.64	0.40	< 0.25	292.3
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	1.29	0.165	8.39	2.19	52.24	< 0.04	0.078	74.35	4.63	0.40	< 0.25	251.3
ค่าเฉลี่ย	0.11	1.123	0.177	7.61	44.487	73.667	0.0433	0.09	82.703	5.013	0.353	< 0.25	269.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.017	0.255	0.0247	0.88	70.780	34.03	0.0058	0.012	16.043	0.547	0.081	-	20.95
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	1.48	0.545	1.02	0.51	59.25	< 0.04	1.228	35.73	19.93	0.09	< 0.25	115.0
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	1.45	0.445	0.97	0.40	55.61	< 0.04	1.074	31.24	16.13	0.12	< 0.25	101.1
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	1.49	0.405	0.95	0.37	60.43	< 0.04	1.028	32.18	16.11	0.07	< 0.25	103.4
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	1.473	0.465	0.98	0.427	58.43	< 0.04	1.11	33.05	17.39	0.093	< 0.25	106.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.021	0.072	0.04	0.074	2.51	-	0.105	2.37	2.2	0.025	-	7.45
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	1.79	0.063	78.83	0.03	2631	< 0.04	0.098	28.32	1.83	1.05	< 0.25	2097
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	2.24	0.054	65.49	0.02	1734	< 0.04	0.100	19.53	1.22	0.78	< 0.25	1649
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	2.06	0.037	54.66	< 0.01	1478	< 0.04	0.058	18.90	1.12	0.69	< 0.25	1636
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	2.03	0.051	66.33	0.025	1,947.6	< 0.04	0.085	22.25	1.39	0.84	< 0.25	1,794
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.226	0.013	12.11	0.01	605.47	-	0.024	5.2662	0.384	0.187	-	262.48

ตารางที่ ก.10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ล.)

ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ล.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	0.24	0.55	0.023	41.18	382.5	190.2	< 0.04	0.033	35.06	1.37	1.04	< 0.25	154.3
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	0.24	0.39	0.042	38.34	362.0	204.9	< 0.04	0.035	49.51	3.21	0.63	< 0.25	182.7
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	0.22	0.33	0.033	40.40	397.9	187.4	< 0.04	0.039	37.00	5.06	0.63	< 0.25	151.5
ค่าเฉลี่ย	0.23	0.42	0.033	39.97	380.8	194.167	< 0.04	0.036	40.523	3.213	0.767	< 0.25	162.833
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0115	0.114	0.0095	1.47	18.01	9.40	-	0.003	7.842	1.845	0.237	-	17.261
LB3 มิ.ย. ปี 2548	0.98	3.75	0.267	15.11	40.94	473.8	< 0.04	0.549	21.48	21.03	0.87	< 0.25	96.62
LB3 ก.ค. ปี 2548	0.99	3.32	0.253	15.19	52.18	409.9	< 0.04	0.522	18.72	19.64	0.99	< 0.25	85.87
LB3 ส.ค. ปี 2548	1.01	3.86	0.248	14.54	41.17	461.2	< 0.04	0.584	19.25	20.56	0.99	< 0.25	87.88
ค่าเฉลี่ย	0.99	3.643	0.256	14.95	44.763	448.3	< 0.04	0.552	19.817	20.41	0.95	< 0.25	90.123
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.015	0.285	0.010	0.35	6.424	33.85	-	0.031	1.464	0.707	0.069	-	5.715
SK ส.ค. ปี 2548	0.31	1.07	0.053	111.4	91.47	2076	< 0.04	0.019	5.05	1.79	4.38	< 0.25	1,574
SK ก.ย. ปี 2548	0.37	1.18	0.086	115.5	86.89	1605	< 0.04	0.023	5.00	2.16	3.95	< 0.25	1,994
SK ต.ค. ปี 2548	0.36	2.41	0.059	106.20	72.14	1571	< 0.04	0.020	5.25	2.32	3.32	< 0.25	1,936
ค่าเฉลี่ย	0.35	1.553	0.066	111.03	83.5	1,750.67	< 0.04	0.021	5.1	2.09	3.883	< 0.25	1,834.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03	0.744	0.017	4.66	10.10	282.26	-	0.002	0.13	0.272	0.533	-	227.60

ตารางที่ ก.11 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ก.)

ขั้นที่ 1 การสกัดด้วยแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl<sub>2</sub>) เพื่อแยกสารที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนง่าย

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ก.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.004	0.130	0.00024	0.236	0.0002	< 0.04	0.0003	0.638	0.054	<0.05	< 0.25	0.255
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.003	0.09	0.00016	0.100	0.0006	< 0.04	0.0004	0.424	0.024	<0.05	< 0.25	0.093
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.004	0.13	0.00016	0.227	0.0004	< 0.04	0.0003	0.342	0.026	<0.05	< 0.25	0.108
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.004	0.116	0.00019	0.188	0.0004	< 0.04	0.0003	0.468	0.034	<0.05	< 0.25	0.152
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0004	0.023	0.00005	0.076	0.0002	-	0.00006	0.152	0.017	-	-	0.089
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.0038	0.11	0.00008	0.010	0.0002	< 0.04	0.010	0.045	0.03	<0.05	< 0.25	0.006
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.0038	0.13	0.00016	0.020	0.0003	< 0.04	0.009	0.066	0.06	<0.05	< 0.25	0.010
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.0039	0.14	0.00024	0.007	0.0006	< 0.04	0.010	0.082	0.07	<0.05	< 0.25	0.014
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.004	0.13	0.00016	0.012	0.0004	< 0.04	0.010	0.064	0.05	<0.05	< 0.25	0.010
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0005	0.015	0.00008	0.007	0.0002	-	0.0002	0.019	0.022	-	-	0.004
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.007	<0.005	0.0002	0.00024	0.0008	< 0.04	0.0002	0.010	0.002	<0.05	< 0.25	0.175
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	0.01	<0.005	0.0003	0.00008	0.0030	< 0.04	0.0005	0.012	0.001	<0.05	< 0.25	0.124
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	0.006	<0.005	0.0008	0.00016	0.0023	< 0.04	0.0002	0.016	0.004	<0.05	< 0.25	0.176
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.006	<0.005	0.0004	0.00016	0.0021	< 0.04	0.0003	0.013	0.003	<0.05	< 0.25	0.158
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0005	-	0.0003	0.00008	0.0011	-	0.0002	0.003	0.001	-	-	0.030

ตารางที่ ก.12 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ก.)

