

การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญ
ระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม

เพชรดา สุพล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ตุลาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญ
ระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม

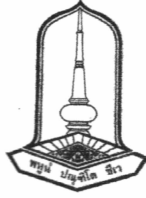
เพชรดา สุพล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ตุลาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



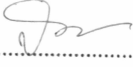


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวเพชรดา สุพล
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

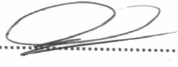
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
ปัทมาวดี ปาสางะ
(อ.ดร.ปัทมาวดี ปาสางะ)

ประธานกรรมการ
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....

(อ.ดร.ปิยนุช คะณเฑาะ)

กรรมการ
(ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)


.....

(ผศ.ดร.มงคล อุดมชาชน)

กรรมการ
(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....

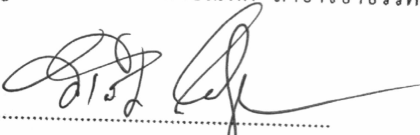
(อ.ดร.กวาดล โกมณเชียร)


กรรมการ
(กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)

.....

(รศ.ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์บัน)

กรรมการ
(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(ศ.ดร.วิเชียร มากตุ่น)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....

(ศ.ดร.ประติษฐิ์ เทอดทูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 เดือน ส.ค. พ.ศ. 2557



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 จากกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ปิยนุช คະណະมา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ภูวดล โกมณเชิยร กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ปัทมาวดี ปาสาจะ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร.มงคล อุดชาชน กรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น ผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำการทดลอง ตลอดจนบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี และสุดท้ายกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และญาติพี่น้องที่ให้ความสำคัญทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการจนเสร็จลงได้

เพชรดา สุพล



ชื่อเรื่อง	การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม		
ผู้วิจัย	เพชรดา สุพล		
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	สาขาวิชา	ชีววิทยา
กรรมการควบคุม	อาจารย์ ดร.ปิยนุช คะณมมา อาจารย์ ดร.ภูวดล โกมณเทียร		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2557

บทคัดย่อ

อ่างเก็บน้ำมีความสำคัญมากเป็นแหล่งน้ำจัดสำหรับชุมชน การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และรวมถึงระบบนิเวศทางน้ำ แต่ในเวลาเดียวกันก็เป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากหลายพื้นที่ ตะกั่วเป็นพิษมากในระบบเลือด กล้ามเนื้อ และระบบประสาท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก ซึ่งปัจจุบันมีการปนเปื้อนจากขยะอิเล็กทรอนิกส์และน้ำเสียจากพื้นที่ทำการเกษตร งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบศักยภาพของดินในการดูดซับโลหะหนัก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของดินจากอ่างเก็บน้ำในการดูดซับตะกั่วโดยการสู่มตัวอย่างดินจากสี่อ่างเก็บน้ำในจังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก, อ่างเก็บน้ำบึงกุย, อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง ใช้การทดสอบแบบกะ (Batch experiment) หาสมภาวะที่เหมาะสมของน้ำหนักรดิน เวลา และความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ และคำนวณหาไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช เพื่อทดสอบหาพฤติกรรมการดูดซับตะกั่ว นอกจากนี้ ได้วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติบางประการของดินและการดูดซับตะกั่ว ผลการทดลองพบว่า สมบัติของดินส่วนใหญ่ของทั้ง 4 พื้นที่ เป็นดินทรายปนร่วน ปฏิกริยาดินเป็นกลาง-ด่างจัด ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ธาตุอาหารอยู่ในระดับต่ำ และไม่พบปริมาณตะกั่วในดิน จากการทดสอบแบบกะเพื่อหาสมภาวะที่เหมาะสม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของดิน (5 กรัม) โดยใช้เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 30 นาที และความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากค่าพารามิเตอร์ของดิน พบว่าค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าปฏิกริยาดิน ค่าอินทรีย์วัตถุ และค่าดินเหนียว มีผลมากกับการดูดซับตะกั่ว แบบจำลองของแลงเมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าแบบจำลองของฟรุนด์ลิช ซึ่งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว การดูดซับตะกั่วสูงสุด พบว่า มีค่าสูงสุดที่อ่างเก็บน้ำห้วยแอง (4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม) และอ่างเก็บน้ำบึงกุย (4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม)

ดังนั้น อ่างเก็บน้ำบึงกุย ควรเป็นพื้นที่ควรเฝ้าระวังและติดตามการปนเปื้อนตะกั่วรวมถึงสารมลพิษชนิดอื่นๆ โดยน้ำจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยถูกนำไปใช้ในพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทานพื้นที่ตำบลหัวขวาง ตำบลแก้งแก และตำบลเหล่า อำเภอกุสุมาลย์ ซึ่งมีพื้นที่ชลประทาน 8,089 ไร่ มีความเสี่ยงหากเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ พื้นที่การเกษตร และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร และไปยังมนุษย์

คำสำคัญ: อ่างเก็บน้ำ; ตะกั่ว; การทดลองแบบกะ; แลงเมียร์ไอโซเทอม; ฟรุนด์ลิชไอโซเทอม



TITLE	Potential Assessment of Soils on Lead Adsorption in Local Important wetlands, Maha Sarakham Province.		
AUTHOR	Petchcharada Supol		
DEGREE	Master of Degree	MAJOR	Biology
ADVISORS	Piyanut Khanema, D.S., D.Sc. Bhuvadol Gomontean, D.Sc.		
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2014

ABSTRACT

Reservoir is very important to support freshwater to households, agricultures, industries, and including aquatic ecosystems, but in a same time it receives some drainage water from many areas also. Lead is more toxic on blood, muscle and nerve system, especially in children, which today there is more contamination from electronic garbage and wastewater from croplands. Soil has been reviewed on a potential of heavy metal adsorption that induced to this study. This research aimed to investigate a potential of reservoir sediments on lead adsorption by sampling soils from four reservoirs in Maha Sarakham Province: (i) Huai Khonsak Reservoir (HK); (ii) Bung Khui Reservoir (BK); (iii) Kaeng Loeng Chan Reservoir (LJ); and (iv) Huai Ang Reservoir (HA). Batch experiment was conducted to investigate the optimal adsorbent dose, retention time, and adsorbant lead concentration, and Langmuir and Freundlich isotherm were used to find the lead adsorption behavior. Also, multiple linear regressions were carried out for analysis a relationship between soil properties and lead adsorption. The results showed that all sites were loamy sand with neutral to alkaline pH. All soils, organic matters were moderate; while the values of electrical conductivity, cation exchange capacity, calcium and magnesium exchangeable were low and no available lead detective. According to batch experiment, the efficient of lead adsorption increased followed to the adsorbent dose (5 g) with the equilibrium time at 30 min and the maximum lead concentration at 2 mg/L. Among soil parameters, cation exchange capacity, soil pH, organic matter and clay content had more effects to determine lead adsorption. Langmuir model could be explained data better than Freundlich model that referred to monolayer lead adsorption. The maximum capacity of lead adsorption showed the highest value at HA (4.20 mg/g), while the lowers were HK > KC > BK (4.12, 4.05 and 4.04 mg/g, respectively).

Therefore Bung Khui Reservoir is should that area monitoring for lead contamination include pollutants other, water from the reservoir was applied to the irrigated farmland in tambon Hua Khuang, tambon kaeng Kae and tambon Lao Amphoe



kosum Phisai. Which has irrigated areas 8,089 hectares are risk in case the contamination into water sources, farmland and transferred to the food chain and to the human.

Key Words: Reservoir; Lead; Batch experiment; Langmuir isotherm;
Freundlich isotherm



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 จังหวัดมหาสารคาม	5
2.2 การปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม	11
2.3 โลหะหนัก	13
2.4 ตะกั่ว	14
2.5 ดิน	15
2.6 ดินกับการดูดซับโลหะหนัก	22
2.7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)	24
2.8 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)	28
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
3.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษา	32
3.2 การรวบรวมข้อมูล	33
3.3 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	36
4.1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน	36
4.2 สมบัติดิน	37
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน	40
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์	45
4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน	51



	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	58
5.1 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ	58
5.2 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน	59
5.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน	59
5.4 ไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดินตะกอน	59
5.5 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการทดสอบศักยภาพดินในการดูดซับตะกั่ว	67
ประวัติย่อผู้วิจัย	98



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 1.1	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	4
ตาราง 2.1	แสดงปริมาณน้ำฝนรวม ปี 2554	6
ตาราง 2.2	รายชื่ออ่างเก็บน้ำ พื้นที่รับน้ำฝน ระดับเก็บกัก ความจุ พื้นที่ชลประทาน	8
ตาราง 2.3	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย	10
ตาราง 2.4	ชนิดของโลหะหนัก แหล่งที่พบ และผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์	13
ตาราง 2.5	ปริมาณตะกั่วที่พบในสภาพแวดล้อม	15
ตาราง 2.6	การจัดกลุ่มขนาดอนุภาคตะกอนดิน	17
ตาราง 2.7	การจัดระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน	18
ตาราง 2.8	ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน	19
ตาราง 2.9	การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน เมื่อวัดที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำและอุณหภูมิ 25°C	19
ตาราง 2.10	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชของอินทรีย์วัตถุในดิน	20
ตาราง 2.11	ระดับปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน	21
ตาราง 2.12	ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน	21
ตาราง 3.1	การวิเคราะห์สมบัติของดิน	33
ตาราง 4.1	รหัสและพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	36
ตาราง 4.2	สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ	39
ตาราง 4.3	อิทธิพลสมบัติบางประการของดินในอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์	46
ตาราง 4.4	อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์	47
ตาราง 4.5	อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินในอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	49
ตาราง 4.6	อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินในอ่างเก็บน้ำห้วยแอง	50
ตาราง 4.7	ค่าไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่	54
ตาราง 4.8	ค่าไอโซเทอมฟรุนดิชในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่	56
ตาราง 4.9	ค่าไอโซเทอมในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่	57



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 ตารางสามเหลี่ยมวิเคราะห์ชนิดดิน	17
ภาพประกอบ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/m และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์	28
ภาพประกอบ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_e และ $C_e/(X/m)$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์	29
ภาพประกอบ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ ($\log X/m$) และ $\log C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของฟรุนดิช	30
ภาพประกอบ 4.1 ค่าน้ำหนัก, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลาย (ก) และร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ข)	41
ภาพประกอบ 4.2 ระยะเวลาในการปั่นกวน, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลาย (ก) และร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ข)	43
ภาพประกอบ 4.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลาย (ก) และร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ข)	44
ภาพประกอบ 4.4 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของตะกอนดินอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ก) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำบึงกุย (ข) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ค) และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ง)	53
ภาพประกอบ 4.5 ไอโซเทอมฟรุนด์ลิชของตะกอนดินอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ก) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำบึงกุย (ข) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ค) และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ง)	55



บทที่ 1

บทนำ

บทนำผู้วิจัยกล่าวถึง ที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และระยะเวลาที่ทำการศึกษา ดังต่อไปนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มหาสารคามเป็นจังหวัดเกษตรกรรม มีพื้นที่ทำการเกษตรสูงถึง 2,714,271 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 83 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยอำเภอที่มีครัวเรือนเกษตรกรรมมากที่สุด คือ อำเภอเมือง (40,325 ครัวเรือน) รองลงมาคือ อำเภอโกสุมพิสัย (21,569 ครัวเรือน) (สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 2554) ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักอันตรายอันดับที่ 2 จากการจัดอันดับสารเคมีอันตราย (ATSDR, 2005) ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของยาฆ่าแมลงชนิดอนินทรีย์สาร ในรูปของตะกั่วอาร์เซเนต ($PbHAsO_4$) ซึ่งหากมีการสะสมในแหล่งน้ำ และถ่ายเทผ่านห่วงโซ่อาหารจะทำลายเซลล์ตับ หัวใจ ไต และสมองของสิ่งมีชีวิต

อ่างเก็บน้ำสาธารณะมักจะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำดิบเพื่อผลิตน้ำประปา การเกษตร และนันทนาการ ซึ่งในทางกลับกันยังเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียที่เกิดจากทั้งชุมชนและสารเคมีตกค้างจากพื้นที่ทำการเกษตรโดยของที่ชะล้างหรือถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ การเฝ้าระวัง ติดตามและตรวจสอบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพราะจะส่งผลต่อระบบนิเวศและชุมชนในระยะยาว

ดินมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันตามลักษณะของสภาวะแวดล้อม และส่วนประกอบของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการกระทำของมนุษย์ ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ ในดิน ทำให้เกิดสารประกอบที่ลดความเป็นพิษ หรือเกิดสภาวะ หรือเกิดสารใหม่ ที่มีสภาพไม่ก่อให้เกิดพิษ เช่น ดินที่มีแคลเซียมในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และคาร์บอเนตตัวอื่นสามารถดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียได้ดี (Alloway *et al.*, 1995) มีการศึกษาการใช้ดินในพื้นที่ที่มีแคลเซียมและคาร์บอเนตในเมืองอะบูดาบี ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรต เพื่อดูดซับโลหะหนักตะกั่ว สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีสออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการกรองผ่านดิน ดินที่มีคาร์บอเนตสูงสามารถกำจัดโลหะหนักบางตัวออกจากน้ำเสีย (Tayim and Al-Yazouri, 2005) ซึ่งในสภาวะดังกล่าวโลหะหนักจะตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนต นอกจากนี้ ค่า pH ของดินมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุต่างๆ ในดิน รวมถึงตะกั่วด้วยเช่นกัน ซึ่งในดินที่มีค่า pH ต่ำ จะทำให้ความสามารถในการแตกตัวของตะกั่วสูงกว่าในดินที่มีค่า pH สูง (Julita and Andrew, 2005)

จากงานวิจัยของจัวร์รัตน์ ครูโคตร และคณะ (2549) ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว เช่น ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ระยะเวลาในการดูดซับ pH และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ผลจากการศึกษาพบว่า ดินที่เป็นดินเหนียวปนทราย มี pH เท่ากับ 6.75 มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง และความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มี



ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงถึงร้อยละ 84.15 ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 92.28 ที่ pH 6 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 86.36 และปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 93.68 นพภูฏ เสี่ยงมศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง พบว่าปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุดของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้งเท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ สุพัตรา บุตรเสรีชัย และยุวรัตน์ เงินเย็น (2554) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วแคดเมียมและทองแดงโดยใช้แร่ดินเบนโทไนต์ ในระบบการดูดซับแบบกะ พบว่า สามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 83.02 มิลลิกรัมต่อกรัม

ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นผู้วิจัยเห็นความสำคัญของปัญหาสุขภาพของคนในจังหวัดมหาสารคาม และทรัพยากรดินอันเป็นรากฐานของแหล่งปัจจัยสี่ จึงทำการศึกษาการประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม จึงทำการศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยดินในระบบการดูดซับแบบกะ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับที่สำคัญได้แก่ น้ำหนักดินที่เหมาะสม ระยะเวลาที่เหมาะสม และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่ว เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความสามารถในการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินความเสี่ยงของอ่างเก็บน้ำสาธารณะประโยชน์จากการปนเปื้อนโลหะหนักที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติดินทางกายภาพและเคมีของดินในอ่างเก็บน้ำสาธารณะ จังหวัดมหาสารคาม

1.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วจากดินในอ่างเก็บน้ำสาธารณะ จังหวัดมหาสารคาม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาศักยภาพการดูดซับโลหะหนักบางชนิดของดินในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม โดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณทางน้ำเข้า และทางน้ำออกของอ่างเก็บน้ำ เพื่อตรวจสอบสมบัติดินต่อการคงตัวของตะกั่ว เพื่อประเมินปริมาณตะกั่วที่สะสมในดิน และเพื่อตรวจสอบศักยภาพของดินต่อการดูดซับตะกั่ว โดยผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากพื้นที่ทำการเกษตรอยู่โดยรอบมากที่สุดตามแผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 - 2556 ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยอ่าง



1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงสมบัติดินที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วด้วยดินในอ่างเก็บน้ำสาธารณะประโยชน์ จังหวัดมหาสารคาม
- 1.4.2 ทราบถึงศักยภาพในการดูดซับตะกั่วด้วยดินในอ่างเก็บน้ำ
- 1.4.3 ใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำ รวมถึงกระตุ้นจิต อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายในชุมชนได้
- 1.4.4 ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาสมบัติดินเพื่อใช้ในการบำบัดโลหะหนักในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1.5.1 น้ำเสียสังเคราะห์ หมายถึง น้ำเสียที่ได้จากการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ
- 1.5.2 การดูดติดผิว (adsorbate) หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ในการดูดซับ ดูดติด หรือจับโลหะ หนักในน้ำเสียสังเคราะห์
- 1.5.3 โลหะหนัก หมายถึง ตะกั่วที่อยู่ในน้ำเสียสังเคราะห์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)
- 1.5.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ หมายถึง กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสาร ที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสาร ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิหนึ่ง
- 1.5.5 รั้อยละการดูดซับ หมายถึง ความสามารถของตะกอนดินในการดูดซับโลหะหนักออก จากน้ำเสียสังเคราะห์
- 1.5.6 ดิน สิ่งที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินชนิดต่าง ๆ โดยใช้เวลานานมาก หินที่ สลายตัวผุพังอ่อนนุ่มจะมีขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อผสมรวมกับซากพืช ซากสัตว์ น้ำ อากาศ ก็กลายเป็นเนื้อดิน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน

1.6 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2557 ใช้ เวลาทั้งสิ้น 1 ปี 11 เดือน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังตาราง 1.1



ตาราง 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน (พ.ค. 2555 - เม.ย. 2557)					
	พ.ค.55	มิ.ย.-ก.ค.55	ส.ค.-ก.ย.55	ต.ค.55	พ.ย.55-ต.ค.56	พ.ย.56-เม.ย.57
1. สำรวจพื้นที่และเลือกพื้นที่ศึกษา	←→					
2. เก็บตัวอย่างดิน			←→			
3. วิเคราะห์สมบัติดิน			←→		←→	
4. วิเคราะห์การดูดซับและการเคลื่อนย้ายโลหะหนักในดินในระดับห้องปฏิบัติการ			←→		←→	
5. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ				←→	←→	←→
6. เขียนสรุปและส่งรายงานวิจัย					←→	←→

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ปริทัศน์เอกสารข้อมูลแบ่งได้เป็นหกส่วนคือ จังหวัดมหาสารคาม ผลการศึกษาตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน การปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมโลหะหนัก ตะกั่ว ดิน และดินกับการดูดซับโลหะหนัก ดังต่อไปนี้

2.1 จังหวัดมหาสารคาม

2.1.1 ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดมหาสารคามตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศา 25 ลิปดา และ 16 องศา 40 ลิปดาเหนือกับเส้นแวงที่ 102 องศา 50 ลิปดา และ 103 องศา 30 ลิปดาตะวันออก โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 5,228,843 ตารางกิโลเมตร หรือ 3.31 ล้านไร่ อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ 470 กิโลเมตร อาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้ (แขวงทางมหาสารคาม, ม.ป.ป.)

ทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดกาฬสินธุ์

ทิศตะวันออกติดต่อกับจังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดร้อยเอ็ด

ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์

ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดขอนแก่นจังหวัดบุรีรัมย์

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดมหาสารคาม พื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นที่ราบสูงคล้ายลูกคลื่นลุ่มๆ ตอนๆ ไม่มีภูเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130 – 230 เมตร มีทุ่งนา สลับป่าโปร่ง มีไม้เขตร้อนหรือที่เรียกว่าป่าโคก ด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือเป็นที่สูงในเขตอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอเชียงยืน และอำเภอกันทรวิชัย ครอบคลุมพื้นที่ ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่จังหวัด และค่อยๆลาดเทมาทางทิศตะวันออกและทิศใต้ มีลำน้ำสำคัญหลายสายไหลผ่าน สภาพพื้นที่สามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ (รายงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม, 2552) คือ

2.1.1.1 พื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มริมน้ำ เช่น ที่ราบลุ่มริมแม่น้ำชี ในบริเวณอำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอโกสุมพิสัย และทางตอนใต้ของจังหวัดแถบชายทุ่งกุลาร้องไห้

2.1.1.2 พื้นที่ค่อนข้างราบเรียบสลับกับลูกคลื่นลอนลาด พบทางบริเวณตอนเหนือของอำเภอพยัคฆภูมิพิสัย เป็นแนวยาวไปทางตะวันออกถึงอำเภอเมืองมหาสารคาม

2.1.1.3 พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด สลับกับพื้นที่ลูกคลื่นลอนชัน พบทางตอนเหนือ และตะวันตกของจังหวัด บริเวณนี้มีเนื้อที่ประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อที่ของจังหวัด

2.1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศ เป็นลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเมืองร้อน (Tropical monsoon climate) ในช่วงมรสุมฤดูร้อนจะได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียสภาพทั่วไปจะมีลักษณะฝนตกสลับกับอากาศแห้ง (Wet and dry climate) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในปี 2551



ประมาณ 1,812 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกตลอดทั้งปีจำนวน 109 วัน ปริมาณฝนสูงสุดเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2551 วัดได้ 147.8 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 32.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเมื่อวันที่ 12 เมษายน 2552 วัดได้ประมาณ 41.0 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 75.6 % สำหรับฤดูต่างๆ มี 3 ฤดู (รายงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม, 2552) คือ

ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคมไปจนถึงเดือนมิถุนายน

ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม

ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์

สภาพโดยทั่วไป มีลักษณะฝนตกสลับกับอากาศแห้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2554 ประมาณ 124.15 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกตลอดทั้งปีจำนวน 110 วัน ปริมาณฝนที่ตกมากที่สุดวัดได้เมื่อเดือนกันยายน 2554 เท่ากับ 385.3 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 26.98 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปี 75.28 สำหรับอุณหภูมิสูงสุดวัดได้เมื่อเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคมประมาณ 39.4 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดวัดได้เมื่อเดือนมกราคมประมาณ 12.6 องศาเซลเซียส ดังปรากฏในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงปริมาณน้ำฝนรวม ปี 2554

ลำดับที่	เดือน	ปริมาณน้ำฝนรวม (มิลลิเมตร)	จำนวนวันที่ฝนตก
1	มกราคม	0	0
2	กุมภาพันธ์	63.1	4
3	มีนาคม	10.2	4
4	เมษายน	37.4	4
5	พฤษภาคม	190.5	12
6	มิถุนายน	64.9	12
7	กรกฎาคม	375.9	16
8	สิงหาคม	167.5	20
9	กันยายน	385.3	26
10	ตุลาคม	70.5	11
11	พฤศจิกายน	0.4	1
12	ธันวาคม	0	0
	รวม	-	-
	เฉลี่ย	124.5	-

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยามหาสารคาม (ม.ป.ป.)



2.1.3 แหล่งน้ำ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดมหาสารคามเป็นราบลูกคลื่น (Rolling plain) ตัวเมืองมหาสารคามตั้งอยู่บนเนินสูงของลูกคลื่น หรือที่ชาวอีสานเรียกว่า มอ นั้นเอง คือที่ตั้งเมืองมีลักษณะคล้ายหลังเต่าแล้วจะค่อย ๆ ลาดลงไปรอบเมืองทุกด้าน สังเกตดูเมื่อเรานั่งรถเข้าสู่ตัวเมืองไม่ว่าจะมาจากบ้านไผ่ ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ หรือขอนแก่นก็ตาม พอจะถึงตัวเมืองถนนจะค่อย ๆ สูงขึ้น อีกประการหนึ่งสังเกตได้จากปีที่เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่คือ ปีพุทธศักราช 2521 รอบ ๆ ตัวเมืองน้ำจะท่วมหมดเหลือเพียงตัวเมืองมหาสารคามเป็นเกาะอยู่เท่านั้น สำหรับแหล่งน้ำสำคัญนั้นมีดังนี้ ลำน้ำชี ไหลผ่านท้องที่อำเภอโกสุมพิสัย อำเภอกันทรวิชัย และอำเภอเมืองมหาสารคาม ลำน้ำพอง ไหลผ่านท้องที่ตอนเหนือของจังหวัด แบ่งเขตจังหวัดมหาสารคามกับขอนแก่น ห้วยคะคาง อยู่ในท้องที่อำเภอเมืองมหาสารคาม ห้วยสายบาตร อยู่ในท้องที่อำเภอเชียงยืน ห้วยเสียว อยู่ในท้องที่อำเภอบรบือและอำเภอลือชัย ลำน้ำพอง ลำน้ำชี ห้วยฉนวน ห้วยหว้า อยู่ในท้องที่อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย กุดนางใย กุดผักชี กุดแดง อยู่ในท้องที่อำเภอเมืองมหาสารคาม บึงบอน บึงกุย อยู่ในท้องที่อำเภอโกสุมพิสัย หนองแวง หนองทุ่ม หนองอีเก้ง อยู่ในท้องที่อำเภอลือชัย

2.1.3.1 แหล่งน้ำมีจำนวนทั้งหมดเท่ากับ 16,419 แห่ง แยกออกเป็น 5 ประเภท

- 1) อ่างเก็บน้ำ แยกเป็นขนาดกลาง 18 แห่ง ขนาดเล็ก 312 แห่ง
- 2) ฝายคอนกรีต จำนวน 70 แห่ง
- 3) ทำนบ จำนวน 1 แห่ง
- 4) สระ หนอง บึง จำนวน 9,953 แห่ง
- 5) คู, คลอง จำนวน 392 แห่ง
- 6) บ่อบาดาล จำนวน 5,673 แห่ง

2.1.3.2 แหล่งน้ำชลประทาน ประกอบด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวน 18 อ่าง มีพื้นที่ชลประทานรวมทั้งสิ้นประมาณ 73,262 ไร่ และมีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งปีรวมทั้งสิ้น 33,029.54 ตารางกิโลเมตร อ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ชลประทานมากที่สุดคือ ฝายวังยาง มีพื้นที่ชลประทานเท่ากับ 21,230 ไร่ รองลงมาคืออ่างเก็บน้ำและห้วยคือ มีพื้นที่ชลประทานเท่ากับ 18,500 ไร่ ดังปรากฏตามตาราง 2.2



ตาราง 2.2 รายชื่ออ่างเก็บน้ำ พื้นที่รับน้ำฝน ระดับเก็บกัก ความจุ พื้นที่ชลประทาน

อ่างเก็บน้ำ	อำเภอ	พื้นที่รับน้ำฝน	ระดับเก็บกัก	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	พื้นที่ ชลประทาน (ไร่)	ลุ่มน้ำ
ห้วยคคะาง	เมือง	80.00	162.85	4.126	4186	ชี
แก่งเลิงจาน	เมือง	208.00	143.83	8.024	4500	ชี
หนองกระทุ่ม	เมือง	38.00	140.15	2.636	2500	ชี
หนองแวงน้อย	เมือง	24.40	152.00	0.385	อุบโกคบริโภาค	ชี
หนองแกดำ	แกดำ	43.50	161.78	1.625	1500	ชี
ห้วยขอนแก่น	โกสุมพิสัย	78.10	175.00	8.659	7366	ชี
หนองบัว	กันทรวิชัย	26.00	144.48	3.580	2000	ชี
หนองเทวราช	เขียงยืน	8.95	198.00	1.606	600	ชี
ห้วยประดู่	บรบือ	16.75	162.32	2.804	2000	ชี
ร่องหัวช้าง	บรบือ	25.00	167.77	1.290	1900	ชี
ฝายวังยาว	ฆ้องชัย	32089.00	137.00	33.90	21230	ชี
ห้วยเขียงคำ	บรบือ	21.80	178.70	5.066	3200	มูล
เอกสิทธิ์สุนทร	บรบือ	8.00	179.53	0.87	1500	มูล
หนองคูขาด	บรบือ	2.24	201.00	0.368	380	มูล
ห้วยค้อ	นาเชือก	208.00	166.00	31.338	18500	มูล
หนองไฮ	วาปีปทุม	7.80	144.16	2.244	800	มูล
ฮองซอแมว	วาปีปทุม	3.00	152.00	0.564	อุบโกคบริโภาค	มูล

ที่มา: โครงการชลประทานมหาสารคาม

2.1.4 การเกษตร

2.1.4.1 พื้นที่ทำการเกษตร

การเกษตรในจังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่ทำการเกษตรเท่ากับ 2,714,271 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 83 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นที่นามากที่สุดเท่ากับ 2,012,620 ไร่ รองลงมาคือ พืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีจำนวนเท่ากับ 380,231 , 22,756 และ 38,631 ตามลำดับ

ในปี 2549 จังหวัดมหาสารคาม มีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรทั้งหมด 185,190 ครัวเรือน อำเภอที่มีครัวเรือนเกษตรกรมากที่สุด คือ อำเภอเมือง รองลงมาคือ อำเภอโกสุมพิสัย และอำเภอบรบือ โดยมีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรเท่ากับ 40,325 , 21,569 และ 20,454 ตามลำดับ (สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 2554)

2.1.4.2 ชลประทาน

การเกษตรส่วนใหญ่ในจังหวัดมหาสารคามอาศัยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ประโยชน์ในการกักเก็บน้ำฝนที่ตกในฤดูฝนไหลมารวมกัน เก็บกักน้ำไว้ในฤดูแล้ง โดยส่งน้ำออกไปตามท่อส่งน้ำ ใช้สำหรับทำนา ปลูกผัก พืชไร่ เลี้ยงสัตว์ ใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเพื่อบริโภค ผลิตน้ำประปาเพื่ออุปโภคบริโภค และช่วยบรรเทาน้ำท่วมในฤดูฝน ทั้งนี้ งานสร้างอ่างเก็บน้ำ จะมีระบบระบายน้ำล้น และระบบส่งน้ำออกสู่พื้นที่ต่าง ๆ จากประโยชน์ดังกล่าวและเนื่องจากทางน้ำชลประทาน มีปริมาณน้ำน้อย โดยเฉพาะในฤดูแล้ง และการหมุนเวียนของน้ำน้อย ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดคุณภาพน้ำทั้งเชิงมวด



กว่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในด้านปริมาณเกลือ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญสำหรับน้ำทางการเกษตรและการอุปโภคบริโภค สำหรับค่า pH อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 ค่าโครเมียมและตะกั่ว กำหนดให้น้อยกว่ามาตรฐานของอุตสาหกรรม เนื่องจากโลหะทั้ง 2 ตัวนี้ เป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อผู้บริโภค โดยรายละเอียดของเกณฑ์การกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในทางน้ำชลประทานดังนี้ (กรมชลประทาน, 2532)

- 1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) กำหนดค่ามาตรฐานอยู่ในช่วง 6.5-8.5
- 2) ความนำไฟฟ้า กำหนดค่ามาตรฐานที่ 2,000 ไมโครโมลต่อเซนติเมตร
- 3) ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 1,300 มิลลิกรัม/ลิตร
- 4) บีโอดี (BOD) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร
- 5) สารแขวนลอย (SS) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 30 มิลลิกรัม/ลิตร
- 6) โลหะหนัก
 - (1) สังกะสี (Zn) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (2) โครเมียม (Cr) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (3) อาร์เซนิก (As) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (4) ทองแดง (Cu) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (5)ปรอท (Hg) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (6) แคดเมียม (Cd) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (7) แบเรียม (Ba) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (8) ซีลีเนียม (Se) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (9) ตะกั่ว (Pb) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (10) นิกเกิล (Ni) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร
 - (11) แมงกานีส (Mn) กำหนดค่ามาตรฐานที่ 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

2.1.4.3 ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย

แหล่งที่มาของโลหะหนักจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญมีหลายแหล่งด้วยกัน เช่น ปุ๋ยและสารเคมีในการเกษตร โรงถลุงแร่ การเผาไหม้ของน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมของเหลือใช้จากโรงงานและจากชุมชน การรั่วซึมจากพื้นที่ฝังกลบของเสียต่าง ๆ หรือจากปุ๋ยคอกก็ตาม สามารถเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนัก นำมาสู่การสะสมในดินได้มีปริมาณแตกต่างกันไป ดังตาราง 2.3



ตาราง 2.3 ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์และกากตะกอนน้ำเสีย

โลหะหนัก	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน ¹	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน (มก./กก.) ²	ค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์ (มก./กก.) ³	ค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร (มก./กก.) ⁴
1. สารหนู	-	30	50	-
2. แคดเมียม	3	0.15	5	20
3. โคบอลต์	100	20	-	-
4. โครเมียม	100	80	300	1,000
5. ทองแดง	100	45	500	900
6. พรอท	1	0.1	2	10
7. นิกเกิล	50	45	-	400
8. ตะกั่ว	100	55	500	1,000
9. สังกะสี	300	70	-	3,000

ที่มา ¹มาตรฐานของโลหะหนักในดิน กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป
²เอกสารวิชาการ “ระดับเกณฑ์พื้นฐาน” ของการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินประเทศไทย
³มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 กรมวิชาการเกษตร
⁴วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 20 เล่ม 4 ต.ค.-ธ.ค. 2541

2.1.5 ลักษณะดิน

จังหวัดมหาสารคาม พบว่าดินที่เป็นปัญหา ประมาณ 2,442,724 ไร่ ได้แก่ ดินเค็ม ดินทรายจัด และดินปนกรวด สำหรับพื้นที่ดินเค็ม พบว่ามีกระจายทั่วไปทางตอนกลางและตอนล่างของจังหวัด สามารถจำแนกตามระดับความเค็ม ดังนี้

2.1.5.1 ดินเค็มน้อย (Slightly salt affected areas) เป็นบริเวณที่พบคราบเกลือมีปริมาณน้อยกว่า 1% ของพื้นที่ มีอยู่ประมาณ 1 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 32 ของพื้นที่ อยู่ในพื้นที่อำเภอเชียงยืน อำเภอโกสุมพิสัย อำเภอบรบือ อำเภอนาเชือก อำเภอนาป่า และอำเภอยางชุมน้อย ทั้งนี้พื้นที่ดินเค็มน้อยหากมีการใช้ประโยชน์ดินอย่างไม่เหมาะสม เกลือจากน้ำใต้ดินมีโอกาสที่จะแพร่กระจายทำให้ดินแปรสภาพไปเป็นดินเค็มปานกลาง หรือ เป็นดินเค็มมาก

2.1.5.2 ดินเค็มปานกลาง (Moderately salt affected areas) คือพื้นที่บริเวณที่พบคราบเกลือกระจายตามผิวดิน มีปริมาณ 1-10% ของพื้นที่ มีปริมาณรองลงมาครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1.7 แสนไร่ คิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ พบในที่ราบในเขตอำเภอยางชุมน้อย



2.1.5.3 ดินเค็มมาก (Highly salt affected areas) คือบริเวณที่พบคราบเกลือตามผิวดินกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปมีปริมาณมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1.7 แสนไร่ คิดเป็นร้อยละ 5 ของพื้นที่ อยู่ในบริเวณอำเภอลำทะเมนชัย

ดินทรายจัด มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อย มีเนื้อที่ 1,177,256 ไร่ หรือร้อยละ 35.60 ของพื้นที่จังหวัด พบมากด้านทิศตะวันตกของจังหวัด ในเขตอำเภอบรบือและอำเภอกุสุมาลย์ รองลงมาในเขตพื้นที่อำเภอวาปีปทุมและอำเภอนาคู ดินค่อนข้างเป็นทราย มีเนื้อที่ 1,014,205 ไร่ หรือ ร้อยละ 30.67 ของพื้นที่จังหวัด พบมากในเขตอำเภอลำทะเมนชัย รองลงมาคือ อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย อำเภอเชียงยืน และอำเภอเมือง

2.2 การปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม

2.2.1 แหล่งกำเนิดสารมลพิษ

แหล่งกำเนิดสารมลพิษบางอย่างอาจอยู่ในธรรมชาติ แต่สาเหตุหลักที่สารมลพิษเหล่านั้นเกิดการแพร่กระจาย กระบวนการแพร่กระจายที่เคยอยู่ในสภาพสมดุลในธรรมชาติ รวมถึงการสังเคราะห์สารพิษนำมาแพร่กระจาย ล้วนมีสาเหตุมาจากมนุษย์ ดินซึ่งเป็นแหล่งรองรับการทิ้งสารพิษนั้นจึงอาจเป็นของการแพร่กระจายสารมลพิษดังกล่าวสู่สิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายย้อนกลับสู่มนุษย์และปศุสัตว์

แหล่งกำเนิดสารมลพิษ ที่เป็นสารเคมีฆ่าศัตรูพืช การเกษตรกรรม วัสดุเหลือใช้ เมื่อมนุษย์เป็นผู้ดำเนินกิจกรรมสู่ดิน เกินกว่าความสามารถที่ดินจะอุ้มรับไว้ได้ ดินก็จะปลดปล่อยสารพิษเหล่านั้นไม่ว่าจะเป็นในรูปสารอินทรีย์ ไนโตรเจนหรือ ฟอสฟอรัส หรือธาตุพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม สารพิษเหล่านี้จะแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ในรูปสารละลาย หรือสารแขวนลอยในน้ำในดิน ซึ่งน้ำในดินจะเป็นตัวแพร่กระจายสารมลพิษดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 ถูกพืชดูดซับพร้อมกับการดูดน้ำจากดิน ซึ่งสารพิษจะสะสมในพืช ไม่ว่าจะเป็นพืชหัว พืชผัก ธัญพืช หรือพืชอาหารสัตว์ เมื่อถูกนำไปบริโภค ก็จะเป็นอันตรายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาการเคลื่อนตำแหน่ง (Translocation) การสะสม (Accumulation) ของสารมลพิษต่างๆ ในพืชพรรณที่ปลูก ตลอดจนอายุเก็บเกี่ยว เพื่อนำส่วนที่มีการสะสมน้อยที่สุด ในเวลาที่มีการสะสมน้อยที่สุด เพื่อการบริโภคที่ปลอดภัย เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้

2.2.1.2 ลงสู่แหล่งน้ำโดยการไหลบ่าบนผิวดิน (Run off) การเกษตรกรรมในพื้นที่ลาดชันที่ไม่ถูกวิธี เป็นตัวการทำให้เกิดการไหลบ่าผิวดิน หากน้ำที่ไหลบ่ามีสารพิษละลายหรือแขวนลอยอยู่มาก ก็จะถูกพาไปสะสมในแหล่งน้ำ ซึ่งย่อมถูกกินโดยแพลงก์ตอนพืช หรือแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton) ที่เป็นอาหารปลา เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้ นอกจากนั้น ถ้านำน้ำในแหล่งน้ำเช่นนี้ไปบริโภคโดยขาดความรู้ ก็อาจเป็นอันตรายจากการดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนเช่นนี้โดยตรง

2.2.1.3 ลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งหากถูกนำไปใช้โดยตรง ก็ย่อมเกิดอันตรายได้และเมื่อน้ำใต้ดินนี้ ไหลลงสู่แหล่งน้ำใด ก็ย่อมนำสารพิษไปปนเปื้อนแหล่งน้ำนั้นได้

2.2.1.4 ความชื้นและละอองน้ำจากดินที่มีสารมลพิษปนเปื้อนจะสามารถแพร่กระจายสารมลพิษเหล่านั้นสู่สิ่งแวดล้อมได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการทิ้งมูลสัตว์ที่มากเกินไประบายในดิน เช่น มูลสุกรในแหล่งเลี้ยงสุกร จะทำให้น้ำฝนในบริเวณดังกล่าวมีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าน้ำฝนในบริเวณอื่นๆ



และอาจทำให้แหล่งน้ำที่อยู่ไม่ห่างไปจากบริเวณเลี้ยงสัตว์ดังกล่าว มีปริมาณแอมโมเนียสูงในน้ำสูงขึ้นด้วย

สารพิษในดินมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสำคัญโดยเฉพาะกิจกรรมด้านการเกษตร การอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้ และน้ำทิ้งจากชุมชน

จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดสารมลพิษแต่ละแห่ง ทำให้เกิดสารมลพิษแตกต่างกัน การใช้สารเคมีฆ่าศัตรูพืช ทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมสารเคมีที่มีผลตกค้างนาน เช่น สารประเภทคลอรีนอินทรีย์ (Organochlorine) เป็นต้น สารฆ่าศัตรูพืชประเภท อนินทรีย์ มักจะใช้ธาตุพิษเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สารหนู ทองแดง พรอท เป็นต้น ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในรูปของสารพิษในดินได้นาน เนื่องจากธาตุมีปริมาณน้อยมากในดิน จึงอาจพบเห็นได้เสมอว่าความเข้มข้นของธาตุธาตุหนึ่งอาจแตกต่างกันได้ในดินต่างชนิดเป็นพันเท่า และความเข้มข้นในพืชก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดดินที่ปลูกพืช ชนิดพืช ส่วนของพืช และอายุของพืช

2.2.2 การปนเปื้อนมลพิษ

การปนเปื้อน เป็นการปนเปื้อนของสารสู่สภาพแวดล้อมในปริมาณที่สามารถวัดได้ ขณะที่ภาวะมลพิษนั้น สารที่ปนเปื้อนดังกล่าวนอกจากมีปริมาณที่วัดได้แล้วยังมีผลต่อสิ่งมีชีวิต การปนเปื้อนให้ผลที่ไม่พึงประสงค์ต่อสภาพแวดล้อมขณะที่มลพิษผลที่ไม่พึงประสงค์จะต้องชัดเจนและเป็นปัญหา จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนนั้รวมภาวะมลพิษเข้าไว้ด้วยแต่จะแบ่งให้ชัดเจนเป็นเรื่องยาก เพราะเป็นการใช้คำนิยามของแต่ละสภาพแวดล้อมตัดสิน เป็นที่ทราบชัดแล้วว่าการดูดกินธาตุโดยพืชนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวกคือ

2.2.2.1 สารมลพิษที่เป็นปัญหาในระยะยาว ได้แก่สารมลพิษซึ่งคงอยู่ในดินได้นาน และพืชจำกัดการดูดกิน ได้แก่ทองแดง ตะกั่วและพรอท แม้ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในดินมาก พืชก็ไม่อาจดูดกินสะสมในพืชได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทองแดงซึ่งเป็นธาตุที่พืชไวต่อพิษของมันมาก ดังนั้นในฤดูแรกๆ หรือปีแรกๆ ที่ดินได้รับสารมลพิษเหล่านี้ จึงอาจมองไม่เห็นปัญหาได้ชัดเจน เพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่โซ่อาหารได้ในปริมาณน้อยๆ

2.2.2.2 สารมลพิษที่เกิดปัญหาได้ในระยะสั้น ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชดูดกินได้ในทันทีและในปริมาณมาก จึงเกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้โดยรวดเร็ว ได้แก่ โบรอน แคลเดียม นิกเกิล และสังกะสี ระดับความเป็นพิษของธาตุพิษเหล่านี้ต่อพืชและสัตว์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะต่างๆ ของธาตุดังนี้

1) ความเป็นธาตุอาหาร ธาตุที่เป็นธาตุอาหารต่อพืช จะมีระดับความเป็นพิษไม่รุนแรงเช่นธาตุทองแดง แมงกานีส หรือสังกะสี ขณะที่ธาตุที่ไม่ใช่ธาตุอาหารจะเกิดพิษได้รุนแรงมาก ได้แก่ พรอท แคลเดียม ตะกั่ว เบริลเลียม และแทลเลียม

2) ปริมาณในธรรมชาติ โดยปกติธาตุที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของโลกจะไม่เป็นสารมลพิษ เพราะความเข้มข้นในธรรมชาติก็มีมากอยู่แล้ว เช่นซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก การที่จะเกิดการปนเปื้อนของธาตุเหล่านี้ได้ก็จะต้องมีปริมาณที่สูงกว่าระดับธรรมชาติที่ค่อนข้างมาก ซึ่งนับเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นได้ยากมาก

อย่างไรก็ตามพึงระลึกไว้เสมอว่าสัตว์เลี้ยงที่กินหญ้า เช่น วัว ควาย ก็จะกินดินที่ติดกับหญ้าไปด้วย ดินจึงเป็นอาหารสัตว์โดยตรงส่วนหนึ่งอีกด้วย ซึ่งธาตุที่ได้รับจากดินในกรณีเช่นนี้ ถ้าธาตุพิษสูงสัตว์ย่อมล้มป่วยได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)



2.3 โลหะหนัก

2.3.1 ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/ ลูกบาศก์เมตร เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 23-92 ในจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ ในตารางธาตุจะมีโลหะหนัก 68 ธาตุ จากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ

2.3.2 โลหะหนักที่มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

โลหะหนัก (ปริมาณน้อย) ที่ปนเปื้อนในน้ำจะไม่สามารถตรวจวัดได้ โลหะหนักเหล่านั้น ได้แก่ สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว แมงกานีส พรอท และสังกะสี ซึ่งมีความคงทนและไม่สลายตัวเมื่ออยู่ในน้ำ จึงทำให้โลหะหนักเข้าไปสู่ห่วงโซ่อาหาร และเป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังตารางที่ 2.4 นอกจากนี้ยังมีโครเมียม (Chromium, Cr) โดยการปนเปื้อนของโครเมียมจะมาจากการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตโครเมียม และโรงงานฟอกหนัง โครเมียมที่เป็นสารก่อมะเร็ง คือ Cr⁶⁺ หรือ Cr (VI) (hexavalent chromium) แม้ว่าโครเมียมจะมีปริมาณน้อยในน้ำก็ตาม ก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมได้ มีการกำหนดปริมาณโครเมียมที่ยอมให้มีได้ เช่น ประเทศญี่ปุ่น กำหนดค่าสูงสุดของโครเมียมที่ยอมให้มีได้ในน้ำเสีย คือ 2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำหรับโครเมียมทั้งหมด) และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร. (สำหรับ Cr (VI)) (Alluri, *et al.*, 2007)

ตาราง 2.4 ชนิดของโลหะหนัก แหล่งที่มา และผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

โลหะหนัก	แหล่งที่มา	ผลต่อสุขภาพ	ระดับที่อนุญาตให้มีได้ (ppm)
สารหนู	สารกำจัดศัตรูพืช สารกำจัดเชื้อรา การถลุงโลหะ	หลอดเลือดอักเสบ ผิวหนังอักเสบ	0.02
แคดเมียม	การเชื่อมโลหะ การชุบโลหะ สารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย	ทำลายตับ หลอดลมอักเสบ ระบบทางเดิน	0.06
ตะกั่ว	แบตเตอรี่ โรงปฏิกรณ์ปรมาณู โรงงานทำสี สารกำจัดศัตรูพืช	อาหาร ไช้กระดูก มะเร็ง ทำลายตับ ไต ระบบ	0.1
แมงกานีส	การทำเหมือง การเผาถ่าน การเชื่อมโลหะ สารเติมในน้ำมันเชื้อเพลิง การผลิตโลหะผสมเหล็กและแมงกานีส	ให้ปัญญาอ่อน สูดดมหรือสัมผัสจะทำลายระบบประสาทส่วนกลาง	0.26
พรอท	สารกำจัดศัตรูพืช แบตเตอรี่	ทำลายระบบประสาท	0.01
สังกะสี	อุตสาหกรรมกระดาษ โรงกลั่น การผลิตทองเหลือง การชุบโลหะ ท่อประปา	เป็นพิษต่อโพโรพลาสซึม ไอของสังกะสีกัดกร่อน ผิวหนัง ทำลายเยื่อประสาท	15

ที่มา: Alluri และคณะ. (2007)



2.4 ตะกั่ว

ตะกั่ว (Pb) เป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติที่จัดอยู่ในหมู่ที่ IV ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 เลขมวล 207.19 จุดหลอมเหลว 364 °C จุดเดือด 1,797 °C ตะกั่วมีสมบัติทางกายภาพและเคมีคล้าย ดีบุก นำมาทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย ทนต่อการผุกร่อนได้ดี ละลายน้ำได้น้อย (Harrison and Laxen.1981) ในธรรมชาติตะกั่วมีกำเนิดจากหินอัคนีและหินแปรมีประมาณ 10-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Wedpohl, 1956) พบในรูปของสารประกอบตะกั่วซัลไฟด์ ตะกั่วซัลเฟต (Reilly, 1980) ตัวอย่างแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แร่ galenite หรือ galena ซึ่งเป็นซัลไฟด์ของตะกั่ว (PbS) แร่ cerussite (PbCO₃), anglesite (PbSO₄), Pyromorphit (PbCl₂.3Pb₃(PO₄)₂), minium (Pb₃O₄), wulfenite (PbMnO₄), crocite (PbCrO₄), ZnS และ Pyrite เป็นต้น

2.4.1 การปนเปื้อนของตะกั่ว

สำหรับการปนเปื้อนในดินเกิดได้จากการใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งกากตะกอนน้ำโสโครก (sewage sludge) และอินทรีย์วัสดุเหลือใช้ (organic waste) ต่างๆ เช่น มูลสัตว์ สารประกอบทางเคมี เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืชและวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือน (domestic waste) ตัวอย่างเช่น การขุดและถลุงสินแร่กาลีน่า อันเป็นสินแร่ตะกั่วที่รู้จักกันดี ทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ในวงกว้าง เช่น ในสหราชอาณาจักร ประมาณกันว่าพื้นที่ที่ได้รับการปนเปื้อนจากกิจกรรมดังกล่าวนี้มีอยู่ประมาณ 4,000 ตารางกิโลเมตร

เนื่องจากสินแร่ต่างๆ อาจเกิดการแทนที่ของธาตุโลหะที่มีขนาดเท่าๆกันโดยกระบวนการการแทนที่สรีระใกล้เคียง (isomorphous substitution) ทำให้มีการปนเปื้อนธาตุโลหะอื่นๆ ขึ้นได้ในสินแร่เหล่านั้นๆ เช่น สามารถเกิดได้กับสินแร่ในรูปซัลไฟด์ โดยอาจเกิดได้ทั้งกับตัวโลหะเอง และกับซัลเฟอร์แอนไอออน ตัวอย่างเช่น สินแร่กาลีนาก็อาจมีเงิน (silver) ผสมอยู่ได้หลายเปอร์เซ็นต์ ในแร่สฟาเลไรต์ (Sphalerite ZnS) ก็อาจมีแคดเมียมผสมอยู่ได้มาก สำหรับปรอทสามารถปนอยู่ได้ทั้งสินแร่ตะกั่วและสินแร่สังกะสีที่กล่าวถึงขณะที่สารหนูอาจปนอยู่กับสินแร่ทองแดง (เช่น แร่คาลโคไพไรต์) และโดยทั่วไปแล้วซีลีเนียม ก็ยังสามารถแทนที่กำมะถันได้ เป็นต้น

ดังนั้นการขุดและการถลุงแร่จึงเกิดการปนเปื้อนสภาพแวดล้อมไม่เพียงแต่จากธาตุที่ต้องการถลุงเท่านั้น แต่ยังเป็นการปนเปื้อน จากธาตุที่ปนเปื้อนอยู่ในสินแร่เหล่านั้นอีกด้วย

นอกจากข้างต้นที่กล่าวมานั้น ยังพบปริมาณตะกั่วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ดัง

ตาราง 2.5



ตาราง 2.5 ปริมาณตะกั่วที่พบในสภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อม	ปริมาณที่พบ	หน่วย
อากาศในเมือง (ละอองผง Pb)	0.1 – 10	มค.ก./ลบ.ม.
อากาศในชนบท (ละอองผง Pb)	0.01 – 0.25	มค.ก./ลบ.ม.
น้ำผิวดิน	<0.001 – 0.1	มก./ลบ.ดม.
น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการบำบัด	0.1 – 10	มก./ลบ.ดม.
น้ำประปา	0.005 – 0.3	มก./ลบ.ดม.
ดินทั่วไป	10 – 200	มก./กก.
ดินที่มีการปนเปื้อน	100 – 10,000	มก./กก.
พืชพรรณในธรรมชาติ (น้ำหนักแห้ง)	0.1 – 5	มก./กก.
พืชพรรณที่มีการปนเปื้อน	1 – 1,000	มก./กก.
สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก	3 – 20	มก./กก.
ตะกั่วเททราเอคซิล ในอากาศ	0.002 – 0.2	มค.ก./ลบ.ม.