ขั้นที่ 2 การสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต (NaOAc) เพื่อแยกพันธะคาร์บอเนต

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ก.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.004	0.00024	0.00032	0.511	0.001	< 0.04	0.0003	0.167	0.015	<0.05	< 0.25	0.123
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.004	0.00016	0.00032	0.240	0.001	< 0.04	0.0002	0.095	0.008	<0.05	< 0.25	0.062
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.005	0.00016	0.00040	0.304	0.002	< 0.04	0.0002	0.088	0.010	<0.05	< 0.25	0.059
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.004	0.00019	0.00035	0.352	0.001	< 0.04	0.0002	0.117	0.011	<0.05	< 0.25	0.081
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0007	0.00004	0.00005	0.141	0.0003	-	0.000024	0.043	0.004	-	-	0.036
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.003	0.00008	0.00008	0.007	0.00088	< 0.04	0.005	0.011	0.019	<0.05	< 0.25	0.005
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.004	0.00024	0.00008	0.006	0.00048	< 0.04	0.006	0.022	0.040	<0.05	< 0.25	0.009
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.003	0.00008	0.00008	0.003	0.00056	< 0.04	0.007	0.019	0.053	<0.05	< 0.25	0.012
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.003	0.00013	0.00008	0.005	0.00064	< 0.04	0.006	0.017	0.037	<0.05	< 0.25	0.008
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.0003	0.00009	-	0.002	0.00021	-	0.0009	0.0059	0.017	-	-	0.0034
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.007	<0.005	0.0005	0.0012	0.001	0.05	0.0004	0.0002	0.002	<0.05	< 0.25	0.248
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	0.005	<0.005	0.0010	0.0003	0.002	0.04	0.0005	0.0026	0.002	<0.05	< 0.25	0.137
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	0.005	<0.005	0.0016	0.0006	0.004	0.04	0.0003	0.0018	0.003	<0.05	< 0.25	0.198
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.006	<0.005	0.0010	0.0007	0.002	0.043	0.0004	0.0015	0.002	<0.05	< 0.25	0.194
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.001	-	0.0006	0.0004	0.001	0.0058	0.00012	0.0012	0.0007	-	-	0.056

ตารางที่ ก.13 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ก.)

ขั้นที่ 3 การสกัดด้วยไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (NH<sub>2</sub>.OH.HCl) เพื่อแยกพันธะเหล็กและแมงกานีสออกไซด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ก.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	0.13	0.003	0.001	0.027	0.505	0.452	0.05	0.0004	0.2902	0.0191	0.0010	< 0.25	1.057
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.005	0.001	0.031	0.020	0.223	< 0.04	0.0004	0.4048	0.0226	0.0016	< 0.25	1.169
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.005	0.001	0.034	0.009	0.209	< 0.04	0.0003	0.2974	0.0185	0.0016	< 0.25	1.005
ค่าเฉลี่ย	0.11	0.004	0.0007	0.030	0.178	0.295	0.0433	0.0004	0.331	0.020	0.0014	< 0.25	1.077
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.017	0.001	9.9E-05	0.004	0.283	0.136	0.0058	0.0000	0.064	0.002	0.0003	-	0.084
LB3 มิ.ย. ปี 2548	< 0.10	0.0059	0.002	0.004	0.002	0.237	< 0.04	0.005	0.143	0.080	0.0004	< 0.25	0.460
LB3 ก.ค. ปี 2548	< 0.10	0.0058	0.002	0.004	0.002	0.222	< 0.04	0.004	0.125	0.065	0.0005	< 0.25	0.404
LB3 ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.0060	0.002	0.004	0.001	0.242	< 0.04	0.004	0.129	0.064	0.0003	< 0.25	0.414
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.006	0.002	0.004	0.002	0.234	< 0.04	0.004	0.132	0.070	0.0004	< 0.25	0.426
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	8E-05	0.0003	0.0001	0.0003	0.010	-	0.0004	0.009	0.0088	0.0001	-	0.030
SK ส.ค. ปี 2548	< 0.10	0.007	0.0003	0.315	0.0001	10.524	< 0.04	0.0004	0.113	0.007	0.004	< 0.25	8.388
SK ก.ย. ปี 2548	< 0.10	0.009	0.0002	0.262	0.0001	6.936	< 0.04	0.0004	0.078	0.005	0.003	< 0.25	6.596
SK ต.ค. ปี 2548	< 0.10	0.008	0.0001	0.219	0.00004	5.912	< 0.04	0.0002	0.076	0.004	0.003	< 0.25	6.544
ค่าเฉลี่ย	< 0.10	0.008	0.0002	0.265	0.00008	7.79	< 0.04	0.0003	0.089	0.006	0.0034	< 0.25	7.176
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	9E-04	0.0001	0.048	0.00004	2.42	-	0.0001	0.021	0.002	0.0007	-	1.050

ตารางที่ ก.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ก.)

ขั้นที่ 4 การสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต (NH<sub>4</sub>OAc) เพื่อแยกพันธะสารอินทรีย์และซัลไฟด์

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ก.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	0.001	0.002	0.0001	0.165	1.530	0.761	< 0.04	0.0001	0.140	0.005	0.004	< 0.25	0.617
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	0.001	0.002	0.0002	0.153	1.448	0.820	< 0.04	0.0001	0.198	0.013	0.003	< 0.25	0.731
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	0.001	0.001	0.0001	0.162	1.592	0.750	< 0.04	0.0002	0.148	0.020	0.003	< 0.25	0.606
ค่าเฉลี่ย	0.0009	0.002	0.00013	0.160	1.523	0.777	< 0.04	0.0001	0.162	0.013	0.0031	< 0.25	0.651
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	5E-05	5E-04	3.8E-05	0.006	0.072	0.038	-	1.2E-05	0.031	0.007	0.0009	-	0.069
LB3 มิ.ย. ปี 2548	0.004	0.015	0.001	0.060	0.164	1.895	< 0.04	0.002	0.086	0.084	0.003	< 0.25	0.386
LB3 ก.ค. ปี 2548	0.004	0.013	0.001	0.061	0.209	1.640	< 0.04	0.002	0.075	0.079	0.004	< 0.25	0.343
LB3 ส.ค. ปี 2548	0.004	0.015	0.001	0.058	0.165	1.845	< 0.04	0.002	0.077	0.082	0.004	< 0.25	0.352
ค่าเฉลี่ย	0.004	0.015	0.001	0.060	0.179	1.793	< 0.04	0.002	0.079	0.082	0.0038	< 0.25	0.360
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6E-05	0.001	3.9E-05	0.001	0.026	0.135	-	0.0001	0.006	0.0028	0.0003	-	0.023
SK ส.ค. ปี 2548	0.001	0.021	0.0002	0.446	0.366	8.304	< 0.04	0.0001	0.020	0.007	0.018	< 0.25	6.296
SK ก.ย. ปี 2548	0.001	0.005	0.0003	0.462	0.348	6.420	< 0.04	0.0001	0.020	0.009	0.016	< 0.25	7.976
SK ต.ค. ปี 2548	0.001	0.010	0.0002	0.425	0.289	6.284	< 0.04	0.0001	0.021	0.009	0.013	< 0.25	7.744
ค่าเฉลี่ย	0.0014	0.012	0.00026	0.444	0.334	7.00	< 0.04	0.0001	0.020	0.0084	0.016	< 0.25	7.34
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0001	0.009	7E-05	0.019	0.040	1.129	-	8.3E-06	0.0005	0.00109	0.002	-	0.910

ตารางที่ ก.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้น (Sequential Extraction) (มก./ ก.)