ที่มา: ศุภมาศ,(2545). ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.

สำหรับการปนเปื้อนของตะกั่วในดิน ภายหลังจากการปนเปื้อน ดินที่มีลักษณะเป็นที่ลุ่มจะฟื้นตัวจากการปนเปื้อนด้วยการทับถมของตะกอนดินใหม่ ทำให้ชั้นดินที่มีการปนเปื้อนอยู่ลึกลงไป ซึ่งกระบวนการทับถมเช่นนี้ ใช้เวลายาวนานนับร้อยๆ ปี ในกรณีที่เกิดการปนเปื้อนในดินในลักษณะที่เป็นพื้นที่ราบสูง การเคลื่อนย้ายของตะกั่วในดินลงสู่ชั้นล่างเป็นไปอย่างเชื่องช้ามาก นับเป็นศตวรรษ เนื่องจากสารประกอบของตะกั่วจะสะสมในดินชั้นบน สารเหล่านี้มีสภาพละลายได้ต่ำมาก และคงทนต่อการสลายตัวด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน จึงยังคงอยู่ในดินได้นาน ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้ตะกั่วในดินบน ลดปริมาณลง 10 % ในกรณีที่ดินมีการปนเปื้อนจะต้องใช้เวลาถึง 90 ถึง 200 ปี ในกรณีที่เป็นดินไม่มีการปนเปื้อน จากการศึกษาในประเทศ กรีซ พบว่า ในสภาพดินที่ราบสูง ที่มีภูมิฐานที่คงตัว การปนเปื้อนของตะกั่วในดินจะยังคงอยู่ในดินนับได้เป็นล้านปี

ดังนั้นการปนเปื้อนของตะกั่วจึงเสมือนการสะสมที่ไม่หวนกลับลดลงได้ แม้ว่าจะเป็นการสะสมในปริมาณต่ำและสะสมทีละน้อยๆ ก็ตาม

2.5 ดิน

ดินเป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินชนิดต่าง ๆ โดยใช้เวลาที่นานมาก หินที่สลายตัวผุพังก่อนนี้จะมีขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อผสมรวมกับซากพืช ซากสัตว์ น้ำ อากาศ ก็กลายเป็นเนื้อดินซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน

2.5.1 ประโยชน์ของดิน

ดินมีประโยชน์มากมายมหาศาลต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ คือ

2.5.1.1 ประโยชน์ต่อการเกษตรกรรม เพราะดินเป็นต้นกำเนิดของการเกษตรกรรม เป็นแหล่งผลิตอาหารของมนุษย์ ในดินจะมีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารรวมทั้งน้ำที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช อาหารที่คนเราบริโภคในทุกวันนี้มาจากการเกษตรกรรมถึง 90%



2.5.1.2 การเลี้ยงสัตว์ ดินเป็นแหล่งอาหารสัตว์ทั้งพวกพืชและหญ้าที่ขึ้นอยู่ตลอดจนเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์บางชนิด เช่น ภูเขา แมลง นาก ฯลฯ

2.5.1.3 เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แผ่นดินเป็นที่ตั้งของเมือง บ้านเรือน ทำให้เกิดวัฒนธรรมและอารยธรรมของชุมชนต่าง ๆ มากมาย

2.5.1.4 เป็นแหล่งเก็บกักน้ำ เนื้อดินจะมีส่วนประกอบสำคัญ ๆ คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ กรวด ทราย ตะกอน และส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดินซึ่งถ้ามีอยู่มาก ๆ ก็จะกลายเป็นน้ำซึมอยู่คือน้ำใต้ดิน น้ำเหล่านี้จะค่อย ๆ ซึมลงที่ต่ำ เช่น แม่น้ำลำคลองทำให้เรามีน้ำใช้ได้ตลอดปี

2.5.2 ชนิดของดิน

อนุภาคของดินจะรวมตัวกันเข้าเกิดเป็นเม็ดดิน อนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน ขนาดเล็กที่สุดคืออนุภาคดินเหนียว อนุภาคขนาดกลางเรียกออนุภาคทรายแป้ง อนุภาคขนาดใหญ่เรียกว่าอนุภาคทรายเนื้อดิน จะมีอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มนี้ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดลักษณะของดิน 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ดินเหนียว ดินทราย และดินร่วน

2.5.2.1 ดินเหนียว เป็นดินที่เมื่อเปียกแล้วมีความยืดหยุ่น อาจปั้นเป็นก้อนหรือคลึงเป็นเส้นยาวได้เหนียวเหนอะหนะติดมือ เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีความสามารถในการจับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้สูง หรือค่อนข้างสูง เป็นดินที่มีก้อนเนื้อละเอียด เพราะมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวอยู่มาก เหมาะที่จะใช้ทำนาปลูกข้าวเพราะเก็บน้ำได้นาน

2.5.2.2 ดินทราย เป็นดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดีมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารพืชมีน้อย พืชที่ขึ้นบนดินทรายจึงมักขาดทั้งอาหารและน้ำเป็นดินที่มีเนื้อดินทรายเพราะมีปริมาณอนุภาคทรายมาก

2.5.2.3 ดินร่วน เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียดนุ่มมือ ยืดหยุ่นได้บ้าง มีการระบายน้ำได้ดีปานกลาง จัดเป็นเนื้อดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกในธรรมชาติมักไม่ค่อยพบ แต่จะพบดินที่มีเนื้อดินใกล้เคียงกันมากกว่า สีของดิน สีของดินจะทำให้เราทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่และแปรสภาพเป็นฮิวมัสในดิน ทำให้สีของดินต่างกันถ้ามีฮิวมัสน้อยสีจะจางลงมีความอุดมสมบูรณ์น้อย

2.5.3 สมบัติดินบางประการ

ลักษณะต่างๆของดินเป็นผลมาจากการตอบสนองของวัตถุต้นกำเนิดดินต่อสภาพแวดล้อม ผ่านทางกิจกรรมของทั้งกระบวนการทางธรณีวิทยาและกระบวนการทางดิน แบ่งออกเป็นสมบัติดินทางกายภาพและสมบัติดินทางเคมีบางประการดังนี้

2.5.3.1 เนื้อดิน (Soil texture)

เนื้อดิน คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของกลุ่มอนุภาคขนาดละเอียดของดิน (Fine earth) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรลงไป ร่วมกับสัดส่วนสัมพัทธ์โดยปริมาตรของชิ้นส่วนหยาบ (Coarse fragments) ที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตรขึ้นไป อนุภาคตะกอนดินเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยสิ่งต่างๆ หลายอย่าง เช่น กรวด ทราย ตะกอน ทรายดินเหนียว สารอินทรีย์ เป็นต้น คุณสมบัติของตะกอนดินจะขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวเหล่านี้ อนุภาคที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันอาจมีขนาดแตกต่างกันได้ การแบ่งกลุ่มขนาดอนุภาคตะกอนดินมีหลายเกณฑ์ (ตาราง 2.6) ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ทางดิน แบ่ง



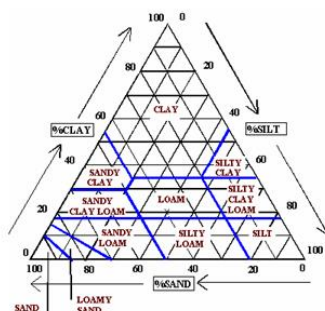
อนุภาคดินเป็น 3 กลุ่มขนาด (size class) ตามระบบ USDA (United States Department of Agriculture) และระบบสากล ISSS (International Society of Soil Science)

ตาราง 2.6 การจัดกลุ่มขนาดอนุภาคตะกอนดิน

ชื่อกลุ่มขนาด	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	
	USDA	ISSS
กรวด (gravel)	2-64	>2
ทรายหยาบมาก (very coarse sand)	1-2	
ทรายหยาบ (coarse sand)	0.5-1	0.2-2
ทรายปานกลาง (medium sand)	0.25-0.5	
ทรายละเอียด (fine sand)	0.1-0.25	0.02-0.2
ทรายละเอียดมาก (very fine sand)	0.05-0.1	
ทรายแป้ง (silt)	0.002-0.05	0.002-0.02
ดินเหนียว (clay)	<0.002	<0.002

ที่มา: Boyd (1995)

และตรวจสอบชนิดของดินจากตารางสามเหลี่ยมวิเคราะห์ชนิดดิน (ภาพประกอบ 2.1)



ภาพประกอบ 2.1 ตารางสามเหลี่ยมวิเคราะห์ชนิดดิน

ที่มา: <http://www.natres.psu.ac.th>

2.5.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน (Soil pH)

ความเป็นกรด-ด่าง ของดิน (Soil pH) คือ เป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (alkalinity) ของดิน เป็นสมบัติที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อขบวนการทางเคมีและชีวภาพในดิน ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืชความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของดินเกี่ยวข้องกับ hydrogen ion (H^+) และ hydroxyl ion (OH^-) ในสารละลายดิน (soil solution) โดยปกติในสารละลายดินจะมีไอออนทั้งสองชนิดนี้และ



ถ้ามี $H^+ > OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด เรียกดินกรด

ถ้ามี $H^+ < OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง เรียกดินด่าง

ถ้ามี $H^+ = OH^-$ ดินมีปฏิกิริยาเป็นกลาง เรียกดินเป็นกลาง

การวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นิยมวัดออกมาเป็นค่าของ pH แทนการบอกเป็นค่าความเข้มข้นของ H^+ หรือ OH^- ในสารละลาย และสามารถนำมาจัดระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดินได้ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 การจัดระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

ค่า pH ของดิน	ระดับความรุนแรงของกรด
<3.5	กรดรุนแรงมากที่สุด
3.5 - 4.5	กรดรุนแรงมาก
4.6 - 5.0	กรดจัดมาก
5.1 - 5.5	กรดจัด
5.6 - 6.0	กรดปานกลาง
6.1 - 6.5	กรดเล็กน้อย
6.6 - 7.3	กลาง
7.4 - 7.8	ด่างเล็กน้อย
7.9 - 8.4	ด่างปานกลาง
8.5 - 9.0	ด่างจัด
>9.0	ด่างจัดมาก

ที่มา:Beck (1999); Bower และ Wilcox (1965); Jackson (1958)

2.5.3.3 ความจุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Cation exchange capacity : CEC)

ความจุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ อนุภาคขนาดดินเหนียว (clay size particle) ในดินมีอยู่ 2 ชนิด คืออนุภาคอนินทรีย์ (inorganic particles) ได้แก่ silicate clay และ hydrous oxides ของเหล็กและอะลูมิเนียม เป็นต้นอีก ชนิดหนึ่งคืออนุภาคอินทรีย์ (organic particles) อนุภาคทั้งสองชนิดนี้มีประจุ (charge) 2 ประเภทคือ ประจุถาวร (permanent charge) และประจุผันแปร (variable charge) ปริมาณประจุถาวรในดินจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปตามค่า pH ของดิน แต่ปริมาณประจุผันแปรในดินแปรเปลี่ยนไปเมื่อ pH ของดินเปลี่ยนไปเนื่องจากค่า CEC สัมพันธ์กับผลรวมของปริมาณแคตไอออนที่เกิดจากประจุถาวรและประจุผันแปร การวิเคราะห์ปริมาณ CEC ในดินจึงเป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในภาพรวมทั้งหมด และศักยภาพในการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยเคมีนอกจากนี้สามารถใช้บ่งบอกชนิดของแร่ดินเหนียวในดินได้อย่างกว้างๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าความจุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สามารถนำมาพิจารณาระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ได้ดังตาราง 2.8



ตาราง 2.8 ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

CEC (cmol/kg)	ระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน
< 5	ต่ำมาก
5 – 15	ต่ำ
15 – 25	ปานกลาง
25 – 40	สูง
> 40	สูงมาก

ที่มา: Beck (1999); Bower และ Wilcox (1965); Jackson (1958)

2.5.3.4 ค่าการนำไฟฟ้า Electrical Conductivity (EC)

ค่าการนำไฟฟ้า ในดินมีเกลือที่ละลายได้อยู่หลายชนิด บางชนิดละลายได้ดี เช่น NaCl, CaCl₂, NaHCO₃, Na₂SO₄ เป็นต้น บางชนิดละลายได้เพียงบางส่วน เช่น CaSO₄ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน จึงเป็นการประเมินปริมาณเกลือที่ละลายได้ของดิน และค่าที่ได้ยังใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเค็มของดินด้วย ในตารางได้แสดงการแปลผลค่าการนำไฟฟ้าดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ที่ 25 °C ที่มีความสัมพันธ์กับพืช และสามารถนำมาแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินได้ดังตาราง 2.9

ตาราง 2.9 การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน เมื่อวัดที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำและอุณหภูมิ 25°C

EC _e (mS/cm)	ระดับความเค็ม	ผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของพืช
0 – 2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบ
2 – 4	เค็มน้อยมาก	อาจมีผลกระทบต่อพืชที่ไวต่อความเค็ม
4 – 8	เค็มปานกลาง	มีผลกระทบต่อพืชหลายชนิด
8 – 16	เค็มจัด	มีผลกระทบต่อพืชทั่วไป ยกเว้นพืชทนเค็ม
> 16	เค็มจัดมาก	กระทบต่อพืชทุกชนิด ยกเว้นบางชนิด เช่น หญ้าทนเค็ม

ที่มา: Beck (1999); Bower และ Wilcox (1965); Jackson (1958)

2.5.3.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Soil Organic Matter)

อินทรีย์วัตถุ หรือเรียกอีกอย่างว่า ฮิวมัส (humus) มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ ส่วนของซากพืชหรือสัตว์ที่กำลังสลายตัว เซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว ตลอดจนสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายหรือส่วนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ มีความสามารถในการจับน้ำไว้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6 - 20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ อนุภาคของอินทรีย์วัตถุ ยังประกอบกันเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีช่องขนาดเล็กที่ดูดซับน้ำได้อยู่มาก การใส่



อินทรีย์วัตถุลงไปในดิน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินทราย หรือดินเนื้อหยาบ เป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการยึดเกาะหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆ โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว หรือเซลล์จุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี การจับตัวกันเกิดเนื่องจาก ความแตกต่างกันของประจุระหว่างอินทรีย์วัตถุกับดินเหนียว หรือการยึดเกาะกันของประจุลบของอนุภาคทั้งสองโดยมี multivalent cation เป็นตัวเชื่อมโยง จุลินทรีย์สร้างสารเชื่อม ทำให้ดินเหนียวยึดกันเป็นเม็ดดินก่อให้เกิดโครงสร้างดินที่ดี สามารถดูดซับน้ำไว้มาก ขณะเดียวกันก็ทำให้ดินมีสภาพร่วนซุย มีการซาบซึมน้ำและการระบายอากาศดี ได้ดังตาราง 2.10

ตาราง 2.10 ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชของอินทรีย์วัตถุในดิน

ระดับ	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)
ต่ำมาก	< 0.5
ต่ำ	0.5 - 1.0
ค่อนข้างต่ำ	1.0 - 1.5
ปานกลาง	1.5 - 2.5
ค่อนข้างสูง	2.5 - 3.5
สูง	3.5 - 4.5
สูงมาก	> 4.5

ที่มา: Beck (1999); Bower และ (Wilcox) (1965); Jackson (1958)

2.5.3.6 ค่าแคลเซียมและแมกนีเซียม (Calcium and magnesium exchange)

แคลเซียม และแมกนีเซียม จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นการเจริญเติบโตของพืชชั้นสูง จัดเป็นธาตุอาหารรอง (secondary nutrient) ในดินที่ใช้ในการเกษตรโดยทั่วไปมักพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมสูงสุด (ความเข้มข้นโดยโมลประจุ) และรองลงไปคือ แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ความเข้มข้นของโซเดียมอาจสูงมากในดินเค็ม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดที่อยู่ในดิน มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเรียกว่า ส่วนที่เป็นประโยชน์ โดยทั่วไปส่วนที่เป็นประโยชน์สำหรับธาตุอาหารทั้งสามนี้ หมายถึง ไอออนของธาตุทั้งสองที่ละลายน้ำได้ รวมกับส่วนที่อนุภาคดินเหนียวอยู่ด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (ส่วนที่แลกเปลี่ยนได้)

แคลเซียมในดินมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของดิน ดินที่มีปูนอยู่มาก (Calcareous soil) จะมีปริมาณแคลเซียมมากกว่าดินชนิดอื่น ส่วนใหญ่จะมีมากกว่าร้อยละ 2.5 แต่สำหรับดินทั่วไป แล้วจะมีประมาณร้อยละ 0.5 - 2.0 สำหรับดินทรายจะมีปริมาณแคลเซียมน้อยมากคือน้อยกว่าร้อยละ 0.1 แคลเซียมในดินมีอยู่หลายรูปด้วยกัน รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ รูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca^{+2}) และรูปที่ละลายได้ (Soluble Ca^{+2}) ซึ่งแคลเซียมในดินรูปต่างๆ จะอยู่ในสภาพสมดุลแลกเปลี่ยนไปมาได้ สามารถวิเคราะห์ระดับปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินได้จากตาราง 2.11



ตาราง 2.11 ระดับปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ	ปริมาณแคลเซียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ต่ำมาก	< 400
ต่ำ	400 - 1000
ปานกลาง	1000 - 2000
สูง	2000 - 4000
สูงมาก	> 4000

แมกนีเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg^{+2}) และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำ (Soluble Mg^{+2}) เป็นแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available Mg) ในดินเนื้อละเอียดมีมากกว่าดินเนื้อหยาบ และสามารถวิเคราะห์ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน ได้จากตาราง 2.12

ตาราง 2.12 ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

ระดับ	ปริมาณแมกนีเซียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ต่ำมาก	< 36
ต่ำ	36 - 120
ปานกลาง	120 - 360
สูง	360 - 960
สูงมาก	> 960

2.5.4 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ได้กำหนดดัชนีคุณภาพดินประเภทโลหะหนัก ได้แก่ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547)

2.5.4.1 สารหนู กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 27 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.2 แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 810 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.3 โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 640 มิลลิกรัม/กิโลกรัม



2.5.4.4 ตะกั่ว กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 750 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.5 แมงกานีสและสารประกอบแมงกานีส กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 32,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.6 พรอทและสารประกอบพรอท กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 610 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.7 นิกเกิลในรูปของเกลือที่ละลายน้ำได้ กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 41,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.5.4.8 ซีลีเนียม กำหนดค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 10,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.6 ดินกับการดูดซับโลหะหนัก

ผู้วิจัยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับโลหะหนักของดิน โดยมีทั้งการศึกษาภายในประเทศไทย และต่างประเทศ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Al-Yazouri (2005) ได้ศึกษาการใช้ดินในพื้นที่ที่มีคาร์บอนเนตในเมืองอะบูดาบี (Abu Dhabi) ประเทศสาธารณรัฐอิมิเรต เพื่อดูดซับโลหะหนัก (ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส) ออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการกรองผ่านดิน (soil filtration) น้ำที่บำบัดแล้วมีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าระดับที่กำหนดตามหน่วยงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศ ดินที่มีคาร์บอนเนตสูงสามารถกำจัดโลหะหนักบางตัวออกจากน้ำเสียได้โดยการตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอนเนต ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีผลต่อการดูดซับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสรวมถึงการตกตะกอนของโลหะคาร์บอนเนต การบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมโดยการกรองผ่านดินทำให้สามารถกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำได้ดีจนทำให้มีปริมาณโลหะหนักต่ำกว่าระดับที่กำหนด การกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 75-100 % และการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อค่า pH มากกว่า 9

จูไรรัตน์ คุรุโคตร และคณะ (2549) ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว เช่น ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ระยะเวลาในการดูดซับ pH และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ผลจากการศึกษาพบว่า ดินที่เป็นดินเหนียวปนทราย มี pH เท่ากับ 6.75 มีค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง และความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงถึงร้อยละ 84.15 ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 92.28 ที่ pH 6 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 86.36 และปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดคือ ร้อยละ 93.68

นพปฎล เสจี่ยมศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง พบว่าปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุดของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้งเท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ

สุพัตรา บุตรเสรีชัย และยุวรัตน์ เงินเย็น (2554) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่ว แคดเมียมและทองแดงโดยใช้แร่ดินเบนโทไนต์ ในระบบการดูดซับแบบกะ พบว่า สามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 83.02 มิลลิกรัมต่อกรัม

Tsai และ Hsein (แรงราม พลจันทร์, 2549 อ้างอิงจาก Tsai and Hsein, 2003) ได้ทดสอบขนาดของอนุภาคดินที่มีแร่ดินเหนียว montmorillonite ต่อการดูดซับสารพาราควอท พบว่า



เมื่ออนุภาคดินมีขนาดใหญ่ขึ้นการดูดซับสารจะลดลงการตกค้างของสารพาราควอทในแหล่งน้ำนั้นตัวสารจะถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคแขวนลอย (suspended matter) และตะกอนดิน (sediment) ในน้ำ

ณรงค์เดช มหาศิริกุล (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนักด้วยวิธีการทดสอบกะและแบบสดมภ์ ผลจากการทดสอบแบบกะชี้ให้เห็นว่าดินลมหอบสามารถดูดซับสารละลายโลหะหนักเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สารละลายทองแดงสารละลายนิกเกิล และสารละลายสังกะสี และเมื่อผสมดินเหนียวเข้ากับดินลมหอบ พบว่า การดูดซับสารละลายโลหะหนักจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และปริมาณสัดส่วนของดินเหนียวโดยน้ำหนักตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไปจะทำให้ค่าการดูดซับสารละลายโลหะหนักมีมากที่สุด ส่วนการทดสอบแบบสดมภ์เป็นการนำดินลมหอบไปบดอัดแล้วนำไปบรรจุกับเครื่องมือทดสอบที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อทดสอบหาค่าการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนัก ซึ่งสามารถจำลองสภาวะที่เกิดจากการดูดซับสารละลายโลหะหนักในชั้นดินและการคายสารละลายโลหะหนักเนื่องมาจากการชะล้างด้วยน้ำฝน ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงระยะเวลา ปริมาตร ค่าการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนักในแห่งดินลมหอบ

เกษรา จิตนิยม และคณะ (2555) ศึกษาการดูดซับตะกั่ว สังกะสี ทองแดงและแคดเมียมของสเมกไทต์ โดยใช้ตัวอย่างดินเหนียวในชั้นดินบนและล่างของชุดดินชัยบาดาล และชุดดินวังชมพู ซึ่งมีสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทำการทดลองแบบแบดซ์ ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช และความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย พบว่าเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้นความจุในการดูดซับตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ของสเมกไทต์เพิ่มขึ้น โดยปริมาณการดูดซับที่สเมกไทต์สามารถดูดซับได้สูงสุดที่ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายที่ 50 มก./ลิตร แสดงค่าการดูดซับที่เหมาะสมในสมการแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม ซึ่งแสดงการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) ปริมาณของตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียมที่ถูกดูดซับสูงสุดเท่ากับ 49.56, 42.37, 42.43 และ 22.17 มก./กรัม ดินเหนียว โดยปริมาณการดูดซับสูงสุดดังกล่าวอยู่ในตัวอย่างที่มีปริมาณสเมกไทต์สูง (80-90%) ในชุดดินชัยบาดาล แสดงว่าเวอร์ทิวอลล์ซึ่งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง-ด่างที่มีปริมาณสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบหลักในอนุภาคขนาดดินเหนียวสามารถที่จะลดการแพร่กระจายของโลหะหนักได้โดยขึ้นอยู่กับพีเอช ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางดินได้