ขั้นที่ 5 ปริมาณโลหะหนักที่เหลือ (residual fraction)

ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด (มก./ ก.)												
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
LB1-2 มิ.ย. ปี 2548	nd	0.329	0.002	0.861	6.961	9.426	nd	0.010	1.386	0.088	nd	nd	4.986
LB1-2 ก.ค. ปี 2548	nd	0.309	0.002	0.842	7.285	8.347	nd	0.008	1.634	0.092	nd	nd	4.517
LB1-2 ส.ค. ปี 2548	nd	0.353	0.003	1.137	9.609	11.550	nd	0.013	1.571	0.142	nd	nd	5.846
ค่าเฉลี่ย	nd	0.33	0.002	0.95	7.95	9.77	nd	0.010	1.53	0.107	nd	nd	5.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	nd	0.022	0.000	0.17	1.44	1.63	nd	0.002	0.13	0.030	nd	nd	0.67
LB3 มิ.ย. ปี 2548	nd	0.542	0.006	0.229	0.225	12.997	nd	0.036	0.545	0.421	nd	nd	1.817
LB3 ก.ค. ปี 2548	nd	0.534	0.008	0.240	0.283	13.557	nd	0.031	0.632	0.463	nd	nd	2.054
LB3 ส.ค. ปี 2548	nd	0.634	0.009	0.298	0.294	15.452	nd	0.046	0.663	0.524	nd	nd	2.239
ค่าเฉลี่ย	nd	0.57	0.008	0.256	0.268	14.00	nd	0.038	0.613	0.469	nd	nd	2.037
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	nd	0.056	0.001	0.037	0.037	1.287	nd	0.007	0.06	0.05	nd	nd	0.21
SK ส.ค. ปี 2548	nd	0.227	0.005	1.655	0.752	58.820	nd	0.002	0.349	0.043	nd	nd	30.90
SK ก.ย. ปี 2548	nd	0.255	0.010	1.553	0.627	43.389	nd	0.002	0.243	0.034	nd	nd	30.10
SK ต.ค. ปี 2548	nd	0.248	0.010	1.729	0.596	47.298	nd	0.002	0.318	0.037	nd	nd	37.85
ค่าเฉลี่ย	nd	0.24	0.008	1.65	0.66	49.84	nd	0.002	0.304	0.038	nd	nd	32.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	nd	0.015	0.002	0.09	0.08	8.022	nd	0.000	0.055	0.004	nd	nd	4.3

nd = not detected



ตัวอย่างการคำนวณ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น มิลลิกรัมต่อกรัม ของวิธีการสกัดตามลำดับชั้น  
ในชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 2

Ba 0.51 มก./ล.

น้ำสกัด 1000 มล. มี Ba 0.51 มก.

น้ำสกัด 40 มล. มี Ba เท่ากับ  $(0.51 \times 40)/1000 = 0.02$  มก.

ดังนั้น เมื่อสารเริ่มต้นที่ 5 กรัม จะมี Ba เท่ากับ  $0.02/5 = 0.004$  มก./ก.

ตัวอย่างการคำนวณ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น มิลลิกรัมต่อกรัม ของวิธีการสกัดตามลำดับชั้น  
ในชั้นที่ 3 และ ชั้นที่ 4

Ba 0.83 มก./ล.

น้ำสกัด 1000 มล. มี Ba 0.83 มก.

น้ำสกัด 20 มล. มี Ba เท่ากับ  $(0.83 \times 20)/1000 = 0.016$  มก.

ดังนั้น เมื่อสารเริ่มต้นที่ 5 กรัม จะมี Ba เท่ากับ  $0.016/5 = 0.003$  มก./ก.

ตารางที่ ก.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม  
ลาดกระบังเฟส 1-2

เดือน พารามิเตอร์	มิ.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับมาตรฐาน
	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2		
	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	5.0
Ba	0.699	0.600	0.462	0.587	0.11	100
Cd	0.009	0.007	0.012	0.0093	0.0025	1.0
Cr	0.013	<0.007	0.024	0.0185	0.0086	5.0
Cu	14.5	14.0	39.1	22.53	14.35	-
Hg	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	0.2
Li	<0.80	<0.80	<0.80	<0.80	-	-
Ni	0.974	0.711	2.04	1.242	0.70	-
Se	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	-	1.0
Zn	25.7	11.1	15.2	17.33	7.53	-
Formaldehyde	0.53	0.3	0.95	0.593	0.33	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ ก.17 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม

ลาดกระบังเฟส 3

เดือน พารามิเตอร์	มิ.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับมาตรฐาน
	LB 3	LB 3	LB 3	LB 3		
	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	5.0
Ba	0.216	0.357	0.453	0.342	0.12	100
Cd	0.02	0.013	0.029	0.021	0.008	1.0
Cr	0.012	<0.007	<0.007	0.012	0.003	5.0
Cu	2.65	0.538	0.932	1.373	1.12	-
Hg	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	-	0.2
Li	<0.80	<0.80	<0.80	<0.80	-	-
Ni	4.21	2.81	8.52	5.18	2.97	-
Se	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	-	1.0
Zn	3.15	4.61	7.25	5.003	2.07	-
Formaldehyde	0.53	0.45	0.98	0.653	0.28	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ ก.18 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของตะกอนจากนิคมอุตสาหกรรม

สมุทรสาคร

เดือน พารามิเตอร์	ส.ค. ปี 48	ก.ย. ปี 48	ต.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับมาตรฐาน
	SK	SK	SK	SK		
	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	
As	<0.05	0.053	<0.05	0.053	0.0017	5.0
Ba	1.35	1.90	1.03	1.426	0.44	100
Cd	0.003	<0.003	<0.004	0.003	0.0005	1.0
Cr	0.175	0.072	0.53	0.259	0.24	5.0
Cu	0.065	0.006	0.04	0.037	0.029	-
Hg	<0.03	<0.03	<0.04	<0.03	-	0.2
Li	<0.80	<0.80	0.04	0.04	0.44	-
Ni	0.271	0.101	0.42	0.264	0.16	-
Se	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	-	1.0
Zn	1.02	3.83	2.62	2.49	1.41	-
Formaldehyde	0.93	0.99	0.89	0.936	0.05	1.0

หมายเหตุ : ระดับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตารางที่ ก.19 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน  
จากนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ระดับมาตรฐาน
		LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	LB 1-2	มาตรฐาน	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.		มก./ล.
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	<0.05	-	5.0
Ba		0.195	0.501	0.260	0.32	0.16	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	1.0
Cr		0.016	0.010	0.012	0.0126	0.003	5.0
Cu		6.343	1.603	8.062	5.336	3.35	-
Fe		0.067	0.082	0.052	0.07	0.015	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	-	0.2
Li		0.023	0.027	0.019	0.023	0.004	-
Mn		17.738	10.368	9.539	12.55	4.51	-
Ni		1.704	0.897	1.186	1.262	0.41	-
Pb		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	5.0
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.10	-	1.0
Zn		5.405	1.718	2.649	3.257	1.92	-

ตารางที่ ก.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน  
จากนิกมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 3

พารามิเตอร์	เดือน	ม.ย. ปี 48	ก.ค. ปี 48	ส.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ระดับมาตรฐาน
		LB 3	LB 3	LB 3	LB 3	มาตรฐาน	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.		มก./ล.
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	<0.05	-	5.0
Ba		1.196	0.547	0.467	0.736	0.16	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	1.0
Cr		<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	-	5.0
Cu		0.178	0.197	0.077	0.15	3.35	-
Fe		0.076	0.176	0.308	0.19	0.015	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	-	0.2
Li		0.864	0.774	0.678	0.772	0.004	-
Mn		0.225	0.548	0.816	0.53	4.51	-
Ni		0.538	1.031	1.468	1.012	0.41	-
Pb		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	5.0
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.10	-	1.0
Zn		0.236	0.187	0.260	0.227	1.92	-

ตารางที่ ก.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดสาร Extraction Procedure ของตะกอน  
จากนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร

พารามิเตอร์	เดือน	ส.ค. ปี 48	ก.ย. ปี 48	ต.ค. ปี 48	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ระดับมาตรฐาน
		SK	SK	SK	SK	มาตรฐาน	
		มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.	มก./ล.		มก./ล.
As		< 0.05	< 0.05	< 0.05	<0.05	-	5.0
Ba		0.184	0.613	0.788	0.528	0.31	100
Cd		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-	1.0
Cr		0.004	0.039	0.134	0.059	0.067	5.0
Cu		0.069	0.138	0.127	0.111	0.037	-
Fe		0.713	0.654	1.964	1.11	0.72	-
Hg		< 0.04	< 0.04	< 0.04	<0.04	-	0.2
Li		0.010	0.039	0.008	0.019	0.017	-
Mn		0.131	0.358	0.065	0.18	0.15	-
Ni		0.086	0.066	0.268	0.14	0.11	-
Pb		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	5.0
Se		< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.10	-	1.0
Zn		3.516	6.112	6.140	5.256	1.51	-

ตารางที่ ก.22 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธี TCLP ของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
	มก./ล.	มก./ล.
As	0.053	0.001
Ba	0.785	0.016
Cd	0.011	0.0002
Cr	0.097	0.002
Cu	7.98	0.160
Hg	<0.03	-
Li	0.04	0.001
Ni	2.23	0.045
Se	<0.08	-
Zn	8.27	0.165

ตารางที่ ก. 23 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากวิธีการสกัดตามลำดับขั้นที่ 1 และ ขั้นที่ 2 ของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ขั้นที่ 1	ค่าเฉลี่ย ขั้นที่ 2
	มก./ล.	มก./ล.
As	<0.10	<0.10
Ba	0.0047	0.0043
Cd	0.083	0.00016
Cr	0.0003	0.00047
Cu	0.0667	0.1192
Hg	<0.04	<0.04
Li	0.0035	0.0022
Ni	0.029	0.0167
Se	<0.25	<0.25
Zn	0.1067	0.0943



ภาคผนวก ข.

ข้อมูลลักษณะน้ำเสียจากการนิคมอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข. 1 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนมิถุนายนปีพ.ศ. 2548

		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : LB JUN : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	Phase 1,2	Phase 3	Standard	Phase 1,2	Phase 3	
1. Temperature	°C	< 45	30	31	< 40	29	29	Sampling Date : 07-Jun-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	7.10	7.45	5.0 - 9.0	7.78	7.92	NO = Not Objectionable
3. SS	mg/L	≤ 200	77.0	88.5	≤ 50	6.8	8.2	
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	1,835	786	≤ 3,000	1,883	808	
5. Color & Odor	-	NO	Gray	Gray	NO	NO	NO	
6. BOD	mg/L	≤ 500	299	252	≤ 20	2	3	
7. COD	mg/L	≤ 750	547	453	≤ 120	27	35	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	4.6	3.0	≤ 5	< 0.5	< 0.5	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	1.91	2.71	-	1.19	1.57	
10. TKN	mg/L	≤ 100	24	1	≤ 100	27	1	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	246	338	-	138	160	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	0.10	< 0.01	≤ 1	< 0.01	< 0.01	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	1.07	1.24	-	0.12	0.07	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	1.01	0.10	≤ 5	0.64	0.01	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.10	0.20	≤ 1	0.01	0.01	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.10	0.04	≤ 1	0.04	0.05	
17. Copper	mg/L	≤ 2	2.21	0.08	≤ 2	0.12	0.02	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	1.08	0.04	≤ 1	1.31	0.02	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.63	1.91	-	6.51	0.98	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.036	0.009	≤ 0.2	0.023	< 0.001	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	0.11	0.07	≤ 1	0.15	0.03	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	0.0100	0.0400	≤ 0.25	0.0300	0.0200	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.2300	0.0200	≤ 0.75	0.0200	0.0400	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	0.0008	0.0005	≤ 0.005	< 0.0004	< 0.0004	
26. Barium	mg/L	≤ 1	< 0.05	< 0.05	≤ 1	< 0.05	< 0.05	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	< 0.0035	< 0.0035	≤ 0.2	< 0.0035	< 0.0035	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	1.01	0.30	≤ 5	0.54	0.07	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	≤ 0.03	< 0.0003	0.0100	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.03	< 0.03	-	< 0.03	< 0.03	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	6.66	5.36	-	5.83	5.58	



ตารางที่ ข. 2 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนกรกฎาคม  
ปีพ.ศ.2548