เลิศ เกิดชัยภูมิ (2555) การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักในดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนการทดสอบแบ่ง 2 ส่วนคือ การทดสอบแบบซ้่าและการทดสอบแบบคอลัมน์ ผลจากการทดสอบแบบซ้่าพบว่า ที่ระยะเวลา 36-48 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง สังกะสี และนิกเกิลถูกดูดซับด้วยดินเข้าสู่สภาวะสมดุล และปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ ทองแดง สังกะสี และนิกเกิลตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการดูดซับของแลงเมียร์ จะอยู่ในช่วง 0.005-0.033 L/mg และเมื่อผสมดินเหนียวเข้ากับดินที่เก็บจากอำเภอโนนสัง จังหวัดหนองบัวลำภู พบว่าปริมาณอัตราส่วนดินเหนียว 60-80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินทั้งหมดเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการดูดซับสารละลายโลหะหนัก และเมื่อผสมเกลือเข้ากับดินที่พบในอำเภอโนนสัง จังหวัดหนองบัวลำภูทำให้พบอีกว่าปริมาณอัตราส่วนเกลือ 60-80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินทั้งหมดเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการดูดซับสารละลายโลหะหนัก ส่วนการทดสอบแบบคอลัมน์ได้ใช้ตัวอย่างดินที่เก็บจากอำเภอเมือง



จังหวัดมุกดาหาร การทดสอบเริ่มจากประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นมาใหม่โดยเฉพาะเพื่อทดสอบหาค่าการดูดซับสารละลายโลหะหนัก เครื่องมือนี้สามารถจำลองสภาวะที่เกิดการดูดซับโลหะหนักในชั้นดิน จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราการไหลของสารละลายเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่พบจากการทดสอบแบบซ้ำ โดยสารละลายสังกะสีมีอัตราการไหลของสารละลายที่วัดได้พบว่าสารละลายทองแดงจะมีค่าเข้มข้นของสารละลายมากกว่าสารละลายสังกะสี และสารละลายนิกเกิล ตามลำดับ แต่เมื่อเวลาผ่านไป สารละลายทองแดงจะมีค่าความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

2.7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

2.7.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –solid interface)

ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับโมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.7.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

2.7.2.1 การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่



อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.7.2.2 การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกันซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิมคือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยากคือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

2.7.3 กลไกการดูดซับ

การเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับในระหว่างเกิดการดูดซับมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.7.3.1 การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เข้าถึงผิวด้านนอกของสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวด้านนอกของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวน้ำสารดูดซับ

2.7.3.2 การแพร่ภายใน (Internal or Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่ภายในรูเล็กๆ จำนวนมากมายภายในเนื้อสารดูดซับ รูเล็กๆ ดังกล่าวจะก่อให้เกิดพื้นที่ผิวปริมาณมากมายในสารดูดซับ

2.7.3.3 ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาที่พื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดติดที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่

2.7.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

2.7.4.1 ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film Diffusion และ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบถ้ามีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนาแน่นมากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูงทำให้ Pore Diffusion เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.7.4.2 ขนาดของสารดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ การลดขนาดของสารดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารดูดซับที่มีขนาดใหญ่

2.7.4.3 พื้นที่ผิวของสารดูดซับ พื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ยกเว้นในกรณีที่โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของสารดูดซับ



2.7.4.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นสารที่ยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวสารดูดซับได้ดี

2.7.4.5 ขนาดของสารที่ดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของสารดูดซับ

2.7.4.6 ค่าพีเอช ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับมาก

2.7.4.7 อุณหภูมิ ในกรณีการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิ ลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้า อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อน ช่วยทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำลดลงการเคลื่อนย้ายสารดูดซับจากสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็วขึ้น

2.7.5 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของการสะสมสารประกอบชนิดหนึ่งหรือสารประกอบหลาย ชนิดไว้บนผิวของแข็ง โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างของแข็งนั้น ระบบของแข็งที่เก็บสะสมสารประกอบอื่น ๆ ไว้บนผิว เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ส่วนสารประกอบต่างๆ ที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) (เดชา ฉัตรศิริเวช, 2552)

2.7.5.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่แก๊สหรือสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) แก๊ส (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว- ของเหลว แก๊ส- ของเหลว แก๊ส-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –Solid Interface)

ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับโมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.7.5.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้



เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

1) การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านั้น โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกันซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิมคือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้นโดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

3) กลไกการดูดซับ

การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายในระหว่างเกิดการดูดซับมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การแพร่ภายนอก (External Diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายในสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เข้าถึงผิวด้านนอกของสารดูดซับ ซึ่งพื้นผิวด้านนอกของสารดูดซับมีของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับแทรกตัวผ่านชั้นของของเหลวเข้าถึงผิวหน้าสารดูดซับ

(2) การแพร่ภายใน (Internal or Pore Diffusion) เป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายแพร่เข้าสู่ภายในรูเล็กๆ จำนวนมากมายภายในเนื้อสารดูดซับ รูเล็กๆ ดังกล่าวจะก่อให้เกิดพื้นที่ผิวปริมาณมากมายในสารดูดซับ

(3) ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาที่พื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่



2.8 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับเป็น กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสาร ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้นแนวทางในการศึกษาหาไอโซเทอมจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นที่จุดสมดุลของสารที่อุณหภูมิคงที่

2.8.1 ทฤษฎีไอโซเทอมของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ ถูกนำเสนอโดย Irving Langmuir ในปีค.ศ. 1916 แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุด และเป็นแบบจำลองแบบแรกที่ได้รับการเสนอขึ้นมาโดยอาศัยพื้นฐานทางทฤษฎี จากการที่แบบจำลองนี้มีความเรียบง่าย ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) มีสมมุติฐาน คือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน และมีตำแหน่ง (adsorption site) ที่แน่นอน โดยแต่ละโมเลกุลของตัวดูดซับ จะดูดซับโมเลกุลของตัวดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งมีความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลาย บนผิวของแข็งได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{X}{m} = \frac{Q^0 b C_e}{1 + b C_e}$$

เมื่อ q_e = เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ หนัก 1 กรัม

X = เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับ

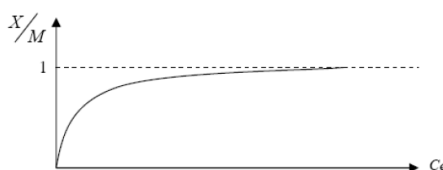
m = เป็นปริมาณตัวดูดซับ

C_e = เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล

Q^0 = เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว

b = เป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง X/m และ C_e จะได้ดังภาพ (ภาพประกอบ 2.2)



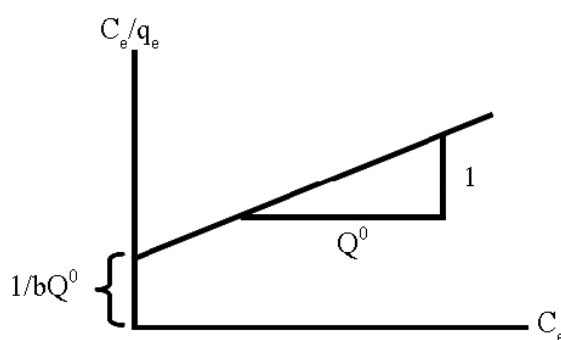
ภาพประกอบ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง X/m และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์



หรือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ^0} + \frac{C_e}{Q^0}$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัดแกนเป็น $1/bQ^0$ และมีความชันเท่ากับ $1/Q^0$ ดังแสดงในภาพ (ภาพประกอบ 2.3)



ภาพประกอบ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C_e}{X/m}$ และ C_e โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์

2.8.2 ทฤษฎีไอโซเทอมของฟรุนดิช (Freundlich Isotherm)

เป็นไอโซเทอมที่เสนอโดย ฟินเลย์ ฟรุนดิช ใช้อธิบายการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) โดยมีการดูดซับบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ (rough surface) และแต่ละพื้นที่ที่เกิดการดูดซับจะให้ค่าความร้อนของการดูดซับออกมาไม่คงที่ และมีการรวมพื้นผิวที่ให้ค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันเข้าด้วยกัน ข้อเสียของสมการฟรุนดิช คือ ใช้อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวที่ความดันสูงๆ ได้ไม่ดี

จากการศึกษาไอโซเทอมของฟรุนดิชที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลาย บนผิวของแข็งได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{X}{m} = kC_e^{1/n}$$

เมื่อ q_e = เป็นปริมาณของตัวดูดซับบนตัวดูดซับ หนัก 1 กรัม

X = เป็นปริมาณของตัวถูกดูดซับ

M = เป็นปริมาณตัวดูดซับ

C_e = เป็นความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล

K_f = สัมประสิทธิ์การดูดซับของฟรุนด์ลิช

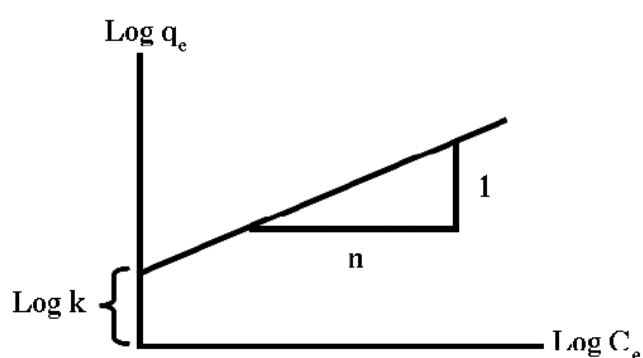
n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง



จากสมการของฟรุนดิชเมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log \frac{X}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log X/m$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกน Y สามารถนำมาหาค่า K ได้ และความชันของกราฟเป็น $1/n$ ก็สามารถหาค่า n ได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ซึ่งเป็นตัวอย่างไอโซเทอมของฟรุนดิช



ภาพประกอบ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q_e$ ($\log X/m$) และ $\log C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของฟรุนดิช

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกั่วด้วยดิน ซึ่งมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับคือ ปริมาณตัวดูดซับ การหาระยะเวลาปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับ และความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม ดังนี้

ในการศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยประจวบ ฉายบุ และ บัญชา ขวาลไชย ได้ศึกษาการใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลาย โดยพบว่าการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารดูดซับที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ เทียมชัย บัวลอย และคณะ ปี 2552 ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโคที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ บัญชา ขวาลไชย ปี 2549 ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผล ต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นตัวดูดซับ โดยพบว่าการดูดซับโลหะแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารดูดซับที่เพิ่มขึ้น

การหาระยะเวลาปั่นกวนที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยเทียมชัย บัวลอย และคณะ ปี 2552 ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค โดยพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจะมีไอออนตะกั่วเข้าไปเกาะที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้นและมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ความจุบนผิวตัวดูดซับ



เริ่มลดลงกระทั่งคงที่ แต่งานวิจัยของนพภูฏ เสี่ยงมศักดิ์ และ พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์ ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง กลับพบว่าความเข้มข้นของสารละลายจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

และในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม โดยวรรณสา สายแก้ว และคณะ ปี 2555 ได้ศึกษาการดูดซับแคดเมียมไอออนด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยพบว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งงานวิจัยของเกษรา จิตนิยม และคณะ ปี 2555 ได้ศึกษาการดูดซับ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ของสมกไทด์ กลับพบว่า การดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของนพภูฏ เสี่ยงมศักดิ์ และ พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์ ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแป้ง โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Singh *et al.* (2006) ที่ระบุว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียแปรผันตรงอย่างสูงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็นทั้งหมดสามส่วน คือ การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา การรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล ดังต่อไปนี้

3.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษา

ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่นที่อยู่ในบัญชีรายชื่อของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของจังหวัดมหาสารคาม แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 – 2556 และการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่เป็นแหล่งน้ำสาธารณะ

3.1.1 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้มุ่งศึกษาสำรวจดินบริเวณอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งทำการสำรวจทั้งหมด 4 พื้นที่ คือ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแ่่ง โดยมีข้อมูลพื้นที่ดังนี้

3.1.1.1 อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก (KS)

ตั้งอยู่ในตำบลวังยาว อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ 1,976 ไร่ ความจุ 8.659 ล้านลูกบาศก์เมตร มีการใช้ประโยชน์โดยการส่งน้ำให้กับพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทาน 7,366 ไร่ และเป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตประปาของตำบลดอนกลาง และตำบลวังยาว

3.1.1.2 อ่างเก็บน้ำบึงกุย (BK)

ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ของ ตำบลหัวขวาง ตำบลแก้งแก และตำบลเหล่า อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่ 2,750 ไร่ ความจุ 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 8,089 ไร่

3.1.1.3 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (LJ)

ตั้งอยู่ในตำบลแก่งเลิงจาน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่ 1,900 ไร่ ความจุ 8.024 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 4,500 ไร่

3.1.1.4 อ่างเก็บน้ำห้วยแ่่ง (HA)

ตั้งอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่าง จังหวัดร้อยเอ็ด และจังหวัดมหาสารคาม มีพื้นที่เขตจังหวัดร้อยเอ็ด 2,800 ไร่ ในพื้นที่เขตจังหวัดมหาสารคาม 4,000 ไร่ ความจุ 22.290 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ชลประทาน 5,200 ไร่



3.2 การรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การเก็บข้อมูลดิน

3.2.1.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในเดือนสิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2555 ทำการเก็บตัวอย่างดินอย่างเป็นระบบ (Systematic sampling) มีแบบแผนการเก็บที่แน่นอน คือเก็บเฉพาะพื้นที่ที่เป็นทางน้ำเข้าและทางน้ำออก เก็บตัวอย่างดินประมาณ 1-2 กิโลกรัม โดยใช้พลั่วตักดิน ซึ่งจะทำการเก็บพื้นที่ละ 8 จุด แต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 หลุม มีรายละเอียดของการเก็บตัวอย่างดังนี้

1) เก็บตัวอย่างที่บริเวณทางน้ำเข้า จำนวน 4 จุด

2) เก็บตัวอย่างบริเวณทางน้ำออก จำนวน 4 จุด

3) ในแต่ละจุดเก็บดินแบบรูปตัวดาว ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร นำดินผสมเข้าด้วยกันตามหลักการ composite sampling ถือว่าเป็นตัวแทนของจุดเก็บนั้นๆ

3.2.1.2 ในแต่ละพื้นที่จะมีตัวอย่างดินทั้งหมด 8 ตัวอย่างดิน สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างดินใน 4 พื้นที่ จึงจะมีตัวอย่างดินเพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติของดิน และอัตราการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน จำนวน 32 ตัวอย่าง

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบธรรมดามาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง (Air dry) เมื่อผึ่งจนแห้งจึงนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

3.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติดิน

นำตัวอย่างดินที่เตรียมเรียบร้อยแล้วมาทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของดินทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ตัวอย่างละ 3 ซ้ำการทดลอง แล้วทำการวิเคราะห์ดังนี้ (ตาราง 3.1)

ตาราง 3.1 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

สมบัติของดิน	วิเคราะห์	อ้างอิง
1. เนื้อดิน (Texture)	วิธี Hydrometer	National Soil Survey Center, 1996
2. ปฏิกริยาดิน (soil reaction)	สารละลายแวนดอลดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 วัดด้วย pH Meter	National Soil Survey Center, 1996
3. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	USDA Soil Survey Manual	National Soil Survey Center, 1996
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matters)	วิธี Walkley-Black	Walkley-Black, 1934
5. ความจุประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (CEC)	แทนที่ Exchange site ด้วย 1M NH ₄ OAc ด้วย pH 7.0	Chapman, 1965
6. โลหะหนักและธาตุอาหาร คือ Pb Ca และ Mg	วิธี Atomic absorption spectroscopy	
7. ไนโตรเจน (N)	Kjeldahl method	Bremner and Mulvaney, 1982



3.2.3.2 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

1) การทดลองแบบกะ

งานวิจัยนี้จึงได้ใช้วิธีการทดลองแบบกะ โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียตะกั่วสังเคราะห์ที่ปรับความเข้มข้นของตะกั่วที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัม ค่า pH ของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 4 (เพื่อลดการตกตะกอนโลหะหนัก) เวลาในการสัมผัสเท่ากับ 30 และ 60 นาที โดยใช้ น้ำหนักตัวอย่างดินเท่ากับ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม

2) การคำนวณอัตราการดูดซับ

ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)

$$= \left[\frac{(\text{ปริมาณโลหะหนักก่อนดูดซับ} - \text{ปริมาณโลหะหนักหลังดูดซับ})}{\text{ปริมาณโลหะหนักก่อนดูดซับ}} \right] \times 100 \quad (\text{สมการ 3.1})$$

3.2.3.3 การคำนวณอัตราการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับปริมาณของตัวถูกดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดซับ เป็นสมการที่มีประโยชน์สำหรับวิเคราะห์การดูดซับ ไอโซเทอมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สมการการดูดซับแบบแลงก์เมียร์ (Langmuir) และสมการการดูดซับแบบฟรุนดิช (Freundlich)

1) ค่าไอโซเทอมการดูดซับของแลงก์เมียร์ สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$q_e = \frac{q_m + bC_e}{(1 + bC_e)} \quad (\text{สมการ 3.2})$$

เมื่อ q_e = ความสามารถในการดูดซับ ณ จุดสมดุล

q_m = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

b = ค่าคงที่

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

สมการดังกล่าวข้างต้น สามารถดัดแปลงมาเป็นสมการเส้นตรงได้ ดังนี้

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m b} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (\text{สมการที่ 3.3})$$

เมื่อ q_m = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

b = ค่าคงที่

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)



2) ค่าไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนดิช สามารถคำนวณได้จากได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{สมการที่ 3.4})$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ
(มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_f, n = ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถคำนวณหา K_f และ n ได้จากกราฟจำเป็นต้องใช้สมการฟรอนดิชมา
จัดรูปแบบให้เป็นสมการ ดังนี้

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{สมการ 3.5})$$

3.3 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

ทำการจัดเก็บข้อมูลสมบัติดินและปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน เป็นระบบในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาประมวลผล โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 16.0 และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสมบัติบางประการของดินและปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน โดยใช้สถิติวิเคราะห์คือการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบพหุตัวแปร (Multivariate analysis) เพื่อจะได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดอย่างเป็นระบบ

ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติบางประการของดินกับปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน ซึ่งวิเคราะห์ความสัมพันธ์วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหลายๆตัว กับตัวแปรตามแบบพหุตัวแปร (Multivariate Analysis of Covariance) ในการศึกษานี้มีตัวแปรหลัก (Independent variable) คือ คุณสมบัติบางประการของดิน ได้แก่ ร้อยละดินทราย ร้อยละดินร่วน ร้อยละดินเหนียว ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า ร้อยละอินทรีย์วัตถุ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ ค่าแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ และค่าไนโตรเจนส่วนตัวแปรตาม (Dependent) คือ ปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตัวแปรหลักแต่ละตัวต้องมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม เพราะการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบพหุตัวแปรนี้ ต้องอาศัยหลักการแบบจำลองเชิงบวก (Additive model) หลังการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบพหุตัวแปรต่อไป



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการศึกษาแบ่งได้เป็นทหส่วนคือ ผลการศึกษาตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน ผลการศึกษาสมบัติดิน ผลการศึกษาประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายตะกั่วด้วยดิน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ และผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน ดังต่อไปนี้

4.1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน

ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์สมบัติบางประการของดินในพื้นที่ที่ศึกษา เพื่อนำผลมาประกอบการศึกษาการประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่นจังหวัดมหาสารคาม ทั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 4 พื้นที่ คืออ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง โดยเก็บตัวอย่างดินพื้นที่ละ 8 จุด และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างเฉพาะบริเวณทางน้ำเข้า และบริเวณทางน้ำออก รหัสและพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างดินได้แสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 รหัสและพิกัดภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

พื้นที่ศึกษา	สถานีเก็บตัวอย่าง		พิกัดภูมิศาสตร์ระบบ UTM	
อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น	A 1	48Q	0276195	1792451
	A 2	48Q	0276236	1792470
	A 3	48Q	0276269	1792493
	A 4	48Q	0276320	1792468
	A 5	48Q	0276979	1792921
	A 6	48Q	0277056	1792919
	A 7	48Q	0277894	1793014
	A 8	48Q	0278002	1793024
อ่างเก็บน้ำบึงกุย	B 1	48Q	0292968	1794132
	B 2	48Q	0293202	1793857
	B 3	48Q	0292880	1793071
	B 4	48Q	0292874	1793036
	B 5	48Q	0293781	1795383
	B 6	48Q	0293826	1795428
	B 7	48Q	0294514	1794794
	B 8	48Q	0294569	1794766



ตาราง 4.1 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	สถานีเก็บตัวอย่าง	พิกัดภูมิศาสตร์ระบบ UTM		
อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	C 1	48Q	0314928	1790234
	C 2	48Q	0314924	1790225
	C 3	48Q	0314683	1790220
	C 4	48Q	0314637	1790195
	C 5	48Q	0314267	1787358
	C 6	48Q	0314330	1787467
	C 7	48Q	0314266	1787342
	C 8	48Q	0314340	1787466
อ่างเก็บน้ำห้วยแอง	D 1	48Q	0333265	1781784
	D 2	48Q	0333263	1781789
	D 3	48Q	0333351	1781759
	D 4	48Q	0333369	1781793
	D 5	48Q	0334165	1782459
	D 6	48Q	0334210	1782447
	D 7	48Q	0335143	1782455
	D 8	48Q	0335177	1782495

4.2 สมบัติดิน

ในการศึกษานี้มุ่งสำรวจสมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ คือ เนื้อดิน ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณตะกั่วในดิน ผลการวิเคราะห์สมบัติดินในอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม มีรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษารายพื้นที่ พบว่า (ตาราง 4.2)

4.2.1 อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น

เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกริยาดินเป็นต่างเล็กน้อยถึงต่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.53-8.13 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.09 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

4.2.2 อ่างเก็บน้ำบึงกุย

เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกริยาดินเป็นกลาง-ต่างจัด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.22-8.50 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ



ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.07 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าการปนเปื้อน

4.2.3 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.01-8.20 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.09 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าการปนเปื้อน

4.2.4 อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง

เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.33-8.09 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนในดินร้อยละ 0.13 และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าการปนเปื้อน



ตาราง 4.2 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

สมบัติดิน	พื้นที่			
	อ่างเก็บน้ำห้วย ขอนแก่น	อ่างเก็บน้ำบึง กุย	อ่างเก็บน้ำแก่ง เลิงจาน	อ่างเก็บน้ำห้วย แอ่ง
ดินทราย (ร้อยละ)	77.70±7.07 ^A	80.90±6.62 ^A	74.35±5.18 ^A	69.82±13.09 ^B
ดินร่วน (ร้อยละ)	17.70±4.63 ^B	18.75±6.54 ^A	22.70±4.63 ^A	24.02±7.40 ^A
ดินเหนียว (ร้อยละ)	4.60±5.35 ^A	0.35±0.14 ^C	2.95±5.18 ^B	6.15±7.54 ^A
ชนิดดิน	ทรายปนร่วน	ทรายปนร่วน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย
ปฏิกริยาดิน	7.53-8.13	7.22-8.50	7.33-8.09	7.01-8.20
	ต่างเล็กน้อย- ต่างปานกลาง	กลาง-ต่างจัด	กลาง-ต่างปาน กลาง	กลาง-ต่างปาน กลาง
การนำไฟฟ้า (ไมโคร ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	553.88±37.97 ^B	555.54±40.46 ^B	591.38±34.25 ^B	733.21±145.36 ^A
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	2.14±0.15	2.29±0.14	2.16±0.09	2.30±0.08
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	13.25±4.73 ^A	8.50±5.95 ^B	12.75±9.21 ^A	23.17±16.80 ^A
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.18±0.07 ^A	0.13±0.01 ^B	0.19±0.03 ^A	0.18±0.02 ^A
แมกนีเซียมที่เป็น ประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.03±0.11 ^A	0.58±0.16 ^B	0.97±0.15 ^A	0.71±0.18 ^B
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	0.09	0.07	0.09	0.13
ปริมาณตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ ตัวพิมพ์ใหญ่ แทน การเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม Two-way ANOVA (n = 24, $\bar{x} \pm S.D.$)



4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

การทดลองนี้ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วด้วยดินโดยทดลองความสามารถในการดูดซับวิธี Batch experiment (Njoku *et al.*, 2011) ซึ่งเป็นการทดลองโดยหาสภาวะที่เหมาะสมที่ลภาวะ คือ น้ำหนักดินที่เหมาะสมในการดูดซับ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ และความเข้มข้นของสารละลาย ตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยการศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสมในการดูดซับใช้น้ำหนักดิน ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับได้ศึกษาระยะเวลาทั้งหมด 2 ช่วงเวลา ได้แก่ 30 และ 60 นาที การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการดูดซับได้ศึกษาทั้งหมด 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทุกการทดลองกำหนดค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4 โดยมีผลการศึกษาดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสม

ศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยใช้น้ำหนักดินทั้งหมด 4 น้ำหนักดิน ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม โดยทดลองที่ระยะเวลาปั่นกวนที่ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4