		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : LB JUL : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	Phase 1,2	Phase 3	Standard	Phase 1,2	Phase 3	
1. Temperature	°C	< 45	31	30	< 40	29	28	Sampling Date : 12-Jul-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	7.40	7.68	5.0 - 9.0	7.82	7.92	NO = Not Objectionable
3. SS	mg/L	≤ 200	102	91.5	≤ 50	8.2	12.0	
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	1,736	855	≤ 3,000	1,950	940	
5. Color & Odor	-	NO	Gray	Gray	NO	NO	NO	
6. BOD	mg/L	≤ 500	164	179	≤ 20	2	2	
7. COD	mg/L	≤ 750	341	367	≤ 120	53	39	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	4.8	3.6	≤ 5	< 0.5	0.8	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	2.11	2.56	-	1.05	1.28	
10. TKN	mg/L	≤ 100	29	23	≤ 100	< 1	< 1	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	310	298	-	299	308	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	< 0.01	< 0.01	≤ 1	0.07	0.05	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	1.01	0.92	-	0.08	0.11	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	0.77	0.07	≤ 5	0.45	0.03	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.12	3.01	≤ 1	< 0.01	0.01	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.03	0.05	≤ 1	< 0.01	0.02	
17. Copper	mg/L	≤ 2	1.69	0.01	≤ 2	0.09	< 0.0005	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	1.10	1.35	≤ 1	0.03	0.02	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.69	0.94	-	40.80	1.25	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.013	< 0.001	≤ 0.2	0.022	0.002	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	0.09	0.10	≤ 1	0.10	0.02	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	0.0200	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.0653	0.0096	≤ 0.75	< 0.0004	0.0191	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	0.0009	0.0005	≤ 0.005	< 0.0004	< 0.0004	
26. Barium	mg/L	≤ 1	< 0.05	< 0.05	≤ 1	< 0.05	< 0.05	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	< 0.0035	< 0.0035	≤ 0.2	< 0.0035	< 0.0035	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	1.47	0.16	≤ 5	0.33	0.04	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.03	< 0.03	-	< 0.03	< 0.03	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	5.13	4.17	-	3.84	2.99	

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเดือนสิงหาคมปีพ.ศ. 2548

		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : LB AUG : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	Phase 1,2	Phase 3	Standard	Phase 1,2	Phase 3	
1. Temperature	°C	< 45	30	30	< 40	29	29	Sampling Date : 02-Aug-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	7.70	7.53	5.0 - 9.0	7.70	7.89	NO = Not Objectionable
3. SS	mg/L	≤ 200	159	136	≤ 50	8.0	10.5	
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	1,573	760	≤ 3,000	1,890	1,002	
5. Color & Odor	-	NO	Gray	Gray	NO	NO	NO	
6. BOD	mg/L	≤ 500	83	233	≤ 20	2	6	
7. COD	mg/L	≤ 750	267	472	≤ 120	38	33	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	3.6	4.0	≤ 5	< 0.5	0.8	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	3.56	2.89	-	1.55	0.89	
10. TKN	mg/L	≤ 100	28	27	≤ 100	1	1	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	194	141	-	267	185	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	< 0.01	0.02	≤ 1	0.08	0.06	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	1.58	1.13	-	0.12	0.67	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	0.66	0.11	≤ 5	0.97	0.02	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.08	<b>8.38</b>	≤ 1	< 0.01	0.01	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.07	0.07	≤ 1	0.02	0.01	
17. Copper	mg/L	≤ 2	1.78	0.03	≤ 2	0.08	< 0.0005	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	<b>1.25</b>	<b>1.55</b>	≤ 1	0.07	0.09	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.67	0.75	-	2.19	0.91	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.010	0.009	≤ 0.2	0.007	0.002	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	0.75	0.08	≤ 1	0.38	0.05	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	0.0200	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.0554	< 0.0004	≤ 0.75	< 0.0004	< 0.0004	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.004	0.0040	≤ 0.25	< 0.004	< 0.004	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	< 0.0005	<b>0.0305</b>	≤ 0.005	< 0.0005	< 0.0005	
26. Barium	mg/L	≤ 1	0.04	0.01	≤ 1	0.04	0.03	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	0.0064	0.0077	≤ 0.2	0.0410	0.0238	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	2.27	0.29	≤ 5	0.30	0.06	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.03	< 0.03	-	< 0.03	< 0.03	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	4.24	4.78	-	2.56	2.48	

ตารางที่ ข. 4 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนสิงหาคมปีพ.ศ.2548

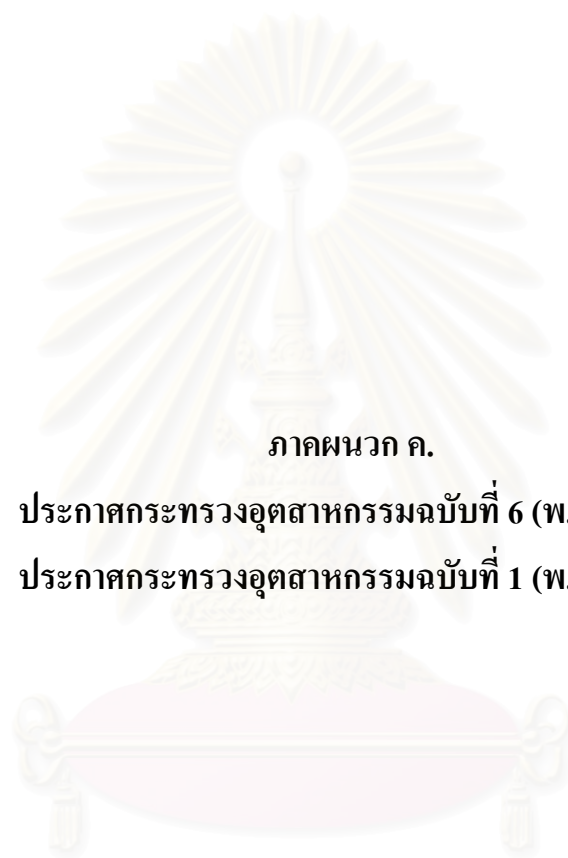
		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : SK AUG : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	(General Zone)**	(Dye Zone)**	Standard	I*	II**	
1. Temperature	°C	< 45	28	28	< 40	27	28	Sampling Date* : 01-Aug-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	6.84	7.65	5.0 - 9.0	7.64	7.86	Sampling Date** : 16-Aug-05
3. SS	mg/L	≤ 200	200	110	≤ 50	5.6	3.0	NA = Not Analysis
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	1,472	1,896	≤ 3,000	1,475	1,335	NO = Not Objectionable
5. Color & Odor	-	NO	Gray	Blue	NO	NO	NO	
6. BOD	mg/L	≤ 500	247	490	≤ 20	4	4	
7. COD	mg/L	≤ 750	612	1,063	≤ 120	23	12	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	21.2	34.5	≤ 5	1.0	< 0.5	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	2.56	0.85	≤ 30	NA	1.85	
10. TKN	mg/L	≤ 100	25	20	≤ 100	NA	2	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	1,800	1,920	≤ 2,000	NA	820	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	< 0.01	< 0.01	≤ 1	NA	< 0.01	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	34.36	0.92	≤ 10	NA	0.18	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	0.35	0.09	≤ 5	NA	0.01	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.10	1.91	≤ 1	NA	0.01	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.10	0.37	≤ 1	NA	0.06	
17. Copper	mg/L	≤ 2	0.06	1.82	≤ 2	< 0.0005	0.01	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	0.88	1.20	≤ 1	NA	0.75	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.15	0.50	-	NA	0.32	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.108	0.193	≤ 0.2	NA	0.025	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	0.05	0.01	≤ 1	0.04	0.02	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.1630	0.0690	≤ 0.75	NA	< 0.0004	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.025	< 0.025	≤ 0.25	< 0.025	< 0.025	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	< 0.0005	< 0.0005	≤ 0.005	< 0.0005	0.003	
26. Barium	mg/L	≤ 1	0.11	0.10	≤ 1	NA	0.07	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	NA	< 0.005	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	0.0709	0.0427	≤ 0.2	0.0248	0.0194	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	14.06	3.63	≤ 5	0.29	0.19	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	0.0157	0.0066	≤ 0.03	0.0021	0.0033	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.05	< 0.05	-	NA	< 0.05	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	3.0	1.9	-	NA	1.0	