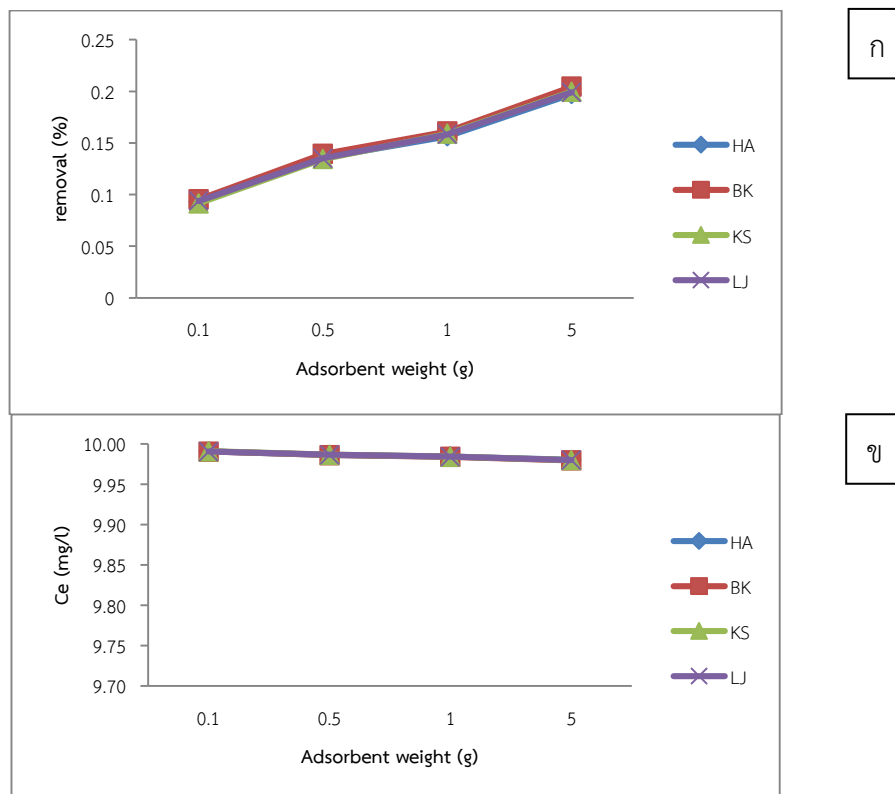
ผลจากการศึกษาเพื่อหาน้ำหนักที่เหมาะสมของดินในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า เมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น โดยปริมาณดินที่สามารถดูดซับตะกั่วได้สูงที่สุด คือ 5 กรัม ที่ระยะเวลาปั่นกวนทั้ง 30 และ 60 นาที ซึ่งที่ระยะเวลาปั่นกวน 30 นาที สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ 0.1974, 0.2044, 0.1997 และ 0.1991 (อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก, อ่างเก็บน้ำบึงกุย, อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง ตามลำดับ) (ภาพที่ 4.1 ก) และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่ประมาณ 9.98 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.1 ข) โดยที่ระยะเวลาปั่นกวน 60 นาที สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ 0.16, 0.1629, 0.1602 และ 0.1483 (อ่างเก็บน้ำห้วยขอนสัก, อ่างเก็บน้ำบึงกุย, อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง ตามลำดับ) และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่ประมาณ 9.98 มิลลิกรัมต่อลิตร

การที่ปริมาณดินเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นเท่าเดิมแต่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีปริมาณของไอออนตะกั่วถูกดูดซับได้มากขึ้น (Beck R., 1999) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเทียมชัย บัวลอย (2552) ที่ศึกษาการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโคที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 72.86 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณ 0.1 กรัม เป็น 98.44 เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาณ 0.5 กรัม และสอดคล้องกับการรายงานของ Ajmal *et al.*, (2006) ที่ศึกษาการใช้หญ้า *Parthenium Hysterophorous* เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากรน้ำเสีย พบว่าใช้ตัวดูดซับปริมาณจาก 0.1 ถึง 1 กรัม ทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มจาก 92.2 ถึง 99.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะบริเวณที่เป็นประโยชน์สำหรับการดูดซับโลหะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ เป็นผลให้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับรวมมีมากขึ้น

ดังนั้น น้ำหนักดินที่สูงที่สุดในการทดลองคือ 5 กรัม ซึ่งดินในพื้นที่อ่างเก็บน้ำบึงกุยสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาอื่น โดยสารฮิวมัสในอินทรีย์วัตถุเป็นสารที่แสดงอำนาจประจุลบซึ่งจะดูดยึดกับ



ประจวบ และยังมีผลทำให้อนุภาคดินยึดเกาะตัวติดกัน (คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน, 2539) ความสามารถในการดูดซับไอออนของอินทรีย์วัตถุในดินนั้นสูงมาก โดยทั่วไปการดูดซับโลหะหนักโดยอินทรีย์วัตถุในดินจะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ตั้งแต่ 2-3 เท่า (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เมื่ออ่างเก็บน้ำบึงกุยมีปริมาณดินเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น เพราะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นตามปริมาณดิน ความสามารถในการดูดซับจึงเพิ่มมากขึ้น



ภาพประกอบ 4.1 ค่าน้ำหนัก, ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)

4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาปั่นกววนที่เหมาะสม

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ น้ำหนักที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม

การหาระยะเวลาปั่นกววนที่เหมาะสมในการดูดซับ เนื่องจากระยะเวลาปั่นกววนจะมีผลกับโมเลกุลของน้ำที่เกาะอยู่บนตัวดูดซับ เรียกว่า Film Diffusion มีลักษณะคล้ายเยื่อบางๆ ดังนั้น จึงต้องมีการปั่นกววนเพื่อให้เยื่อบางๆนี้หลุดออกไปแล้วทำให้ไอออนของตะกั่วสามารถเข้าจับกับตัวดูดซับได้ง่ายขึ้น จากการศึกษา พบว่า การดูดซับสารละลายตะกั่วจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาปั่นกววนเพิ่มขึ้น โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 30 นาที ซึ่งสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ

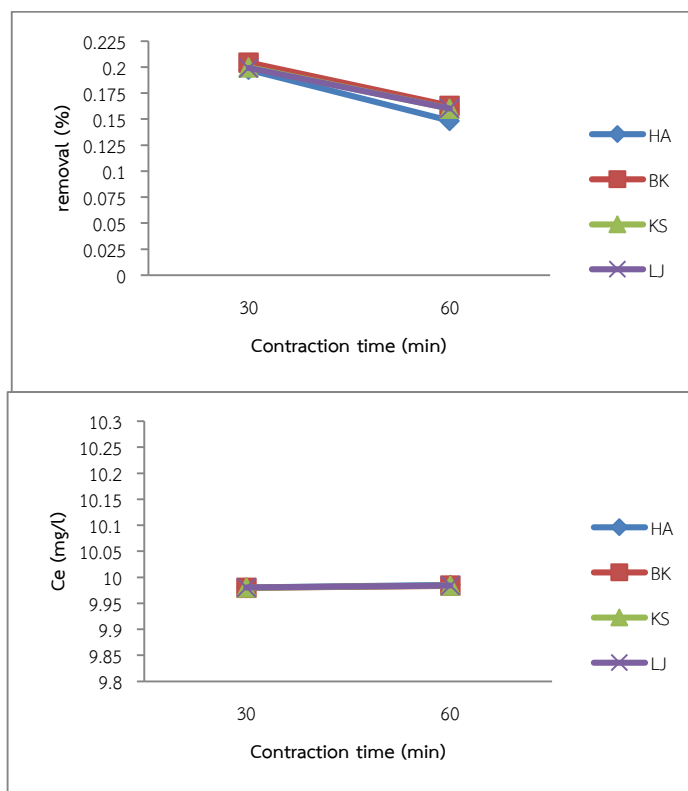


ละ 0.1974, 0.2044, 0.1997 และ 0.1991 (อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น, อ่างเก็บน้ำบึงกุย, อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง ตามลำดับ) (ภาพที่ 4.2 ก) และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่ประมาณ 9.98 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.2 ข)

การที่อัตราการดูดซับสารละลายตะกั่วมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาบ่มกวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลาบ่มกวนเพิ่มขึ้นไอออนตะกั่วจะสามารถเข้าไปเกาะที่ผิวตัวดูดซับได้น้อยลง (Beck, 1999) สอดคล้องกับงานวิจัยของรอรานา อาตาม (2553) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด ในการศึกษาใช้วัสดุในการดูดซับ 3 ชนิดคือ ถ่านจากเปลือกมังคุด ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด และถ่านกัมมันต์ทางการค้า พบว่า วัสดุดูดซับทั้งสามชนิดเข้าสู่สมดุลในการดูดซับไอออนตะกั่วที่เวลา 30 นาที สอดคล้องกับ ภัทรกฤษฎ์ จันสุนา และคณะ (2555) ซึ่งศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสด้วยเปลือกกล้วย ซึ่งพบว่า เปลือกกล้วยที่ระยะเวลาบ่มกวน 30 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาบ่มกวนที่ดูดซับแมงกานีสในสารละลายมาตรฐานแมงกานีสได้สูงสุด และสอดคล้องกับยุพดี เส้นขาว (2557) การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นในช่วง 5-30 นาที

ดังนั้น ระยะเวลาบ่มกวนที่น้อยที่สุดในการทดลองคือ 30 นาทีซึ่งเหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่ว โดยดินในอ่างเก็บน้ำบึงกุยสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาอื่น และเมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นโอกาสที่ไอออนของโลหะตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์จะแพร่ไปยังตำแหน่งที่ว่างไว้ต่อการดูดซับเพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับจึงสูงขึ้น แต่เมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มเป็น 60 นาที เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากอัตราการดูดซับกับอัตราการคายออกมีค่าเท่ากัน (นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์, 2550)





ภาพประกอบ 4.2 ระยะเวลาในการปั่นกววน, ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)

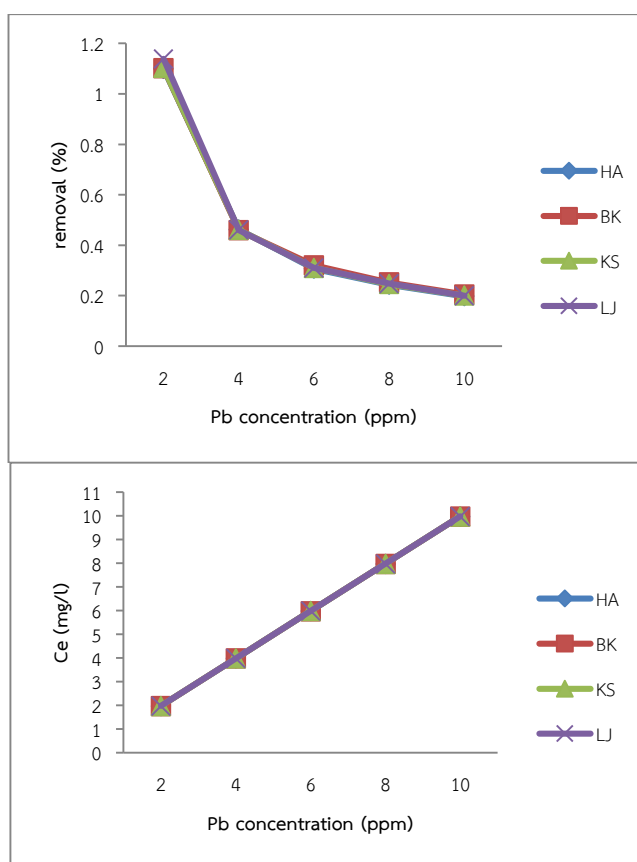
4.3.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสม

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณน้ำหนักรวมที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม และใช้ระยะเวลาปั่นกววนที่เหมาะสมคือ 30 นาที

ผลการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า การดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์คือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถดูดซับได้สูงถึงร้อยละ 1.0992, 1.1017, 1.1022 และร้อยละ 1.1389 (อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง ตามลำดับ) (ภาพที่ 4.3 ก) และมีปริมาณตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายเท่ากับ 1.978 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น, อ่างเก็บน้ำบึงกุย, อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และ 1.9772 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง (ภาพที่ 4.3 ข) การที่อัตราการดูดซับจะมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายมีไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณพื้นผิวของการดูดซับยังคงเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณไอออนที่ไม่ถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น (พิชิต พงษ์สกุล และคณะ, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ (2553) ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่นั้น ทำให้ร้อยละของการกำจัดสีย้อมมีค่าลดลง



ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์คือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นดินในอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งที่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งมีปริมาณร้อยละของดินเหนียว ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก มากกว่าพื้นที่อื่น โดยเมื่อร้อยละอนุภาคของดินเหนียวสูง จะมีการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย เนื่องจากในดินเหนียวจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) รวมถึงอินทรีย์วัตถุซึ่งมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงที่สุดในบรรดาโคลลอยด์ด้วยกัน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจึงมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541) มีผลทำให้อ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด



ก

ข

ภาพประกอบ 4.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ก) และร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ข)



4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ด้วยความสามารถในการดูดซับตะกั่วของดิน และคุณลักษณะของเนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุในดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ และปริมาณไนโตรเจนในดิน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (multiple Linear Regression Analysis) เพื่อหาอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน พบว่า

4.4.1 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

พบว่า ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีความสัมพันธ์วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หาคูณเป็น (R) 0.457 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.209 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 20.9 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.459

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (B, β) เป็น -0.003 กับ -0.457 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้ $P_b = 1.877 - 0.003CEC$ ดังตาราง 4.3



ตาราง 4.3 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินในอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นต่อปริมาณการดูดซับสารละลาย ตะกั่วสังเคราะห์

สมบัติดิน	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig.
	B	Std. Error	β		
ค่าคงที่	1.877	0.016		114.492	0.000
ดินทราย (ร้อยละ)			0.008	0.040	0.696
ดินร่วน (ร้อยละ)			-0.257	-1.379	0.182
ดินเหนียว (ร้อยละ)			0.263	1.293	0.210
ปฏิกิริยาดิน			0.155	0.798	0.434
การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			0.004	0.16	0.987
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)			0.098	0.402	0.692
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	-0.003	0.001	-0.457	-2.411	0.025*
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			0.004	0.017	0.987
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			0.282	1.482	0.153
ไนโตรเจน (ร้อยละ)			-0.152	-0.788	0.440
R	0.457				
R Square	0.209				
Adjusted R Square	0.173				
SE _{est}	± 0.459				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

หมายเหตุ * P-value \leq 0.05

4.4.2 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

พบว่า ค่าปฏิกิริยาดินมีความสัมพันธ์วิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.488 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.238 และสามารถ



พยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.8 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.561

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าปฏิกิริยาดินพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (B, β) เป็น -0.070 กับ -0.488 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .005

สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยสามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้ $Pb = 2.408 - 0.070pH$ ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

สมบัติดิน	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig.
	B	Std. Error	β		
ค่าคงที่	2.408	0.204		11.826	0.000
ดินทราย (ร้อยละ)			-0.033	-0.150	0.882
ดินร่วน (ร้อยละ)			0.046	0.235	0.817
ดินเหนียว (ร้อยละ)			0.001	0.005	0.996
ปฏิกิริยาดิน การนำไฟฟ้า	-0.070	0.027	-0.488	-2.625	0.015*
(ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			0.278	1.527	0.142
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)			-0.120	-0.581	0.567
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)			-0.078	-0.388	0.702
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			-0.301	-1.386	0.180
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			-0.044	-0.181	0.858
ไนโตรเจน (ร้อยละ)			-0.099	-0.515	0.612
R	0.488				
R Square	0.238				
Adjusted R Square	0.204				
SE _{est}	± 0.561				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

หมายเหตุ * P-value ≤ 0.05



4.4.3 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์วิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.477 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.228 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 22.8 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.40

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าอินทรีย์วัตถุพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (B, β) เป็น -0.053 กับ -0.477 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยดินจากอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้ $P_b = 1.996 - 0.053OC$ ดังตาราง 4.5



ตาราง 4.5 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินใน
อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน

สมบัติดิน	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig.
	B	Std. Error	β		
ค่าคงที่	1.996	0.049		41.095	0.000
ดินทราย (ร้อยละ)			-0.074	-0.375	0.711
ดินร่วน (ร้อยละ)			0.069	0.349	0.730
ดินเหนียว (ร้อยละ)			0.264	1.444	0.163
ปฏิกิริยาดิน			-0.129	-0.667	0.512
การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			0.144	0.737	0.469
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	-0.053		-0.477	-2.546	0.018*
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)			0.134	0.694	0.495
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			0.077	0.403	0.691
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			0.163	0.855	0.402
ไนโตรเจน (ร้อยละ)			0.141	0.735	0.470
R	0.477				
R Square	0.228				
Adjusted R Square	0.193				
SE _{est}	±0.404				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

หมายเหตุ * P-value \leq 0.05

4.4.4 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งต่อปริมาณการดูดซับ สารละลายตะกั่วสังเคราะห์

พบว่า ค่าดินเหนียวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความถดถอยเชิงเส้นกับการดูดซับ
สารละลายตะกั่วสังเคราะห์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
พหุคูณเป็น (R) 0.482 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.232 และสามารถพยากรณ์



การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.2 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.055

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าดินเหนียวพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (B, β) เป็น -0.006 กับ -0.482 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งสามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้ $P_b = 1.899 - 0.006 \text{ Clay}$ ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินในอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง

สมบัติดิน	Unstandardized		Standardized	t.	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std Error	β		
ค่าคงที่	1.899	0.015		123.502	0.000
ดินทราย (ร้อยละ)			-0.376	0.194	0.194
ดินร่วน (ร้อยละ)			0.246	0.194	0.194
ดินเหนียว (ร้อยละ)	-0.006	0.002	-0.482	-2.577	0.017*
ปฏิกิริยาดิน การนำไฟฟ้า			0.132	0.550	0.550
(ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)			-0.327	0.105	0.105
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)			0.132	0.597	0.536
ความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวก			-0.171	0.384	0.384
(เซนติโมลต่อกิโลกรัม)					
แคลเซียมที่เป็นประโยชน์			-0.117	0.565	0.565
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์			0.231	0.301	0.301
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
ไนโตรเจน (ร้อยละ)			-0.037	-0.190	0.851
R	0.428				
R Square	0.232				
Adjusted R Square	0.197				
SE _{est}	± 0.055				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

หมายเหตุ * P-value ≤ 0.05



ดังนั้น สรุปได้ว่าอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 พื้นที่ มีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ แต่มีอิทธิพลน้อยมาก โดยอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 20.9 อ่างเก็บน้ำบึงกุยมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าปฏิกิริยาดิน ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.8 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 22.8 และอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่งมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าดินเหนียว ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.2

การที่สมบัติบางประการของดินทั้ง 4 พื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้น้อยมาก อาจเป็นเพราะสมบัติดินที่มีส่วนช่วยในการดูดซับโลหะหนักมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งในงานวิจัยของ Tayim and Al-Yazouri (2005) ได้ศึกษาการใช้ดินในพื้นที่ที่มีแคลเซียมและคาร์บอนเนตในเมืองอะบูดาบี ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรต เพื่อดูดซับโลหะหนักตะกั่ว สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีสออกจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการกรองผ่านดิน ดินที่มีคาร์บอนเนตสูงสามารถกำจัดโลหะหนักบางตัวออกจากน้ำเสีย โดยณรงค์เดช มหาศิริกุล (2553) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับและการคายสารละลายโลหะหนักด้วยวิธีการทดสอบกะ พบว่า ดินลมหอบสามารถดูดซับทองแดงได้มากที่สุด รองลงมาคือนิเกิล และสังกะสี ตามลำดับ และเมื่อผสมดินเหนียวเข้ากับดินลมหอบ พบว่าการดูดซับสารละลายโลหะหนักจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และปริมาณสัดส่วนของดินเหนียวโดยน้ำหนักตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไปจะทำให้ค่าการดูดซับสารละลายโลหะหนักมีมากที่สุด และเลิศ เกิดชัยภูมิ (2555) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักในดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ผลจากการทดสอบแบบซ้ำพบว่าที่ระยะเวลา 36-48 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง สังกะสี และนิเกิลถูกดูดซับด้วยดินเข้าสู่สภาวะสมดุล และปริมาณสูงสุดของสารละลายโลหะที่ถูกดูดซับต่อปริมาณดินที่ใช้ดูดซับ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ ทองแดง สังกะสี และนิเกิลตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการดูดซับของแลงเมียร์ จะอยู่ในช่วง 0.005 - 0.033 mg/l และเมื่อผสมดินเหนียวเข้ากับดินที่เก็บจากอำเภอโนนสัง จังหวัดหนองบัวลำภู พบว่าปริมาณอัตราส่วนดินเหนียว 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินทั้งหมดเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการดูดซับสารละลายโลหะหนัก

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าดินสามารถดูดซับโลหะหนักได้ แต่ต้องมีสมบัติบางประการที่มีส่วนช่วยในการดูดซับโลหะหนักมากพอ จึงถือว่าดินจากอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 พื้นที่ สามารถดูดซับตะกั่วได้ แต่ในปริมาณที่น้อยมาก

4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

ไอโซเทอมการดูดซับเป็น กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสาร ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้น แนวทางในการศึกษาหาไอโซเทอมจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองนี้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นที่จุดสมดุลของสาร



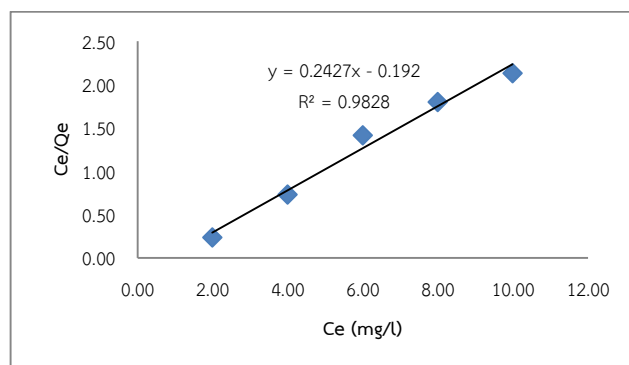
ที่อุณหภูมิกึ่งที่ (ปริญทร เต็มญารศิลป์, 2551) โดยทั่วไปสมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีได้ถูกนำมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับด้วยดินคือสมการแลงเมียร์ และฟรุนดิช (Wang *et al.*, 2007)

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าการดูดซับสารละลายตะกั่วของดิน 5 กรัม ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เท่ากับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองข้างต้นมาทำการทดลองหาค่าไอโซเทอมการดูดซับ

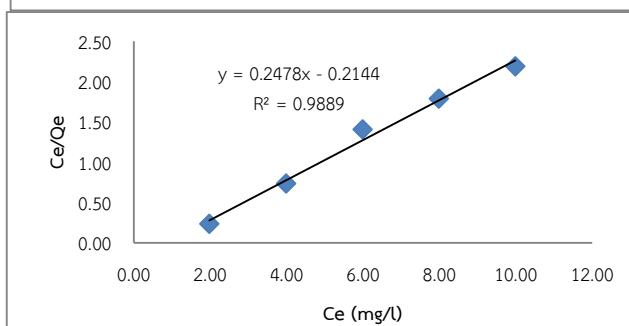
4.5.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับตะกั่ว

ผลการศึกษาไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับตะกั่วด้วยตะกอนดินทั้ง 4 พื้นที่ ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_L ของตะกอนดินทั้ง 4 พื้นที่เพื่อเลือกใช้ในการอธิบายการดูดซับในการทดลอง จากการพิจารณาค่าดังกล่าวข้างต้นพบว่า ตะกอนดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ภาพที่ 4.4 ก) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 กับมีค่า K_L เท่ากับ -21.46 อ่างเก็บน้ำบึงกุย (ภาพที่ 4.4 ข) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.99 กับมีค่า K_L เท่ากับ -18.82 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ภาพที่ 4.4 ค) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.99 กับมีค่า K_L เท่ากับ -18.39 และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ภาพที่ 4.4 ง) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.98 กับมีค่า K_L เท่ากับ -19.47 จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแลงเมียร์สามารถกล่าวได้ว่า อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง สามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงถึง 4.12, 4.04, 4.05, 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังตาราง 4.7

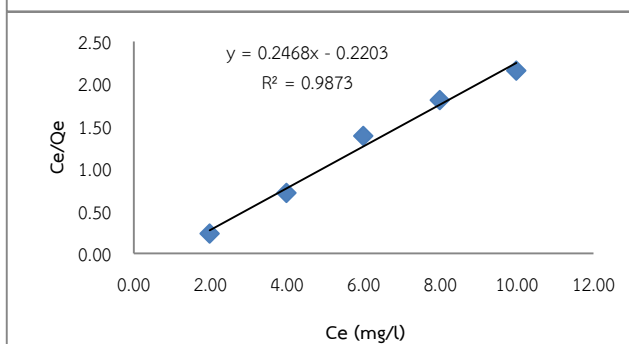




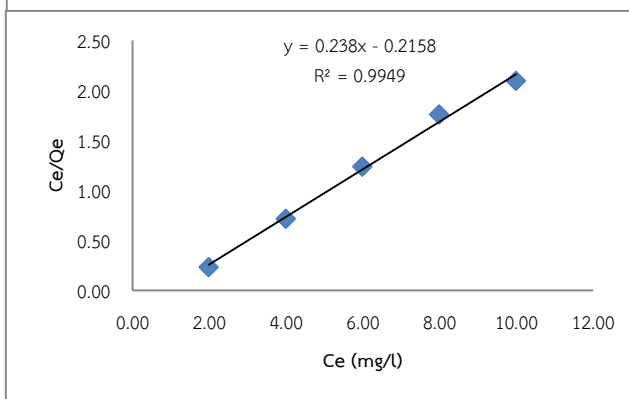
ก



ข



ค



ง

ภาพประกอบ 4.4 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของตะกอนดินอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ก) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำบึงกุย (ข) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ค) และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ง)