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนกันยายนปีพ.ศ. 2548

		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : SMK SEP : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	(General Zone)**	(Dye Zone)**	Standard	I*	II**	
1. Temperature	°C	< 45	28	27	< 40	27	27	Sampling Date* : 05-Sep-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	7.26	7.91	5.0 - 9.0	7.73	7.79	Sampling Date** : 19-Sep-05
3. SS	mg/L	≤ 200	97.0	366	≤ 50	< 2.5	13.2	NA = Not Analysis
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	537	1,743	≤ 3,000	571	750	NO = Not Objectionable
5. Color & Odor	-	NO	Gray	Gray	NO	NO	Yellow	
6. BOD	mg/L	≤ 500	132	743	≤ 20	2	13	
7. COD	mg/L	≤ 750	1,750	1,928	≤ 120	66	19	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	80	79.0	≤ 5	3.0	0.8	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	2.11	1.52	≤ 30	0.8	NA	
10. TKN	mg/L	≤ 100	24	43	≤ 100	5	NA	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	170	350	≤ 2,000	86	NA	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	< 0.01	< 0.01	≤ 1	< 0.01	NA	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	6.01	2.57	≤ 10	0.14	NA	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	0.18	0.11	≤ 5	0.02	NA	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.76	3.26	≤ 1	0.02	NA	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.06	0.04	≤ 1	0.10	NA	
17. Copper	mg/L	≤ 2	0.09	0.60	≤ 2	0.02	0.02	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	0.72	0.95	≤ 1	0.05	NA	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.50	1.20	-	0.50	NA	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.014	0.085	≤ 0.2	0.004	NA	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	0.08	0.03	≤ 1	0.01	0.02	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.3798	0.1320	≤ 0.75	< 0.0004	NA	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.025	< 0.025	≤ 0.25	< 0.025	< 0.025	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	< 0.0005	< 0.0005	≤ 0.005	< 0.0005	0.0080	
26. Barium	mg/L	≤ 1	0.52	0.32	≤ 1	0.10	NA	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	< 0.005	NA	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	0.070	0.069	≤ 0.2	0.008	0.058	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	8.46	25.07	≤ 5	0.14	0.35	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	0.0052	0.0086	≤ 0.03	0.0088	0.0045	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.05	< 0.05	-	< 0.05	NA	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	2.8	1.0	-	0.8	NA	

ตารางที่ ข. 6 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียของการนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครเดือนตุลาคมปีพ.ศ. 2548

		INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY (FULL SUITED ANALYSIS)						SITE : SK OCT : 2005
Parameter	Unit	Influent			Effluent			Remark
		Standard	(General Zone)**	(Dye Zone)**	Standard	I*	II**	
1. Temperature	°C	< 45	27	27	< 40	28	27	Sampling Date* : 01-Oct-05
2. pH	-	5.5 - 9.0	7.50	7.96	5.0 - 9.0	7.92	7.76	Sampling Date** : 10-Oct-05
3. SS	mg/L	≤ 200	144	228	≤ 50	23.0	15.4	NA = Not Analysis
4. TDS	mg/L	≤ 3,000	1,432	1,368	≤ 3,000	1,090	984	NO = Not Objectionable
5. Color & Odor	-	NO	Black	Gray	NO	Yellow	Yellow	
6. BOD	mg/L	≤ 500	213	712	≤ 20	14	17	
7. COD	mg/L	≤ 750	717	1,863	≤ 120	84	41	
8. Oil & Grease	mg/L	≤ 10	96.0	73.0	≤ 5	3.0	2.1	
9. Detergent as LAS	mg/L	≤ 30	0.94	0.48	≤ 30	0.32	NA	
10. TKN	mg/L	≤ 100	29	34	≤ 100	9.5	NA	
11. Chloride	mg/L	≤ 2,000	350	850	≤ 2,000	250	NA	
12. Free Chlorine	mg/L	≤ 1	< 0.01	< 0.01	≤ 1	< 0.01	NA	
13. Total Iron	mg/L	≤ 10	7.07	0.83	≤ 10	0.57	NA	
14. Manganese	mg/L	≤ 5	0.14	0.09	≤ 5	0.048	NA	
15. Sulfide	mg/L	≤ 1	0.95	1.09	≤ 1	0.08	NA	
16. Phenol	mg/L	≤ 1	0.12	0.60	≤ 1	0.02	NA	
17. Copper	mg/L	≤ 2	0.09	0.15	≤ 2	0.04	0.02	
18. Formaldehyde	mg/L	≤ 1	0.65	0.54	≤ 1	0.03	NA	
19. Fluoride	mg/L	≤ 5	1.23	1.56	-	0.32	NA	
20. Cyanide	mg/L	≤ 0.2	0.330	0.170	≤ 0.2	0.011	NA	
21. Nickel	mg/L	≤ 1	< 0.0009	< 0.0009	≤ 1	< 0.0009	< 0.0009	
22. Chromium, 6+	mg/L	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	≤ 0.25	< 0.0004	< 0.0004	
23. Chromium, 3+	mg/L	≤ 0.75	0.4099	0.1160	≤ 0.75	0.0042	NA	
24. Arsenic	mg/L	≤ 0.25	< 0.025	0.0153	≤ 0.25	< 0.025	< 0.025	
25. Mercury	mg/L	≤ 0.005	< 0.0005	0.0016	≤ 0.005	0.0037	< 0.0005	
26. Barium	mg/L	≤ 1	0.09	0.12	≤ 1	0.04	NA	
27. Selenium	mg/L	≤ 0.02	< 0.005	< 0.005	≤ 0.02	< 0.005	NA	
28. Lead	mg/L	≤ 0.2	< 0.0035	0.028	≤ 0.2	< 0.0035	0.033	
29. Zinc	mg/L	≤ 5	7.03	19.26	≤ 5	0.73	0.40	
30. Cadmium	mg/L	≤ 0.03	0.0059	< 0.0003	≤ 0.03	< 0.0003	< 0.0003	
31. Silver	mg/L	≤ 1	< 0.05	0.01	-	< 0.05	NA	
32. Total Phosphorus	mg/L	-	1.8	2.1	-	0.7	NA	