ตาราง 4.7 ค่าไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่

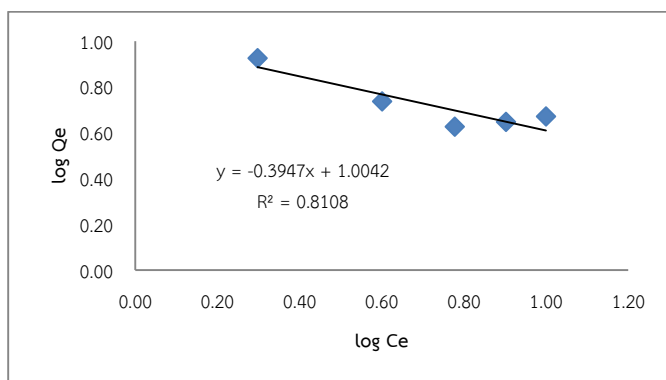
พื้นที่	ไอโซเทอมแลงเมียร์		
	R^2	K_L	b (mg/g)
KS	0.98	-21.46	4.12
BK	0.99	-18.82	4.04
LJ	0.99	-18.39	4.05
HA	0.99	-19.47	4.20

หมายเหตุ KS = อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น BK = อ่างเก็บน้ำบึงกุย LJ = อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และ HA = อ่างเก็บน้ำห้วยแอง

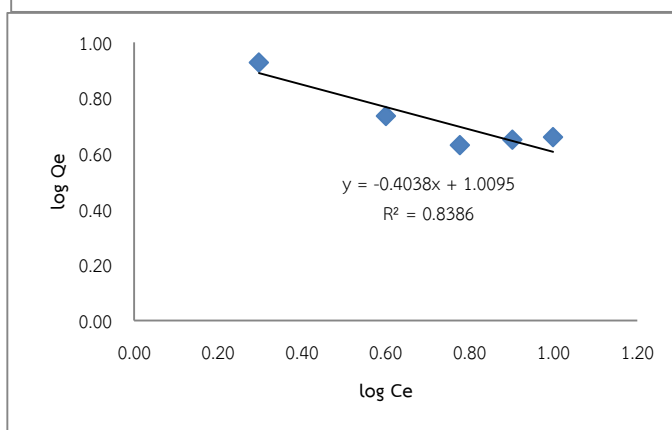
4.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับฟรอนด์ซ

ผลการศึกษาไอโซเทอมของฟรอนด์ซในการดูดซับตะกั่วด้วยตะกอนดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดลนใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_F จากการพิจารณาค่าดังกล่าวข้างต้นพบว่า ตะกอนดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ภาพที่ 4.5 ก) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.81 กับมีค่า K_F เท่ากับ 10.10 อ่างเก็บน้ำบึงกุย (ภาพที่ 4.5 ข) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.84 กับมีค่า K_F เท่ากับ 10.22 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ภาพที่ 4.5 ค) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.85 กับมีค่า K_F เท่ากับ 10.44 และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ภาพที่ 4.5 ง) R^2 มีค่า เท่ากับ 0.86 กับมีค่า K_F เท่ากับ 10.15 จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับฟรอนด์ซสามารถกล่าวได้ว่า อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง สามารถดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ได้สูงถึง -2.53, -2.48, -2.44, -2.67 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังตาราง 4.8

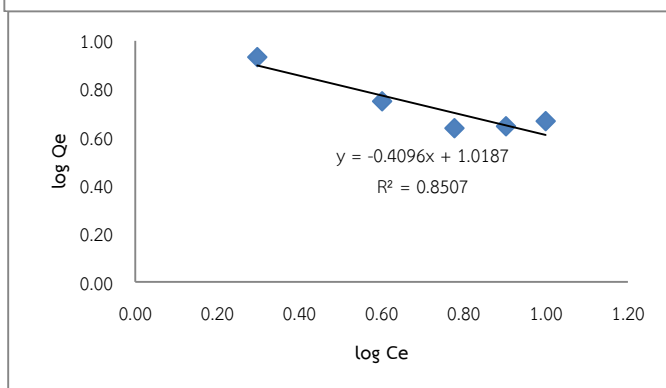




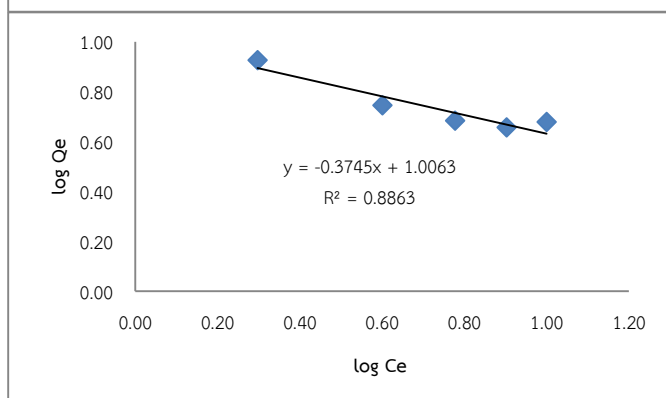
ก



ข



ค



ง

ภาพประกอบ 4.5 ไอโซเทอมฟรอนด์ลิชของตะกอนดินอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (ก) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำบึงกุย (ข) ตะกอนดินอ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (ค) และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง (ง)



ตาราง 4.8 ค่าไอโซเทอมฟรุนดิชในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่

พื้นที่	ไอโซเทอมฟรุนดิช		
	R^2	K_f	n (mg/g)
KS	0.81	10.10	-2.53
BK	0.84	10.22	-2.48
LJ	0.85	10.44	-2.44
HA	0.86	10.15	-2.67

หมายเหตุ KS = อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น BK = อ่างเก็บน้ำบึงกุย LJ = อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และ HA = อ่างเก็บน้ำห้วยแอง

4.5.3 สรุปค่าจากไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรุนดิช

ผลการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_L กับมีค่า K_f (จากไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรุนดิช) ของดินทั้ง 4 พื้นที่ ซึ่งการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวข้างต้นนำมาสู่การเลือกใช้ไอโซเทอมในการนำมาอธิบายการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดิน จากตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์และฟรุนดิช พบว่า ไอโซเทอมของแลงเมียร์ของดินจากอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 กับมีค่า K_L เท่ากับ -21.46 อ่างเก็บน้ำบึงกุย R^2 มีค่า เท่ากับ 0.99 กับมีค่า K_L เท่ากับ -18.82 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน R^2 มีค่า เท่ากับ 0.99 กับมีค่า K_L เท่ากับ -18.39 และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง R^2 มีค่า เท่ากับ 0.98 กับมีค่า K_L เท่ากับ -19.47 ซึ่งมากกว่าค่า R^2 และ K_f ของฟรุนดิช จึงสามารถสรุปได้ว่า ตะกอนดินทั้ง 4 พื้นที่มีการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shu and Wan (2008) ที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยตะกั่วของมอนต์มอริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มของ 2: 1 โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นพบว่าสมการที่มีความเหมาะสม คือ สมการของแลงเมียร์ ซึ่งลักษณะการดูดซับบนผิวหน้าของวัสดุที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เป็นประจุลบดูดยึดไอออนของตะกั่วที่แตกตัวเป็นแคตไอออนไว้ และ พบว่า อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม อ่างเก็บน้ำบึงกุย สามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม และอ่างเก็บน้ำห้วยแองสามารถดูดซับตะกั่วได้เท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังตาราง 4.9



ตาราง 4.9 ค่าไอโซเทอมในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยดินทั้ง 4 พื้นที่

พื้นที่	ไอโซเทอมแลงเมียร์			ไอโซเทอมฟรุนดิช		
	R ²	K _L	b (mg/g)	R ²	K _f	n (mg/g)
KS	0.98	-21.46	4.12	0.81	10.10	-2.53
BK	0.99	-18.82	4.04	0.84	10.22	-2.48
LJ	0.99	-18.39	4.05	0.85	10.44	-2.44
HA	0.99	-19.47	4.20	0.86	10.15	-2.67

หมายเหตุ KS = อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น BK = อ่างเก็บน้ำบึงกุย LJ = อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และ HA = อ่างเก็บน้ำห้วยแอง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 พื้นที่ มีไอโซเทอมแลงเมียร์สามารถที่จะอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าไอโซเทอมฟรุนดิช โดยตัวถูกดูดซับจะปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer sorption) (Tchobanoglous *et al.*, 2003) จะเห็นว่าปริมาณการดูดซับตะกั่วของอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า อ่างเก็บน้ำห้วยแองสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม มากกว่า อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม) และอ่างเก็บน้ำบึงกุย (4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม) เนื่องจากอ่างเก็บน้ำห้วยแองมีสมบัติดินบางประการที่ช่วยในการดูดซับโลหะหนักมากกว่าพื้นที่อื่น คือ ปริมาณร้อยละของดินเหนียว ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยเมื่อร้อยละอนุภาคของดินเหนียวสูง จะมีการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย เนื่องจากในดินเหนียวจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) รวมถึงอินทรีย์วัตถุซึ่งมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงที่สุดในบรรดาคอลลอยด์ด้วยกัน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจึงมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541) มีผลทำให้อ่างเก็บน้ำห้วยแองสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของนพปฎล เสี่ยงศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับนิกเกิลของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแฉ่ง พบว่าปริมาณการดูดซับนิกเกิลสูงสุดของดินเหนียวและดินทรายปนทรายแฉ่งเท่ากับ 6.57 และ 5.23 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

สรุปการทดลองได้เป็นห้าส่วนคือ สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยตะกอนดิน และไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดินตะกอน รวมถึงข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้ ดังต่อไปนี้

5.1 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ คือ เนื้อดิน ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณตะกั่วในดิน สามารถสรุปตามพื้นที่ได้ดังนี้

อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกริยาดินเป็นต่างเล็กน้อยถึงต่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.53-8.13 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ และปริมาณตะกั่วในดินพบว่ามีไม่มีการปนเปื้อน

อ่างเก็บน้ำบึงกุย เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (loamy sand) ปฏิกริยาดินเป็นกลาง-ต่างจัด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.22-8.50 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ และปริมาณตะกั่วในดินพบว่ามีไม่มีการปนเปื้อน

อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงต่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.01-8.20 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ และปริมาณตะกั่วในดินพบว่ามีไม่มีการปนเปื้อน

อ่างเก็บน้ำห้วยแอง เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงต่างปานกลาง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7.33-8.09 ดินไม่มีค่าความเค็ม มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ และปริมาณตะกั่วในดินพบว่ามีไม่มีการปนเปื้อน



5.2 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

ดินจากอ่างเก็บน้ำสาธารณะ ในจังหวัดมหาสารคามมีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของตะกอนดินค่าสูงสุดคือ 5 กรัม ใช้เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 30 นาที โดยอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ 0.1974, 0.2044, 0.1997 และ 0.1991 ตามลำดับ และความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยอ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง สามารถดูดซับได้สูงถึงร้อยละ 1.0992, 1.1017, 1.1022 และร้อยละ 1.1389 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า อ่างเก็บน้ำสาธารณะทั้งสี่พื้นที่ คือ อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น อ่างเก็บน้ำบึงกุย อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน และอ่างเก็บน้ำห้วยแอง มีประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุดที่น้ำหนักดิน 5 กรัม ระยะเวลาบ่มกวนที่ 30 นาที และความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน สรุปตามพื้นที่ได้ดังนี้

อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่นมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 20.9 อ่างเก็บน้ำบึงกุยมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าปฏิกิริยาดิน ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.8 อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจานมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 22.8 และอ่างเก็บน้ำห้วยแองมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าดินเหนียว ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 23.2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 พื้นที่ มีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ แต่มีอิทธิพลน้อยมาก

5.4 ไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดินตะกอน

พฤติกรรมดูดซับแบบจำลองของแลงเมียร์สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าแบบจำลองของฟรุนด์ลิช ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ตะกอนดินทั้ง 4 พื้นที่มีการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) โดยเกิดขึ้นที่พื้นผิวตัวดูดซับและมีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไอออนของตะกั่วกับพื้นผิวตัวดูดซับเท่านั้นโดยดินตะกอน 1 กรัม ที่อ่างเก็บน้ำห้วยแองสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงสุดเท่ากับ 4.20 มิลลิกรัมต่อกรัม มากกว่า อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น (4.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน (4.05 มิลลิกรัมต่อกรัม) และอ่างเก็บน้ำบึงกุย (4.04 มิลลิกรัมต่อกรัม)

จากผลดังกล่าว พบว่า อ่างเก็บน้ำบึงกุย ควรเป็นพื้นที่ควรเฝ้าระวังและติดตามการปนเปื้อนสารละลายตะกั่วรวมถึงสารมลพิษชนิดอื่นๆ เมื่อพิจารณาตามทิศทางการไหลของแม่น้ำชีจากต้นน้ำไป



ยังปลายน้ำ พบว่าอ่างเก็บน้ำบึงกุยเป็นอ่างเก็บน้ำลำดับต้นก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ด้านล่าง โดยน้ำจากอ่างเก็บน้ำบึงกุยถูกนำไปใช้ในพื้นที่การเกษตรในเขตชลประทานพื้นที่ตำบลหัวขวาง ตำบลแก้งแก และตำบลเหล่า อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีพื้นที่ชลประทาน 8,089 ไร่ ซึ่งมีความเสี่ยงหากเกิดการปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ พื้นที่การเกษตร และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร และไปยังมนุษย์

5.5 ข้อเสนอแนะ

อนาคตหากมีการติดตามและตรวจสอบการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินอ่างเก็บน้ำสาธารณะอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการเพิ่มเติมการทดสอบพฤติกรรม การดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆในตะกอนดิน น่าจะทำให้เห็นภาพรวมที่กว้างขึ้นรวมถึงมองเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของอ่างเก็บน้ำสาธารณะในจังหวัดมหาสารคาม เนื่องจากแนวโน้มการทำเกษตรมากขึ้นอัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตรจึงสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนมลพิษในแหล่งน้ำ และแหล่งน้ำถูกนำไปใช้ในการอุปโภคและบริโภคโดยตรง และถูกนำไปใช้ในการผลิตน้ำประปาชุมชน และใช้ในภาคการเกษตร ข้อมูลต่างๆเหล่านี้ น่าจะเพียงพอที่จะสนับสนุนการเฝ้าระวังติดตามคุณภาพน้ำและตะกอนดินได้เป็นอย่างดีในอนาคต



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2539). *การจัดการดินเหมืองแร่ร้าง*. กรุงเทพฯ: คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมวิชาการเกษตร. (2548). *มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548*. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.agriinfo.doae.go.th/year52/knowledge/km_13-01-52.doc [สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม 2556]
- กรมวิชาการเกษตร. (2552). *ระดับเกณฑ์พื้นฐานโลหะหนักในดิน + กรมวิชาการเกษตร*. [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://210.246.186.28/oard5/05gap/document/05/05/05.doc> [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2555]
- เกษรา จิตนิยม อัญชลี สุทธิประการ และเอิบ เขียวรีนรมย์. (2555). *การดูดซับ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ของสเมกไทต์*. กรุงเทพฯ, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: เรื่องธรรมการพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง *กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน*. ม.ป.ท.: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- จุไรรัตน์ คุรุโคตร และกาญจนารัตน์ ช่อรักษ์. (2549). *ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว*. โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2549 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ณรงค์เดช มหาศิริกุล. (2553). *การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดปริมาณสารอันตรายปนเปื้อนในดินที่พบในจังหวัดขอนแก่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เดชา นัตริศิริเวช. (2552). *กระบวนการดูดซับ (Adsorption Processes)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทียมชัย บัวลอย, วิภาดา สอนองราชกุล และสมภพ สอนองราชกุล. (2552). *การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ ถ่านกัมมันต์มูลโค*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. (2550). *หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประจวบ ฉายบุ และบัญชา ขวาลไชย. (2550). *การใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลาย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



- ปริญทร เต็มญารศิลป์. (2551). *การเตรียมและการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่แดง และไผ่หมาจู*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และวีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์. (2553). การดูดซับสี้อมด้วยตัวดูดซับจากธรรมชาติ. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 27(4), 61 – 66.
- พิชิต พงษ์สกุล, สุรสิทธิ์ อรรถจารุ และสุรทิน แก้วโรจน์. 2543. การดูดซับแคดเมียมในดิน. *วารสารดินและปุ๋ย*, 22, 163 – 173.
- ภัทรกฤตย์ จันสุนา, อรุมา วรญาณ และสุนิดา เถาว์โท. (2555). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสด้วยเปลือกกล้วย. ใน: *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ*, ม.ป.ท.: ม.ป.พ., หน้า 130-136.
- ยุพดี เส้นขาว. (2557). การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 22(2), 184-201.
- รชานา อาดาม. (2553). ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้ถ่านและถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุด. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 13(3), 94-103.
- เลิศ เกิดชัยภูมิ. (2555). *ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับโลหะหนักในดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานสถิติ จังหวัดมหาสารคาม. (2552). *รายงานสถิติจังหวัด*. มหาสารคาม: ม.ป.พ.
- วรรณสา สายแก้ว, สุนิดา เถาว์โท และวุฒิกกร สายแก้ว. (2555). การดูดซับแคดเมียมไอออนด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร*, 14(2), 1-10.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2540). *ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). *ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี*. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุพัตรา บุตรเสรีชัย และยุวรรตน์ เงินเย็น. (2554). *การศึกษาการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และทองแดง โดยใช้แร่ดินเบนไนต์*. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://gsbooks.gs.kku.ac.th/54/grc12/files/pmo13.pdf>. [สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2554]
- สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. (2554). *แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554-2556*. มหาสารคาม: กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม.
- Ajmal M., Khanrao A. R., Ahmad R. and Khan A.M. (2006). Adsorption study on Parthenium hysterophorous weed : Removal and recovery of Cd (II) from wastewater. *International Online Journal of Hazardous Materials*, B135, 242–248.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils*. New York: Halsted Press, John Willey and Son, Inc.,



- Alluri, H. K., Ronda, S. R., Settalluri, V. S., Singh, J., Suryanarayana, B., and Venkateshwar, P. (2007). "Review. Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal," *African International Online Journal of Biotechnology*, 6(25), 2924-2931.
- ATSDR. (2005). *Toxicological Profile for Lead, Agency for Toxic Substance and Disease Registry*. U.S.A: Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Center for Diseases Control, Atlanta, GA.
- Beck, R. (1999). *Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Soil and Plant Analysis*. USA. Council, Inc. CRC Press,
- Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney. (1982), Nitrogen-Total. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. A.S.A and SSSA*, Madison, WI. n.p.: n.p. p. 595-624.
- Bower, C.A. and L.V.Wilcox. (1965). Soluble salts. pp 933-951. In *Methods of Soil Analysis Part 2*. C.A. Black (ed). American Society of Agronomy Inc., Publisher. USA.
- Boyd, C.E. (1995a). *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. New York: Chapman and Hall,
- Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part II*. Madison, Wisconsin. n.p.: n.p. p. 891-901.
- Chester, R and Vontsinon, H. (1981). The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments. *Mar. Pollut.* 12, 84-91.
- Harrison, R.M.; Laxen, D.P.H. (1981). Measurements of gaseous lead alkyls in polluted atmospheres [letter folloed by author's reply]. *Atmos. Environ*, 15, 422-424.
- Julita Markiewicz-Patkowska. and Andrew Hursthouse. (2005). The interaction of heavy metals with urban soils: sorption behaviour of Cd, Cu, Cr, Pb and Zn with a typical mixed brownfield deposit. *Environment International*. 31(4), 513–521.
- National Soil Survey Center. (1996). *Soil Survey Laboratory Method Manual*. U.S.A.: United state Department of Agriculture.
- . (n.d.). *Soil Survey laboratory, Soil Survey Investigation NO. 42, Version 3*. U.S.A.: United state Department of Agriculture.
- Njoko, V.O., Oquzie, E., Obi, C., Bello, O.S. and Bello, A.A. (2011). Adsorption of copper (II) and lead (II) from aqueous solutions onto a Nigerien natural clay. *Aus. J. of Ba. Appl. Sci*, 5(5), 346-353.
- Singh, N., Kaur, L., Sandhu, K.S., Kaur, J. and Nishinari, K. (2006). Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 532-542.



- Shu, Q.Z. and Wan, G.H. (2008). Adsorption behavior of Pb(II) on montmorillonite. *Colloid Surf, A* 320, 92-97.
- Tayim H.A., AL-Yazouri A.H., (2005). Industrial water treatment using local natural soil in Abu Dhabi, U.A.E. *Am. Environ. Sci.*, 3, 190-193.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4thed. Singapore: Metcalf & Eddy.
- Tsai, W.T., Lai, C.W. and Hsien, K.J. (2003). Effect of Particle Size of Activated Clay on the Adsorption of Paraquat from Aqueous Solution. *Colloid and Interfacial Science*, 263, 29-34.
- Wang, S., Terdkiatburana, T. and Tade, M.O., (2008). Single and co-adsorption of heavy metals and humic acid on fly ash. *Separation and Purification Technology*, 58, 353-358.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการทดสอบศักยภาพดินในการดูดซับตะกั่ว



ตาราง ก.1 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	1.9832	1.9822	1.9811	1.9780	0.8402	0.8921	0.9440	1.0996
2	A1u-2	1.9832	1.9822	1.9811	1.9776	0.8402	0.8921	0.9440	1.1203
3	A1u-3	1.9830	1.9811	1.9795	1.9780	0.8506	0.9440	1.0270	1.0996
4	A1L-1	1.9832	1.9817	1.9809	1.9770	0.8402	0.9129	0.9544	1.1515
5	A1L-2	1.9811	1.9809	1.9805	1.9780	0.9440	0.9544	0.9751	1.0996
6	A1L-3	1.9830	1.9811	1.9805	1.9780	0.8506	0.9440	0.9751	1.0996
7	A2u-1	1.9832	1.9822	1.9797	1.9780	0.8402	0.8921	1.0166	1.0996
8	A2u-2	1.9832	1.9822	1.9797	1.9780	0.8402	0.8921	1.0166	1.0996
9	A2u-3	1.9817	1.9822	1.9797	1.9780	0.9129	0.8921	1.0166	1.0996
10	A2L-1	1.9832	1.9811	1.9801	1.9780	0.8402	0.9440	0.9959	1.0996
11	A2L-2	1.9832	1.9813	1.9805	1.9763	0.8402	0.9336	0.9751	1.1826
12	A2L-3	1.9832	1.9822	1.9807	1.9780	0.8402	0.8921	0.9647	1.0996
13	A3u-1	1.9832	1.9817	1.9809	1.9780	0.8402	0.9129	0.9544	1.0996
14	A3u-2	1.9826	1.9811	1.9797	1.9780	0.8714	0.9440	1.0166	1.0996
15	A3u-3	1.9832	1.9811	1.9797	1.9780	0.8402	0.9440	1.0166	1.0996
16	A3L-1	1.9830	1.9817	1.9801	1.9780	0.8506	0.9129	0.9959	1.0996
17	A3L-2	1.9832	1.9822	1.9805	1.9776	0.8402	0.8921	0.9751	1.1203
18	A3L-3	1.9832	1.9813	1.9801	1.9793	0.8402	0.9336	0.9959	1.0373
19	A4u-1	1.9817	1.9813	1.9801	1.9780	0.9129	0.9336	0.9959	1.0996
20	A4u-2	1.9832	1.9811	1.9797	1.9780	0.8402	0.9440	1.0166	1.0996
21	A4u-3	1.9832	1.9811	1.9797	1.9784	0.8402	0.9440	1.0166	1.0788
22	A4L-1	1.9832	1.9811	1.9805	1.9801	0.8402	0.9440	0.9751	0.9959
23	A4L-2	1.9832	1.9822	1.9805	1.9780	0.8402	0.8921	0.9751	1.0996
24	A4L-3	1.9832	1.9811	1.9809	1.9780	0.8402	0.9440	0.9544	1.0996
25	B1u-1	1.9832	1.9817	1.9811	1.9780	0.8402	0.9129	0.9440	1.0996
26	B1u-2	1.9832	1.9817	1.9797	1.9780	0.8402	0.9129	1.0166	1.0996
27	B1u-3	1.9832	1.9822	1.9797	1.9780	0.8402	0.8921	1.0166	1.0996
28	B1L-1	1.9832	1.9828	1.9811	1.9786	0.8402	0.8610	0.9440	1.0685
29	B1L-2	1.9828	1.9811	1.9805	1.9780	0.8610	0.9440	0.9751	1.0996
30	B1L-3	1.9832	1.9811	1.9801	1.9780	0.8402	0.9440	0.9959	1.0996
31	B2u-1	1.9826	1.9811	1.9790	1.9780	0.8714	0.9440	1.0477	1.0996
32	B2u-2	1.9832	1.9811	1.9790	1.9780	0.8402	0.9440	1.0477	1.0996



ตาราง ก.1 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	1.9832	1.9811	1.9799	1.9784	0.8402	0.9440	1.0062	1.0788
34	B2L-1	1.9832	1.9813	1.9801	1.9780	0.8402	0.9336	0.9959	1.0996
35	B2L-2	1.9832	1.9815	1.9803	1.9745	0.8402	0.9232	0.9855	1.2759
36	B2L-3	1.9832	1.9811	1.9797	1.9780	0.8402	0.9440	1.0166	1.0996
37	B3u-1	1.9832	1.9811	1.9793	1.9776	0.8402	0.9440	1.0373	1.1203
38	B3u-2	1.9834	1.9801	1.9793	1.9774	0.8299	0.9959	1.0373	1.1307
39	B3u-3	1.9836	1.9811	1.9801	1.9774	0.8195	0.9440	0.9959	1.1307
40	B3L-1	1.9832	1.9813	1.9801	1.9774	0.8402	0.9336	0.9959	1.1307
41	B3L-2	1.9832	1.9811	1.9797	1.9776	0.8402	0.9440	1.0166	1.1203
42	B3L-3	1.9832	1.9826	1.9790	1.9786	0.8402	0.8714	1.0477	1.0685
43	B4u-1	1.9832	1.9811	1.9801	1.9790	0.8402	0.9440	0.9959	1.0477
44	B4u-2	1.9832	1.9811	1.9793	1.9776	0.8402	0.9440	1.0373	1.1203
45	B4u-3	1.9822	1.9801	1.9793	1.9786	0.8921	0.9959	1.0373	1.0685
46	B4L-1	1.9832	1.9805	1.9797	1.9790	0.8402	0.9751	1.0166	1.0477
47	B4L-2	1.9832	1.9811	1.9799	1.9786	0.8402	0.9440	1.0062	1.0685
48	B4L-3	1.9832	1.9811	1.9811	1.9786	0.8402	0.9440	0.9440	1.0685
49	C1u-1	1.9832	1.9817	1.9801	1.9780	0.8402	0.9129	0.9959	1.0996
50	C1u-2	1.9834	1.9817	1.9797	1.9751	0.8299	0.9129	1.0166	1.2448
51	C1u-3	1.9834	1.9813	1.9801	1.9780	0.8299	0.9336	0.9959	1.0996
52	C1L-1	1.9832	1.9813	1.9805	1.9770	0.8402	0.9336	0.9751	1.1515
53	C1L-2	1.9832	1.9817	1.9805	1.9770	0.8402	0.9129	0.9751	1.1515
54	C1L-3	1.9832	1.9822	1.9797	1.9780	0.8402	0.8921	1.0166	1.0996
55	C2u-1	1.9817	1.9811	1.9795	1.9780	0.9129	0.9440	1.0270	1.0996
56	C2u-2	1.9832	1.9813	1.9799	1.9780	0.8402	0.9336	1.0062	1.0996
57	C2u-3	1.9830	1.9811	1.9801	1.9780	0.8506	0.9440	0.9959	1.0996
58	C2L-1	1.9832	1.9811	1.9790	1.9770	0.8402	0.9440	1.0477	1.1515
59	C2L-2	1.9832	1.9807	1.9793	1.9780	0.8402	0.9647	1.0373	1.0996
60	C2L-3	1.9832	1.9813	1.9805	1.9780	0.8402	0.9336	0.9751	1.0996
61	C3u-1	1.9828	1.9817	1.9805	1.9786	0.8610	0.9129	0.9751	1.0685
62	C3u-2	1.9828	1.9811	1.9801	1.9788	0.8610	0.9440	0.9959	1.0581
63	C3u-3	1.9832	1.9811	1.9801	1.9780	0.8402	0.9440	0.9959	1.0996
64	C3L-1	1.9832	1.9811	1.9793	1.9786	0.8402	0.9440	1.0373	1.0685



ตาราง ก.1 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	1.9832	1.9809	1.9799	1.9776	0.8402	0.9544	1.0062	1.1203
66	C3L-3	1.9832	1.9811	1.9799	1.9780	0.8402	0.9440	1.0062	1.0996
67	C4u-1	1.9828	1.9809	1.9793	1.9776	0.8610	0.9544	1.0373	1.1203
68	C4u-2	1.9832	1.9807	1.9799	1.9782	0.8402	0.9647	1.0062	1.0892
69	C4u-3	1.9832	1.9824	1.9811	1.9782	0.8402	0.8817	0.9440	1.0892
70	C4L-1	1.9832	1.9811	1.9805	1.9790	0.8402	0.9440	0.9751	1.0477
71	C4L-2	1.9832	1.9811	1.9801	1.9790	0.8402	0.9440	0.9959	1.0477
72	C4L-3	1.9830	1.9805	1.9797	1.9790	0.8506	0.9751	1.0166	1.0477
73	D1u-1	1.9832	1.9809	1.9793	1.9770	0.8402	0.9544	1.0373	1.1515
74	D1u-2	1.9832	1.9811	1.9801	1.9776	0.8402	0.9440	0.9959	1.1203
75	D1u-3	1.9832	1.9811	1.9801	1.9780	0.8402	0.9440	0.9959	1.0996
76	D1L-1	1.9842	1.9813	1.9805	1.9780	0.7884	0.9336	0.9751	1.0996
77	D1L-2	1.9832	1.9815	1.9801	1.9776	0.8402	0.9232	0.9959	1.1203
78	D1L-3	1.9834	1.9815	1.9793	1.9759	0.8299	0.9232	1.0373	1.2033
79	D2u-1	1.9832	1.9811	1.9788	1.9759	0.8402	0.9440	1.0581	1.2033
80	D2u-2	1.9832	1.9817	1.9801	1.9770	0.8402	0.9129	0.9959	1.1515
81	D2u-3	1.9832	1.9817	1.9801	1.9770	0.8402	0.9129	0.9959	1.1515
82	D2L-1	1.9817	1.9811	1.9793	1.9780	0.9129	0.9440	1.0373	1.0996
83	D2L-2	1.9822	1.9801	1.9790	1.9780	0.8921	0.9959	1.0477	1.0996
84	D2L-3	1.9811	1.9799	1.9788	1.9780	0.9440	1.0062	1.0581	1.0996
85	D3u-1	1.9832	1.9805	1.9813	1.9776	0.8402	0.9751	0.9336	1.1203
86	D3u-2	1.9836	1.9817	1.9809	1.9770	0.8195	0.9129	0.9544	1.1515
87	D3u-3	1.9832	1.9801	1.9790	1.9770	0.8402	0.9959	1.0477	1.1515
88	D3L-1	1.9832	1.9817	1.9793	1.9770	0.8402	0.9129	1.0373	1.1515
89	D3L-2	1.9832	1.9817	1.9803	1.9770	0.8402	0.9129	0.9855	1.1515
90	D3L-3	1.9832	1.9817	1.9801	1.9770	0.8402	0.9129	0.9959	1.1515
91	D4u-1	1.9832	1.9822	1.9799	1.9772	0.8402	0.8921	1.0062	1.1411
92	D4u-2	1.9842	1.9822	1.9799	1.9772	0.7884	0.8921	1.0062	1.1411
93	D4u-3	1.9834	1.9817	1.9805	1.9770	0.8299	0.9129	0.9751	1.1515
94	D4L-1	1.9832	1.9817	1.9793	1.9770	0.8402	0.9129	1.0373	1.1515
95	D4L-2	1.9832	1.9811	1.9793	1.9776	0.8402	0.9440	1.0373	1.1203
96	D4L-3	1.9832	1.9813	1.9801	1.9770	0.8402	0.9336	0.9959	1.1515



ตาราง ก.2 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	3.9876	3.9880	3.9863	3.9820	0.3112	0.3008	0.3423	0.4512
2	A1u-2	3.9884	3.9876	3.9863	3.9813	0.2905	0.3112	0.3423	0.4668
3	A1u-3	3.9884	3.9876	3.9863	3.9813	0.2905	0.3112	0.3423	0.4668
4	A1L-1	3.9896	3.9884	3.9871	3.9822	0.2593	0.2905	0.3216	0.4461
5	A1L-2	3.9896	3.9884	3.9873	3.9817	0.2593	0.2905	0.3164	0.4564
6	A1L-3	3.9898	3.9884	3.9865	3.9822	0.2541	0.2905	0.3371	0.4461
7	A2u-1	3.9884	3.9871	3.9863	3.9809	0.2905	0.3216	0.3423	0.4772
8	A2u-2	3.9884	3.9873	3.9867	3.9805	0.2905	0.3164	0.3320	0.4876
9	A2u-3	3.9892	3.9873	3.9865	3.9805	0.2697	0.3164	0.3371	0.4876
10	A2L-1	3.9892	3.9886	3.9863	3.9828	0.2697	0.2853	0.3423	0.4305
11	A2L-2	3.9888	3.9882	3.9863	3.9828	0.2801	0.2956	0.3423	0.4305
12	A2L-3	3.9892	3.9882	3.9863	3.9817	0.2697	0.2956	0.3423	0.4564
13	A3u-1	3.9882	3.9873	3.9863	3.9805	0.2956	0.3164	0.3423	0.4876
14	A3u-2	3.9882	3.9873	3.9867	3.9805	0.2956	0.3164	0.3320	0.4876
15	A3u-3	3.9880	3.9871	3.9867	3.9801	0.3008	0.3216	0.3320	0.4979
16	A3L-1	3.9894	3.9880	3.9865	3.9817	0.2645	0.3008	0.3371	0.4564
17	A3L-2	3.9894	3.9886	3.9869	3.9822	0.2645	0.2853	0.3268	0.4461
18	A3L-3	3.9894	3.9886	3.9869	3.9822	0.2645	0.2853	0.3268	0.4461
19	A4u-1	3.9882	3.9873	3.9863	3.9805	0.2956	0.3164	0.3423	0.4876
20	A4u-2	3.9882	3.9876	3.9873	3.9803	0.2956	0.3112	0.3164	0.4927
21	A4u-3	3.9886	3.9876	3.9863	3.9803	0.2853	0.3112	0.3423	0.4927
22	A4L-1	3.9892	3.9884	3.9863	3.9830	0.2697	0.2905	0.3423	0.4253
23	A4L-2	3.9888	3.9884	3.9863	3.9830	0.2801	0.2905	0.3423	0.4253
24	A4L-3	3.9888	3.9884	3.9863	3.9826	0.2801	0.2905	0.3423	0.4357
25	B1u-1	3.9888	3.9863	3.9853	3.9809	0.2801	0.3423	0.3683	0.4772
26	B1u-2	3.9884	3.9871	3.9853	3.9805	0.2905	0.3216	0.3683	0.4876
27	B1u-3	3.9884	3.9871	3.9851	3.9805	0.2905	0.3216	0.3734	0.4876
28	B1L-1	3.9894	3.9878	3.9855	3.9824	0.2645	0.3060	0.3631	0.4409
29	B1L-2	3.9894	3.9884	3.9859	3.9820	0.2645	0.2905	0.3527	0.4512
30	B1L-3	3.9894	3.9884	3.9859	3.9820	0.2645	0.2905	0.3527	0.4512
31	B2u-1	3.9888	3.9863	3.9855	3.9801	0.2801	0.3423	0.3631	0.4979
32	B2u-2	3.9886	3.9873	3.9853	3.9801	0.2853	0.3164	0.3683	0.4979



ตาราง ก.2 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	3.9886	3.9873	3.9853	3.9801	0.2853	0.3164	0.3683	0.4979
34	B2L-1	3.9896	3.9880	3.9853	3.9830	0.2593	0.3008	0.3683	0.4253
35	B2L-2	3.9894	3.9880	3.9842	3.9826	0.2645	0.3008	0.3942	0.4357
36	B2L-3	3.9894	3.9876	3.9846	3.9826	0.2645	0.3112	0.3838	0.4357
37	B3u-1	3.9884	3.9867	3.9849	3.9813	0.2905	0.3320	0.3786	0.4668
38	B3u-2	3.9884	3.9867	3.9849	3.9811	0.2905	0.3320	0.3786	0.4720
39	B3u-3	3.9884	3.9863	3.9853	3.9811	0.2905	0.3423	0.3683	0.4720
40	B3L-1	3.9894	3.9880	3.9853	3.9826	0.2645	0.3008	0.3683	0.4357
41	B3L-2	3.9892	3.9876	3.9853	3.9826	0.2697	0.3112	0.3683	0.4357
42	B3L-3	3.9892	3.9876	3.9853	3.9828	0.2697	0.3112	0.3683	0.4305
43	B4u-1	3.9886	3.9865	3.9838	3.9811	0.2853	0.3371	0.4046	0.4720
44	B4u-2	3.9880	3.9865	3.9842	3.9809	0.3008	0.3371	0.3942	0.4772
45	B4u-3	3.9880	3.9863	3.9846	3.9811	0.3008	0.3423	0.3838	0.4720
46	B4L-1	3.9892	3.9880	3.9853	3.9824	0.2697	0.3008	0.3683	0.4409
47	B4L-2	3.9892	3.9873	3.9853	3.9830	0.2697	0.3164	0.3683	0.4253
48	B4L-3	3.9888	3.9873	3.9855	3.9830	0.2801	0.3164	0.3631	0.4253
49	C1u-1	3.9894	3.9876	3.9859	3.9809	0.2645	0.3112	0.3527	0.4772
50	C1u-2	3.9892	3.9878	3.9859	3.9811	0.2697	0.3060	0.3527	0.4720
51	C1u-3	3.9892	3.9880	3.9863	3.9811	0.2697	0.3008	0.3423	0.4720
52	C1L-1	3.9894	3.9888	3.9867	3.9824	0.2645	0.2801	0.3320	0.4409
53	C1L-2	3.9894	3.9884	3.9863	3.9826	0.2645	0.2905	0.3423	0.4357
54	C1L-3	3.9888	3.9884	3.9859	3.9826	0.2801	0.2905	0.3527	0.4357
55	C2u-1	3.9886	3.9880	3.9859	3.9811	0.2853	0.3008	0.3527	0.4720
56	C2u-2	3.9886	3.9880	3.9867	3.9811	0.2853	0.3008	0.3320	0.4720
57	C2u-3	3.9884	3.9871	3.9863	3.9805	0.2905	0.3216	0.3423	0.4876
58	C2L-1	3.9894	3.9884	3.9873	3.9828	0.2645	0.2905	0.3164	0.4305
59	C2L-2	3.9896	3.9886	3.9859	3.9817	0.2593	0.2853	0.3527	0.4564
60	C2L-3	3.9894	3.9886	3.9859	3.9828	0.2645	0.2853	0.3527	0.4305
61	C3u-1	3.9892	3.9873	3.9859	3.9805	0.2697	0.3164	0.3527	0.4876
62	C3u-2	3.9892	3.9873	3.9863	3.9805	0.2697	0.3164	0.3423	0.4876
63	C3u-3	3.9888	3.9873	3.9861	3.9811	0.2801	0.3164	0.3475	0.4720
64	C3L-1	3.9894	3.9886	3.9853	3.9817	0.2645	0.2853	0.3683	0.4564



ตาราง ก.2 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	3.9896	3.9886	3.9842	3.9817	0.2593	0.2853	0.3942	0.4564
66	C3L-3	3.9896	3.9884	3.9853	3.9822	0.2593	0.2905	0.3683	0.4461
67	C4u-1	3.9884	3.9867	3.9859	3.9803	0.2905	0.3320	0.3527	0.4927
68	C4u-2	3.9886	3.9867	3.9859	3.9801	0.2853	0.3320	0.3527	0.4979
69	C4u-3	3.9886	3.9871	3.9859	3.9805	0.2853	0.3216	0.3527	0.4876
70	C4L-1	3.9892	3.9880	3.9863	3.9830	0.2697	0.3008	0.3423	0.4253
71	C4L-2	3.9894	3.9880	3.9859	3.9826	0.2645	0.3008	0.3527	0.4357
72	C4L-3	3.9894	3.9884	3.9867	3.9826	0.2645	0.2905	0.3320	0.4357
73	D1u-1	3.9894	3.9873	3.9853	3.9811	0.2645	0.3164	0.3683	0.4720
74	D1u-2	3.9892	3.9873	3.9853	3.9805	0.2697	0.3164	0.3683	0.4876
75	D1u-3	3.9892	3.9871	3.9853	3.9805	0.2697	0.3216	0.3683	0.4876
76	D1L-1	3.9896	3.9880	3.9853	3.9828	0.2593	0.3008	0.3683	0.4305
77	D1L-2	3.9894	3.9880	3.9855	3.9824	0.2645	0.3008	0.3631	0.4409
78	D1L-3	3.9894	3.9884	3.9855	3.9824	0.2645	0.2905	0.3631	0.4409
79	D2u-1	3.9886	3.9871	3.9855	3.9811	0.2853	0.3216	0.3631	0.4720
80	D2u-2	3.9888	3.9871	3.9851	3.9811	0.2801	0.3216	0.3734	0.4720
81	D2u-3	3.9888	3.9873	3.9851	3.9811	0.2801	0.3164	0.3734	0.4720
82	D2L-1	3.9894	3.9886	3.9853	3.9832	0.2645	0.2853	0.3683	0.4201
83	D2L-2	3.9894	3.9886	3.9853	3.9832	0.2645	0.2853	0.3683	0.4201
84	D2L-3	3.9894	3.9873	3.9853	3.9830	0.2645	0.3164	0.3683	0.4253
85	D3u-1	3.9892	3.9867	3.9851	3.9801	0.2697	0.3320	0.3734	0.4979
86	D3u-2	3.9884	3.9867	3.9855	3.9801	0.2905	0.3320	0.3631	0.4979
87	D3u-3	3.9884	3.9869	3.9853	3.9805	0.2905	0.3268	0.3683	0.4876
88	D3L-1	3.9894	3.9878	3.9853	3.9828	0.2645	0.3060	0.3683	0.4305
89	D3L-2	3.9892	3.9880	3.9851	3.9820	0.2697	0.3008	0.3734	0.4512
90	D3L-3	3.9896	3.9878	3.9853	3.9820	0.2593	0.3060	0.3683	0.4512
91	D4u-1	3.9882	3.9871	3.9855	3.9805	0.2956	0.3216	0.3631	0.4876
92	D4u-2	3.9884	3.9871	3.9857	3.9805	0.2905	0.3216	0.3579	0.4876
93	D4u-3	3.9884	3.9871	3.9857	3.9811	0.2905	0.3216	0.3579	0.4720
94	D4L-1	3.9894	3.9873	3.9855	3.9824	0.2645	0.3164	0.3631	0.4409
95	D4L-2	3.9892	3.9873	3.9853	3.9820	0.2697	0.3164	0.3683	0.4512
96	D4L-3	3.9894	3.9871	3.9853	3.9824	0.2645	0.3216	0.3683	0.4409



ตาราง ก.3 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	5.9915	5.9873	5.9842	5.9811	0.1418	0.2109	0.2628	0.3147
2	A1u-2	5.9917	5.9867	5.9849	5.9813	0.1383	0.2213	0.2524	0.3112
3	A1u-3	5.9915	5.9869	5.9849	5.9811	0.1418	0.2178	0.2524	0.3147
4	A1L-1	5.9911	5.9876	5.9853	5.9813	0.1487	0.2075	0.2455	0.3112
5	A1L-2	5.9915	5.9873	5.9857	5.9815	0.1418	0.2109	0.2386	0.3077
6	A1L-3	5.9915	5.9869	5.9857	5.9815	0.1418	0.2178	0.2386	0.3077
7	A2u-1	5.9917	5.9867	5.9844	5.9807	0.1383	0.2213	0.2593	0.3216
8	A2u-2	5.9919	5.9865	5.9844	5.9811	0.1349	0.2248	0.2593	0.3147
9	A2u-3	5.9909	5.9869	5.9838	5.9809	0.1521	0.2178	0.2697	0.3181
10	A2L-1	5.9911	5.9880	5.9849	5.9817	0.1487	0.2006	0.2524	0.3043
11	A2L-2	5.9911	5.9878	5.9857	5.9824	0.1487	0.2040	0.2386	0.2939
12	A2L-3	5.9911	5.9876	5.9855	5.9824	0.1487	0.2075	0.2420	0.2939
13	A3u-1	5.9915	5.9863	5.9842	5.9813	0.1418	0.2282	0.2628	0.3112
14	A3u-2	5.9909	5.9871	5.9844	5.9813	0.1521	0.2144	0.2593	0.3112
15	A3u-3	5.9909	5.9869	5.9846	5.9830	0.1521	0.2178	0.2559	0.2835
16	A3L-1	5.9921	5.9873	5.9878	5.9824	0.1314	0.2109	0.2040	0.2939
17	A3L-2	5.9921	5.9878	5.9873	5.9826	0.1314	0.2040	0.2109	0.2905
18	A3L-3	5.9921	5.9876	5.9857	5.9826	0.1314	0.2075	0.2386	0.2905
19	A4u-1	5.9915	5.9865	5.9842	5.9811	0.1418	0.2248	0.2628	0.3147
20	A4u-2	5.9909	5.9867	5.9846	5.9809	0.1521	0.2213	0.2559	0.3181
21	A4u-3	5.9907	5.9869	5.9846	5.9809	0.1556	0.2178	0.2569	0.3181
22	A4L-1	5.9909	5.9880	5.9853	5.9813	0.1521	0.2006	0.2455	0.3112
23	A4L-2	5.9911	5.9882	5.9851	5.9817	0.1487	0.1971	0.2490	0.3043
24	A4L-3	5.9911	5.9876	5.9851	5.9822	0.1487	0.2075	0.2490	0.2974
25	B1u-1	5.9905	5.9859	5.9832	5.9805	0.1591	0.2351	0.2801	0.3250
26	B1u-2	5.9900	5.9863	5.9836	5.9801	0.1660	0.2282	0.2732	0.3320
27	B1u-3	5.9902	5.9861	5.9838	5.9807	0.1625	0.2317	0.2697	0.3216
28	B1L-1	5.9905	5.9867	5.9842	5.9813	0.1591	0.2213	0.2628	0.3112
29	B1L-2	5.9905	5.9871	5.9842	5.9809	0.1591	0.2144	0.2628	0.3181
30	B1L-3	5.9905	5.9871	5.9844	5.9811	0.1591	0.2144	0.2593	0.3147
31	B2u-1	5.9909	5.9857	5.9832	5.9801	0.1521	0.2386	0.2801	0.3320
32	B2u-2	5.9911	5.9863	5.9832	5.9803	0.1487	0.2282	0.2801	0.3285



ตาราง ก.3 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	5.9911	5.9861	5.9822	5.9803	0.1487	0.2317	0.2974	0.3285
34	B2L-1	5.9896	5.9867	5.9834	5.9811	0.1729	0.2213	0.2766	0.3147
35	B2L-2	5.9894	5.9869	5.9838	5.9815	0.1763	0.2178	0.2697	0.3077
36	B2L-3	5.9896	5.9867	5.9838	5.9815	0.1729	0.2213	0.2697	0.3077
37	B3u-1	5.9898	5.9863	5.9832	5.9807	0.1694	0.2282	0.2801	0.3216
38	B3u-2	5.9905	5.9855	5.9830	5.9805	0.1591	0.2420	0.2835	0.3250
39	B3u-3	5.9900	5.9859	5.9830	5.9807	0.1660	0.2351	0.2835	0.3216
40	B3L-1	5.9905	5.9873	5.9840	5.9811	0.1591	0.2109	0.2663	0.3147
41	B3L-2	5.9905	5.9869	5.9849	5.9811	0.1591	0.2178	0.2524	0.3147
42	B3L-3	5.9913	5.9873	5.9842	5.9817	0.1452	0.2109	0.2628	0.3043
43	B4u-1	5.9900	5.9863	5.9832	5.9801	0.1660	0.2282	0.2801	0.3320
44	B4u-2	5.9902	5.9863	5.9832	5.9801	0.1625	0.2282	0.2801	0.3320
45	B4u-3	5.9900	5.9857	5.9832	5.9801	0.1660	0.2386	0.2801	0.3320
46	B4L-1	5.9905	5.9873	5.9842	5.9813	0.1591	0.2109	0.2628	0.3112
47	B4L-2	5.9905	5.9873	5.9846	5.9809	0.1591	0.2109	0.2559	0.3181
48	B4L-3	5.9905	5.9867	5.9851	5.9811	0.1591	0.2213	0.2490	0.3147
49	C1u-1	5.9917	5.9871	5.9842	5.9811	0.1383	0.2144	0.2628	0.3147
50	C1u-2	5.9917	5.9865	5.9844	5.9809	0.1383	0.2248	0.2593	0.3181
51	C1u-3	5.9919	5.9867	5.9838	5.9809	0.1349	0.2213	0.2697	0.3181
52	C1L-1	5.9917	5.9876	5.9855	5.9815	0.1383	0.2075	0.2420	0.3077
53	C1L-2	5.9919	5.9873	5.9853	5.9822	0.1349	0.2109	0.2455	0.2974
54	C1L-3	5.9919	5.9878	5.9857	5.9822	0.1349	0.2040	0.2386	0.2974
55	C2u-1	5.9915	5.9865	5.9844	5.9805	0.1418	0.2248	0.2593	0.3250
56	C2u-2	5.9915	5.9869	5.9846	5.9811	0.1418	0.2178	0.2559	0.3147
57	C2u-3	5.9915	5.9869	5.9844	5.9809	0.1418	0.2178	0.2593	0.3181
58	C2L-1	5.9917	5.9878	5.9853	5.9822	0.1383	0.2040	0.2455	0.2974
59	C2L-2	5.9915	5.9873	5.9863	5.9815	0.1418	0.2109	0.2282	0.3077
60	C2L-3	5.9915	5.9873	5.9855	5.9822	0.1418	0.2109	0.2420	0.2974
61	C3u-1	5.9898	5.9867	5.9844	5.9805	0.1694	0.2213	0.2593	0.3250
62	C3u-2	5.9917	5.9869	5.9842	5.9807	0.1383	0.2178	0.2628	0.3216
63	C3u-3	5.9915	5.9869	5.9842	5.9811	0.1418	0.2178	0.2628	0.3147
64	C3L-1	5.9905	5.9873	5.9840	5.9824	0.1591	0.2109	0.2663	0.2939