ภาคผนวก ค.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 13(3) ข้อ 13(3)(ก) และข้อ 13(3)(ข) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ผู้ประกอบกิจการ โรงงานที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ท้ายประกาศนี้ ต้องดำเนินการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในข้อ 2 และ ข้อ 3

ข้อ 2 ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 ออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้นำออกไปเพื่อการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังด้วยวิธีการและสถานที่ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวก ที่ 2 ท้ายประกาศนี้

ข้อ 3 ต้องแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ ลักษณะ คุณสมบัติและสถานที่เก็บสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ๆ พร้อมทั้งวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง ฝัง เคลื่อนย้าย และการขนส่ง ตามแบบ ร.จ. 6 ท้ายประกาศนี้ต่อกรม โรงงานอุตสาหกรรมภายในกำหนด 90 วันนับแต่ประกาศนี้มีผลใช้บังคับ ยกเว้นผู้ประกอบกิจการ โรงงานซึ่งประกอบกิจการ โรงงานภายหลังจากประกาศนี้มีผลใช้บังคับให้แจ้งภายในกำหนด 90 วันนับแต่วันที่เริ่มประกอบกิจการ โรงงาน

ต้องแจ้งรายละเอียดตามวรรคหนึ่งครั้งต่อไปทุกปีภายในวันที่ 30 ธันวาคม และการแจ้งให้สามารถส่งทางไปรษณีย์ลงทะเบียนตอบรับได้ โดยให้ถือว่าวันที่พนักงานไปรษณีย์ได้ส่งเป็นวันที่แจ้ง ทั้งนี้ ตั้งแต่วันถัดจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540

กร ทัพพะรังสี

(นายกร ทัพพะรังสี)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(ประกาศลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 14 ตอนพิเศษ 106 ง วันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540)

## สาระสำคัญโดยย่อ

### ภาคผนวกที่ 1

## บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

**หมวด 1** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารไวไฟ (Ignitable substances)

สารกัดกร่อน (Corrosive substances)

สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย (Reactive substances)

สารพิษ (Toxic substances) และ

สารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substances)

- ข้อ 1 ลักษณะและคุณสมบัติของสารไวไฟ
- ข้อ 2 ลักษณะและคุณสมบัติของสารกัดกร่อน
- ข้อ 3 ลักษณะและคุณสมบัติของสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย
- ข้อ 4 ลักษณะและคุณสมบัติของสารพิษ หรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งดังต่อไปนี้
- ข้อ 5 ลักษณะและคุณสมบัติของสารที่ถูกชะล้างได้

**หมวด 2** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดไม่จำเพาะประเภท หรือไม่จำเพาะชนิด (Non-specific sources) และจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด (Specific sources)

- ข้อ 6 ลักษณะและคุณสมบัติของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดไม่จำเพาะประเภทหรือไม่จำเพาะชนิด
- ข้อ 7 ลักษณะและคุณสมบัติของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด

**หมวด 3** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีลักษณะและคุณสมบัติเป็นเคมีภัณฑ์ที่ไม่ใช้แล้ว หรือเสื่อมคุณภาพ (Discarded)

หรือไม่ได้คุณภาพตามกำหนด (Off-specification)

หรือเป็นเศษเคมีภัณฑ์ในภาชนะบรรจุหรือเป็นเศษวัสดุใด ๆ ที่ใช้ทำความสะอาดและถูกปนเปื้อนด้วยเคมีภัณฑ์ที่หกหล่น (Container and spill residues)



- ข้อ 8 เคมีภัณฑ์ที่เป็นอันตรายแบบเฉียบพลัน (Acute hazardous chemicals)
- ข้อ 9 เคมีภัณฑ์ที่เป็นอันตรายแบบเป็นพิษ (Toxic hazardous chemicals)

หมวด 4 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติเป็นของเสียเคมีวัตถุ (Chemical wastes)

- ข้อ 10 ของเสียจากการดำเนินการกำจัดของเสียทางอุตสาหกรรม
- ข้อ 11 ของเสียจากการผลิตสารเคมีในการรักษาเนื้อไม้
- ข้อ 12 ของเสียจากการผลิตตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์
- ข้อ 13 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
- ข้อ 14 น้ำมันแร่ที่มีสภาพไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานตามวัตถุประสงค์เดิม
- ข้อ 15 ของเสียผสมระหว่างน้ำมันและน้ำ
- ข้อ 16 ของเสียที่เป็นวัสดุและสิ่งของซึ่งมี PCB, PCT, PBB
- ข้อ 17 ของเสียประเภทกากน้ำมันดิบ
- ข้อ 18 ของเสียจากการผลิตหมึก สีย้อม สี สีนํ้ามัน และน้ำมันชักเงา
- ข้อ 19 ของเสียจากการผลิตเรซิน ลาเทกซ์ พลาสติกไซเซออร์ กาว
- ข้อ 20 ของเสียจากการผลิตสารเคมี ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพและอัดภาพ
- ข้อ 21 ของเสียจากการเตรียมผิวหน้าโลหะหรือพลาสติก
- ข้อ 22 ของเสียที่มีองค์ประกอบจำเพาะ 25 ประเภท เช่น โลหะหนัก ฟลูออรีน ไซยาไนต์ กรดต่าง แอสเบสตอส ฟอสฟอรัสอินทรีย์ คลอโรฟีนอล อีเทอร์ ฮาโลเจน เป็นต้น

## สาระสำคัญโดยย่อ

### ภาคผนวกที่ 2

#### หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ทำยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

**ข้อ 1** การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ให้ใช้วิธีที่ได้รับความเห็นชอบของอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

1. การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ (Physical treatment)
2. การบำบัดโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (Physical/chemical treatment)
3. การบำบัดโดยวิธีเคมี (Chemical treatment)
4. การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ (Biological treatment)
5. การบำบัด หรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน (Thermal processes for treatment and/or disposal)
6. การบำบัดโดยกระบวนการปรับเสถียร กระบวนการตรึงสาร กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/fixation/solidification processes)
7. การบำบัด หรือการกำจัดแบบ Land treatment and/or disposal
8. หรือใช้วิธีอื่นๆ ที่พิสูจน์ได้ว่าเทียบเท่าหรือดีกว่าวิธีที่กำหนด เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การเผาร่วม การแลกเปลี่ยนของเสีย