ตาราง ก.3 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	5.9909	5.9876	5.9844	5.9817	0.1521	0.2075	0.2593	0.3043
66	C3L-3	5.9911	5.9876	5.9851	5.9815	0.1487	0.2075	0.2490	0.3077
67	C4u-1	5.9917	5.9863	5.9840	5.9809	0.1383	0.2282	0.2663	0.3181
68	C4u-2	5.9915	5.9865	5.9838	5.9809	0.1418	0.2248	0.2697	0.3181
69	C4u-3	5.9911	5.9863	5.9842	5.9803	0.1487	0.2282	0.2628	0.3285
70	C4L-1	5.9917	5.9873	5.9853	5.9826	0.1383	0.2109	0.2455	0.2905
71	C4L-2	5.9919	5.9873	5.9855	5.9822	0.1349	0.2109	0.2420	0.2974
72	C4L-3	5.9919	5.9871	5.9853	5.9822	0.1349	0.2144	0.2455	0.2974
73	D1u-1	5.9915	5.9867	5.9836	5.9809	0.1418	0.2213	0.2732	0.3181
74	D1u-2	5.9917	5.9873	5.9834	5.9805	0.1383	0.2109	0.2766	0.3250
75	D1u-3	5.9915	5.9871	5.9838	5.9807	0.1418	0.2144	0.2697	0.3216
76	D1L-1	5.9919	5.9878	5.9842	5.9822	0.1349	0.2040	0.2628	0.2974
77	D1L-2	5.9919	5.9876	5.9855	5.9830	0.1349	0.2075	0.2420	0.2835
78	D1L-3	5.9919	5.9876	5.9849	5.9824	0.1349	0.2075	0.2524	0.2939
79	D2u-1	5.9917	5.9865	5.9840	5.9803	0.1383	0.2248	0.2663	0.3285
80	D2u-2	5.9911	5.9867	5.9838	5.9805	0.1487	0.2213	0.2697	0.3250
81	D2u-3	5.9909	5.9867	5.9838	5.9803	0.1521	0.2213	0.2697	0.3285
82	D2L-1	5.9917	5.9878	5.9853	5.9809	0.1383	0.2040	0.2455	0.3181
83	D2L-2	5.9907	5.9878	5.9846	5.9822	0.1556	0.2040	0.2559	0.2974
84	D2L-3	5.9911	5.9878	5.9851	5.9824	0.1487	0.2040	0.2490	0.2939
85	D3u-1	5.9919	5.9865	5.9836	5.9809	0.1349	0.2248	0.2732	0.3181
86	D3u-2	5.9913	5.9867	5.9836	5.9805	0.1452	0.2213	0.2732	0.3250
87	D3u-3	5.9909	5.9865	5.9838	5.9805	0.1521	0.2248	0.2697	0.3250
88	D3L-1	5.9917	5.9873	5.9855	5.9822	0.1383	0.2109	0.2420	0.2974
89	D3L-2	5.9919	5.9873	5.9853	5.9822	0.1349	0.2109	0.2455	0.2974
90	D3L-3	5.9919	5.9880	5.9853	5.9828	0.1349	0.2006	0.2455	0.2870
91	D4u-1	5.9911	5.9863	5.9840	5.9809	0.1487	0.2282	0.2663	0.3181
92	D4u-2	5.9913	5.9863	5.9838	5.9797	0.1452	0.2282	0.2697	0.3389
93	D4u-3	5.9913	5.9863	5.9838	5.9811	0.1452	0.2282	0.2697	0.3147
94	D4L-1	5.9919	5.9867	5.9849	5.9828	0.1349	0.2213	0.2524	0.2870
95	D4L-2	5.9923	5.9869	5.9851	5.9824	0.1279	0.2178	0.2490	0.2939
96	D4L-3	5.9917	5.9869	5.9851	5.9824	0.1383	0.2178	0.2490	0.2939



ตาราง ก.4 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือนอยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือนอยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	7.9915	7.9869	7.9844	7.9801	0.1063	0.1634	0.1945	0.2490
2	A1u-2	7.9913	7.9869	7.9838	7.9799	0.1089	0.1634	0.2023	0.2516
3	A1u-3	7.9911	7.9871	7.9836	7.9803	0.1115	0.1608	0.2049	0.2464
4	A1L-1	7.9917	7.9876	7.9873	7.9811	0.1037	0.1556	0.1582	0.2360
5	A1L-2	7.9915	7.9873	7.9871	7.9813	0.1063	0.1582	0.1608	0.2334
6	A1L-3	7.9915	7.9873	7.9869	7.9807	0.1063	0.1582	0.1634	0.2412
7	A2u-1	7.9905	7.9867	7.9842	7.9803	0.1193	0.1660	0.1971	0.2464
8	A2u-2	7.9907	7.9863	7.9849	7.9805	0.1167	0.1712	0.1893	0.2438
9	A2u-3	7.9911	7.9863	7.9838	7.9801	0.1115	0.1712	0.2023	0.2490
10	A2L-1	7.9917	7.9873	7.9853	7.9807	0.1037	0.1582	0.1841	0.2412
11	A2L-2	7.9915	7.9873	7.9855	7.9807	0.1063	0.1582	0.1815	0.2412
12	A2L-3	7.9919	7.9873	7.9851	7.9809	0.1011	0.1582	0.1867	0.2386
13	A3u-1	7.9905	7.9863	7.9838	7.9799	0.1193	0.1712	0.2023	0.2516
14	A3u-2	7.9900	7.9859	7.9840	7.9801	0.1245	0.1763	0.1997	0.2490
15	A3u-3	7.9905	7.9859	7.9840	7.9801	0.1193	0.1763	0.1997	0.2490
16	A3L-1	7.9915	7.9873	7.9855	7.9811	0.1063	0.1582	0.1815	0.2360
17	A3L-2	7.9925	7.9869	7.9842	7.9813	0.0934	0.1634	0.1971	0.2334
18	A3L-3	7.9921	7.9869	7.9855	7.9811	0.0985	0.1634	0.1815	0.2360
19	A4u-1	7.9905	7.9863	7.9840	7.9799	0.1193	0.1712	0.1997	0.2516
20	A4u-2	7.9896	7.9865	7.9844	7.9799	0.1297	0.1686	0.1945	0.2516
21	A4u-3	7.9900	7.9871	7.9842	7.9803	0.1245	0.1608	0.1971	0.2464
22	A4L-1	7.9917	7.9871	7.9853	7.9809	0.1037	0.1608	0.1841	0.2386
23	A4L-2	7.9917	7.9873	7.9849	7.9811	0.1037	0.1582	0.1893	0.2360
24	A4L-3	7.9915	7.9873	7.9849	7.9807	0.1063	0.1582	0.1893	0.2412
25	B1u-1	7.9907	7.9863	7.9842	7.9795	0.1167	0.1712	0.1971	0.2567
26	B1u-2	7.9909	7.9859	7.9840	7.9797	0.1141	0.1763	0.1997	0.2541
27	B1u-3	7.9909	7.9855	7.9838	7.9790	0.1141	0.1815	0.2023	0.2619
28	B1L-1	7.9915	7.9869	7.9853	7.9803	0.1063	0.1634	0.1841	0.2464
29	B1L-2	7.9917	7.9869	7.9846	7.9805	0.1037	0.1634	0.1919	0.2438
30	B1L-3	7.9911	7.9873	7.9846	7.9805	0.1115	0.1582	0.1919	0.2438
31	B2u-1	7.9905	7.9859	7.9836	7.9797	0.1193	0.1763	0.2049	0.2541
32	B2u-2	7.9905	7.9857	7.9832	7.9790	0.1193	0.1789	0.2101	0.2619



ตาราง ก.4 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	7.9909	7.9857	7.9836	7.9788	0.1141	0.1789	0.2049	0.2645
34	B2L-1	7.9911	7.9871	7.9846	7.9807	0.1115	0.1608	0.1919	0.2412
35	B2L-2	7.9915	7.9873	7.9849	7.9801	0.1063	0.1582	0.1893	0.2490
36	B2L-3	7.9915	7.9873	7.9851	7.9805	0.1063	0.1582	0.1867	0.2438
37	B3u-1	7.9902	7.9863	7.9838	7.9793	0.1219	0.1712	0.2023	0.2593
38	B3u-2	7.9907	7.9863	7.9836	7.9795	0.1167	0.1712	0.2049	0.2567
39	B3u-3	7.9907	7.9873	7.9836	7.9795	0.1167	0.1582	0.2049	0.2567
40	B3L-1	7.9917	7.9876	7.9851	7.9807	0.1037	0.1556	0.1867	0.2412
41	B3L-2	7.9915	7.9869	7.9846	7.9809	0.1063	0.1634	0.1919	0.2386
42	B3L-3	7.9911	7.9859	7.9849	7.9809	0.1115	0.1763	0.1893	0.2386
43	B4u-1	7.9902	7.9857	7.9838	7.9790	0.1219	0.1789	0.2023	0.2619
44	B4u-2	7.9902	7.9857	7.9832	7.9790	0.1219	0.1789	0.2101	0.2619
45	B4u-3	7.9905	7.9857	7.9828	7.9795	0.1193	0.1789	0.2152	0.2567
46	B4L-1	7.9911	7.9871	7.9846	7.9801	0.1115	0.1608	0.1919	0.2490
47	B4L-2	7.9909	7.9869	7.9846	7.9799	0.1141	0.1634	0.1919	0.2516
48	B4L-3	7.9909	7.9863	7.9853	7.9803	0.1141	0.1712	0.1841	0.2464
49	C1u-1	7.9915	7.9869	7.9849	7.9799	0.1063	0.1634	0.1893	0.2516
50	C1u-2	7.9905	7.9867	7.9844	7.9801	0.1193	0.1660	0.1945	0.2490
51	C1u-3	7.9911	7.9867	7.9842	7.9801	0.1115	0.1660	0.1971	0.2490
52	C1L-1	7.9917	7.9873	7.9857	7.9809	0.1037	0.1582	0.1789	0.2386
53	C1L-2	7.9915	7.9876	7.9853	7.9813	0.1063	0.1556	0.1841	0.2334
54	C1L-3	7.9915	7.9876	7.9853	7.9805	0.1063	0.1556	0.1841	0.2438
55	C2u-1	7.9921	7.9865	7.9844	7.9801	0.0985	0.1686	0.1945	0.2490
56	C2u-2	7.9905	7.9865	7.9849	7.9797	0.1193	0.1686	0.1893	0.2541
57	C2u-3	7.9907	7.9871	7.9849	7.9801	0.1167	0.1608	0.1893	0.2490
58	C2L-1	7.9917	7.9873	7.9851	7.9805	0.1037	0.1582	0.1867	0.2438
59	C2L-2	7.9915	7.9871	7.9857	7.9807	0.1063	0.1608	0.1789	0.2412
60	C2L-3	7.9915	7.9871	7.9853	7.9807	0.1063	0.1608	0.1841	0.2412
61	C3u-1	7.9900	7.9865	7.9842	7.9795	0.1245	0.1686	0.1971	0.2567
62	C3u-2	7.9902	7.9863	7.9842	7.9799	0.1219	0.1712	0.1971	0.2516
63	C3u-3	7.9905	7.9867	7.9838	7.9801	0.1193	0.1660	0.2023	0.2490
64	C3L-1	7.9911	7.9873	7.9851	7.9809	0.1115	0.1582	0.1867	0.2386



ตาราง ก.4 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	7.9913	7.9873	7.9849	7.9813	0.1089	0.1582	0.1893	0.2334
66	C3L-3	7.9913	7.9873	7.9857	7.9805	0.1089	0.1582	0.1789	0.2438
67	C4u-1	7.9905	7.9859	7.9836	7.9797	0.1193	0.1763	0.2049	0.2541
68	C4u-2	7.9907	7.9863	7.9838	7.9799	0.1167	0.1712	0.2023	0.2516
69	C4u-3	7.9900	7.9863	7.9842	7.9801	0.1245	0.1712	0.1971	0.2490
70	C4L-1	7.9917	7.9876	7.9851	7.9805	0.1037	0.1556	0.1867	0.2438
71	C4L-2	7.9915	7.9878	7.9853	7.9805	0.1063	0.1530	0.1841	0.2438
72	C4L-3	7.9911	7.9878	7.9853	7.9807	0.1115	0.1530	0.1841	0.2412
73	D1u-1	7.9911	7.9865	7.9844	7.9797	0.1115	0.1686	0.1945	0.2541
74	D1u-2	7.9913	7.9869	7.9846	7.9795	0.1089	0.1634	0.1919	0.2567
75	D1u-3	7.9909	7.9867	7.9849	7.9795	0.1141	0.1660	0.1893	0.2567
76	D1L-1	7.9915	7.9873	7.9863	7.9801	0.1063	0.1582	0.1712	0.2490
77	D1L-2	7.9915	7.9873	7.9853	7.9805	0.1063	0.1582	0.1841	0.2438
78	D1L-3	7.9915	7.9871	7.9851	7.9805	0.1063	0.1608	0.1867	0.2438
79	D2u-1	7.9907	7.9863	7.9842	7.9799	0.1167	0.1712	0.1971	0.2516
80	D2u-2	7.9905	7.9869	7.9846	7.9797	0.1193	0.1634	0.1919	0.2541
81	D2u-3	7.9907	7.9869	7.9846	7.9797	0.1167	0.1634	0.1919	0.2541
82	D2L-1	7.9917	7.9876	7.9849	7.9807	0.1037	0.1556	0.1893	0.2412
83	D2L-2	7.9915	7.9880	7.9853	7.9809	0.1063	0.1504	0.1841	0.2386
84	D2L-3	7.9921	7.9873	7.9849	7.9811	0.0985	0.1582	0.1893	0.2360
85	D3u-1	7.9905	7.9865	7.9838	7.9801	0.1193	0.1686	0.2023	0.2490
86	D3u-2	7.9900	7.9863	7.9842	7.9797	0.1245	0.1712	0.1971	0.2541
87	D3u-3	7.9905	7.9863	7.9842	7.9797	0.1193	0.1712	0.1971	0.2541
88	D3L-1	7.9911	7.9871	7.9849	7.9811	0.1115	0.1608	0.1893	0.2360
89	D3L-2	7.9913	7.9869	7.9851	7.9811	0.1089	0.1634	0.1867	0.2360
90	D3L-3	7.9913	7.9869	7.9851	7.9805	0.1089	0.1634	0.1867	0.2438
91	D4u-1	7.9905	7.9863	7.9844	7.9799	0.1193	0.1712	0.1945	0.2516
92	D4u-2	7.9911	7.9861	7.9842	7.9797	0.1115	0.1738	0.1971	0.2541
93	D4u-3	7.9911	7.9869	7.9840	7.9795	0.1115	0.1634	0.1997	0.2567
94	D4L-1	7.9917	7.9873	7.9853	7.9809	0.1037	0.1582	0.1841	0.2386
95	D4L-2	7.9915	7.9876	7.9846	7.9803	0.1063	0.1556	0.1919	0.2464
96	D4L-3	7.9915	7.9878	7.9849	7.9803	0.1063	0.1530	0.1893	0.2464



ตาราง ก.5 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	9.9909	9.9863	9.9842	9.9799	0.0913	0.1369	0.1577	0.2012
2	A1u-2	9.9911	9.9861	9.9840	9.9801	0.0892	0.1390	0.1598	0.1992
3	A1u-3	9.9909	9.9861	9.9842	9.9799	0.0913	0.1390	0.1577	0.2012
4	A1L-1	9.9915	9.9867	9.9846	9.9807	0.0851	0.1328	0.1535	0.1929
5	A1L-2	9.9915	9.9865	9.9846	9.9805	0.0851	0.1349	0.1535	0.1950
6	A1L-3	9.9907	9.9867	9.9844	9.9807	0.0934	0.1328	0.1556	0.1929
7	A2u-1	9.9905	9.9859	9.9838	9.9797	0.0954	0.1411	0.1618	0.2033
8	A2u-2	9.9905	9.9861	9.9840	9.9799	0.0954	0.1390	0.1598	0.2012
9	A2u-3	9.9911	9.9861	9.9840	9.9797	0.0892	0.1390	0.1598	0.2033
10	A2L-1	9.9913	9.9869	9.9846	9.9811	0.0871	0.1307	0.1535	0.1888
11	A2L-2	9.9911	9.9867	9.9844	9.9807	0.0892	0.1328	0.1556	0.1929
12	A2L-3	9.9911	9.9867	9.9849	9.9807	0.0892	0.1328	0.1515	0.1929
13	A3u-1	9.9900	9.9861	9.9836	9.9795	0.0996	0.1390	0.1639	0.2054
14	A3u-2	9.9905	9.9861	9.9840	9.9799	0.0954	0.1390	0.1598	0.2012
15	A3u-3	9.9900	9.9859	9.9840	9.9799	0.0996	0.1411	0.1598	0.2012
16	A3L-1	9.9911	9.9867	9.9849	9.9809	0.0892	0.1328	0.1515	0.1909
17	A3L-2	9.9907	9.9873	9.9849	9.9807	0.0934	0.1266	0.1515	0.1929
18	A3L-3	9.9907	9.9873	9.9851	9.9809	0.0934	0.1266	0.1494	0.1909
19	A4u-1	9.9900	9.9863	9.9838	9.9795	0.0996	0.1369	0.1618	0.2054
20	A4u-2	9.9898	9.9861	9.9842	9.9797	0.1017	0.1390	0.1577	0.2033
21	A4u-3	9.9900	9.9859	9.9838	9.9797	0.0996	0.1411	0.1618	0.2033
22	A4L-1	9.9911	9.9867	9.9846	9.9805	0.0892	0.1328	0.1535	0.1950
23	A4L-2	9.9907	9.9867	9.9849	9.9807	0.0934	0.1328	0.1515	0.1929
24	A4L-3	9.9909	9.9865	9.9849	9.9809	0.0913	0.1349	0.1515	0.1909
25	B1u-1	9.9905	9.9859	9.9836	9.9793	0.0954	0.1411	0.1639	0.2075
26	B1u-2	9.9900	9.9857	9.9853	9.9790	0.0996	0.1432	0.1473	0.2095
27	B1u-3	9.9898	9.9855	9.9828	9.9788	0.1017	0.1452	0.1722	0.2116
28	B1L-1	9.9909	9.9863	9.9849	9.9801	0.0913	0.1369	0.1515	0.1992
29	B1L-2	9.9911	9.9867	9.9842	9.9801	0.0892	0.1328	0.1577	0.1992
30	B1L-3	9.9909	9.9867	9.9844	9.9803	0.0913	0.1328	0.1556	0.1971
31	B2u-1	9.9898	9.9855	9.9834	9.9788	0.1017	0.1452	0.1660	0.2116
32	B2u-2	9.9898	9.9853	9.9826	9.9784	0.1017	0.1473	0.1743	0.2158



ตาราง ก.5 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	9.9900	9.9857	9.9828	9.9793	0.0996	0.1432	0.1722	0.2075
34	B2L-1	9.9913	9.9863	9.9842	9.9803	0.0871	0.1369	0.1577	0.1971
35	B2L-2	9.9905	9.9865	9.9844	9.9803	0.0954	0.1349	0.1556	0.1971
36	B2L-3	9.9907	9.9865	9.9846	9.9803	0.0934	0.1349	0.1535	0.1971
37	B3u-1	9.9898	9.9857	9.9836	9.9793	0.1017	0.1432	0.1639	0.2075
38	B3u-2	9.9898	9.9855	9.9834	9.9790	0.1017	0.1452	0.1660	0.2095
39	B3u-3	9.9896	9.9855	9.9834	9.9790	0.1037	0.1452	0.1660	0.2095
40	B3L-1	9.9911	9.9859	9.9842	9.9788	0.0892	0.1411	0.1577	0.2116
41	B3L-2	9.9909	9.9863	9.9844	9.9803	0.0913	0.1369	0.1556	0.1971
42	B3L-3	9.9907	9.9865	9.9844	9.9803	0.0934	0.1349	0.1556	0.1971
43	B4u-1	9.9905	9.9857	9.9826	9.9788	0.0954	0.1432	0.1743	0.2116
44	B4u-2	9.9900	9.9857	9.9834	9.9786	0.0996	0.1432	0.1660	0.2137
45	B4u-3	9.9898	9.9859	9.9832	9.9790	0.1017	0.1411	0.1680	0.2095
46	B4L-1	9.9911	9.9867	9.9844	9.9805	0.0892	0.1328	0.1556	0.1950
47	B4L-2	9.9911	9.9865	9.9844	9.9801	0.0892	0.1349	0.1556	0.1992
48	B4L-3	9.9915	9.9869	9.9846	9.9805	0.0851	0.1307	0.1535	0.1950
49	C1u-1	9.9907	9.9867	9.9840	9.9799	0.0934	0.1328	0.1598	0.2012
50	C1u-2	9.9905	9.9863	9.9838	9.9797	0.0954	0.1369	0.1618	0.2033
51	C1u-3	9.9902	9.9861	9.9840	9.9795	0.0975	0.1390	0.1598	0.2054
52	C1L-1	9.9913	9.9873	9.9844	9.9801	0.0871	0.1266	0.1556	0.1992
53	C1L-2	9.9915	9.9869	9.9844	9.9801	0.0851	0.1307	0.1556	0.1992
54	C1L-3	9.9915	9.9869	9.9844	9.9803	0.0851	0.1307	0.1556	0.1971
55	C2u-1	9.9907	9.9861	9.9838	9.9795	0.0934	0.1390	0.1618	0.2054
56	C2u-2	9.9907	9.9859	9.9836	9.9793	0.0934	0.1411	0.1639	0.2075
57	C2u-3	9.9905	9.9861	9.9836	9.9799	0.0954	0.1390	0.1639	0.2012
58	C2L-1	9.9909	9.9869	9.9846	9.9805	0.0913	0.1307	0.1535	0.1950
59	C2L-2	9.9911	9.9867	9.9844	9.9807	0.0892	0.1328	0.1556	0.1929
60	C2L-3	9.9911	9.9873	9.9846	9.9809	0.0892	0.1266	0.1535	0.1909
61	C3u-1	9.9902	9.9861	9.9834	9.9793	0.0975	0.1390	0.1660	0.2075
62	C3u-2	9.9905	9.9861	9.9836	9.9797	0.0954	0.1390	0.1639	0.2033
63	C3u-3	9.9907	9.9861	9.9838	9.9797	0.0934	0.1390	0.1618	0.2033
64	C3L-1	9.9913	9.9869	9.9849	9.9807	0.0871	0.1307	0.1515	0.1929



ตาราง ก.5 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	9.9915	9.9867	9.9853	9.9805	0.0851	0.1328	0.1473	0.1950
66	C3L-3	9.9915	9.9869	9.9842	9.9805	0.0851	0.1307	0.1577	0.1950
67	C4u-1	9.9900	9.9861	9.9838	9.9790	0.0996	0.1390	0.1618	0.2095
68	C4u-2	9.9905	9.9863	9.9836	9.9793	0.0954	0.1369	0.1639	0.2075
69	C4u-3	9.9905	9.9857	9.9836	9.9797	0.0954	0.1432	0.1639	0.2033
70	C4L-1	9.9915	9.9869	9.9832	9.9805	0.0851	0.1307	0.1680	0.1950
71	C4L-2	9.9911	9.9873	9.9851	9.9807	0.0892	0.1266	0.1494	0.1929
72	C4L-3	9.9911	9.9869	9.9844	9.9811	0.0892	0.1307	0.1556	0.1888
73	D1u-1	9.9905	9.9861	9.9838	9.9797	0.0954	0.1390	0.1618	0.2033
74	D1u-2	9.9902	9.9863	9.9836	9.9799	0.0975	0.1369	0.1639	0.2012
75	D1u-3	9.9905	9.9861	9.9840	9.9799	0.0954	0.1390	0.1598	0.2012
76	D1L-1	9.9913	9.9873	9.9846	9.9807	0.0871	0.1266	0.1535	0.1929
77	D1L-2	9.9915	9.9867	9.9846	9.9807	0.0851	0.1328	0.1535	0.1929
78	D1L-3	9.9911	9.9867	9.9851	9.9807	0.0892	0.1328	0.1494	0.1929
79	D2u-1	9.9902	9.9861	9.9838	9.9797	0.0975	0.1390	0.1618	0.2033
80	D2u-2	9.9900	9.9863	9.9842	9.9793	0.0996	0.1369	0.1577	0.2075
81	D2u-3	9.9902	9.9859	9.9836	9.9797	0.0975	0.1411	0.1639	0.2033
82	D2L-1	9.9909	9.9869	9.9849	9.9807	0.0913	0.1307	0.1515	0.1929
83	D2L-2	9.9909	9.9867	9.9849	9.9811	0.0913	0.1328	0.1515	0.1888
84	D2L-3	9.9909	9.9867	9.9851	9.9805	0.0913	0.1328	0.1494	0.1950
85	D3u-1	9.9900	9.9857	9.9836	9.9795	0.0996	0.1432	0.1639	0.2054
86	D3u-2	9.9902	9.9861	9.9838	9.9797	0.0975	0.1390	0.1618	0.2033
87	D3u-3	9.9902	9.9861