**ข้อ 2** คุณสมบัติของสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร และการทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

**ข้อ 3** การสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 13(3) และข้อ 13(3)(ก) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ผู้ประกอบกิจการ โรงงานที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดนครปฐม จังหวัดชลบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดระยอง จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดลำพูน จังหวัดสระบุรีและจังหวัด พระนครศรีอยุธยา ที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ท้ายประกาศนี้ ต้องดำเนินการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในข้อ 2

ข้อ 2. ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 ออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้อำนาจอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้ นำออกไปเพื่อการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังด้วยวิธีการและสถานที่ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวกที่ 2 ท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 60 วัน นับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2541

สมศักดิ์ เทพสุทิน

(นายสมศักดิ์ เทพสุทิน)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวง

อุตสาหกรรม

(ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 115 ตอนพิเศษ 44 ง. ลงวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2541)

**ภาคผนวกที่ 1**  
**บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว**  
**ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)**

**หมวด 1**

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตราย (Industrial non-hazardous wastes)

**ข้อ 1** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

- 1.1 เศษชิ้นส่วนของพืช เช่น ราก เปลือก ใบ หรือของสัตว์ เช่น กระดูก หนัง ขน และมูลสัตว์
- 1.2 เศษชิ้นส่วนไม้
- 1.3 เศษกระดาษ
- 1.4 เศษพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ที่เป็น โพลีเมอร์ (Polymers and resins)
- 1.5 เศษผ้า ด้าย หรือสิ่งทอ
- 1.6 เศษไขสัตว์ น้ำมันสัตว์ น้ำมันพืช
- 1.7 เศษยางธรรมชาติ (Natural rubbers)
- 1.8 เศษโลหะและโลหะผสม (Metals and metal alloys) ที่ไม่อยู่ในรูปของเกลือโลหะ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง
- 1.9 เศษแก้ว กระจก กระจกเคลือบ หรือเซรามิก
- 1.10 เศษหิน ปูน ทราย หรือวัสดุที่มีองค์ประกอบของดิน ทราย หรือหิน เช่น กระจก อีฐ ยิปซั่ม คอนกรีต

**ข้อ 2** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 หากถูกปนเปื้อน หรือผสม หรือปะปนอยู่ด้วยกับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2541) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้ ลงวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 จนมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดในหมวด 1 ของภาคผนวกที่ 1 ตามประกาศดังกล่าวไม่ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศฉบับนี้

## หมวด 2

### สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตเฉพาะบางประเภท (Waste from specific industrial processes)

**ข้อ 3** สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากกระบวนการผลิตหรือที่ได้จากการประกอบกิจการโรงงานตามประเภท ชนิด ส่วนผสมหรือองค์ประกอบของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วดังต่อไปนี้

- 3.1 เถ้า (Ash) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล มวลชีวภาพหรือวัสดุที่เผาไหม้ได้ในต่างๆ (Fossil fuels, biomass, and combustible materials)
- 3.2 เศษวัสดุ หรือของเสียที่ได้จากการหั่น หรือตัดชิ้นส่วนของยานที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ รถพ่วง จักรยานสามล้อ จักรยานสองล้อ หรือส่วนประกอบของยานดังกล่าว (Auto shredder wastes)
- 3.3 ฝุ่นที่ได้จากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ (Baghouse, electrostatic precipitator, cyclone, and scrubber wastes)
- 3.4 สารเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้งานแล้ว (Spent catalyst) จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เคมี หรือปิโตรเลียม
- 3.5 ฝุ่นจากเตาเผาปูนซีเมนต์ (Cement kilns)
- 3.6 กากตะกอนที่รีดน้ำแล้ว (Dewatered sludges) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย หรือกระบวนการบำบัดน้ำที่ใช้งานแล้วในกระบวนการทางอุตสาหกรรม
- 3.7 กากตะกอนที่รีดน้ำแล้ว จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังสัตว์
- 3.8 โคลนเจาะ (Drilling mud) ที่เกิดจากการสำรวจ ขุด เจาะก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมัน
- 3.9 วัสดุทนไฟหรือความร้อน (Refractory materials) ที่ใช้งานแล้วจากเตาอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ (Industrial furnaces, kilns, and ovens)
- 3.10 ทรายขัดผิวที่ใช้งานแล้ว (Sand from sand blasting)
- 3.11 ทรายที่ใช้งานแล้วจากเป่าหล่อ (Sand from foundry casting)
- 3.12 ตะกรัน (Slag) ที่เกิดจากกระบวนการ Coal gasification
- 3.13 กากตะกอนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ (Sulfur dioxide scrubber waste) ของกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel combustion)
- 3.14 เศษชิ้นส่วน หรือฝุ่นที่เกิดจากการตัดแต่งหนังสัตว์ที่ฟอกโครมแล้ว

3.15 กากแร่ หรือหางแร่ (Tailings) ที่เหลือจากการสกัดนำเอาสินแร่มาใช้ประโยชน์

(Extraction, beneficiation, and processing of ores and minerals)

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเหล่านี้ ซึ่งมีได้ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ ก่อน เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ลงวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 แล้ว ต้องไม่มีลักษณะและคุณสมบัติเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประกาศดังกล่าว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 2

### หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ทำยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541)

**ข้อ 1** ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ประสงค์จะดำเนินการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศนี้ ต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1.1 การฝังกลบ ให้ดำเนินการฝังกลบ โดยจัดให้มีระบบกันซึม ระบบตรวจสอบการรั่วไหล ระบบ ระบายก๊าซและระบบบำบัดน้ำเสีย ตามความเหมาะสมของชนิดหรือประเภทของสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้นๆ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม
- 1.2 การเผา ให้ดำเนินการเผาโดยควบคุมค่ามาตรฐานของมลสารที่ระบายออกจากปล่อง (Stack emission standards) ให้เป็นไปตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย ลงวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ. 2540
- 1.3 การกำจัดโดยวิธีอื่นๆ ซึ่งจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม
  - 1.3.1 การหมักทำปุ๋ย (Composting) การนำไปถมทะเลหรือที่ลุ่ม (Land reclamation)
  - 1.3.2 การนำกลับไปใช้ประโยชน์อีก (Recycle/reuse/recovery) เฉพาะสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ในข้อ 3 หมวด 2 ของภาคผนวกที่ 1 ตามประกาศนี้

**ข้อ 2** ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ประสงค์จะใช้บริการของผู้อื่นในการกำจัดสิ่งปนื้อกหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศนี้ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชนัญญา หาวารี เกิดวันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปี พ.ศ. 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ในสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย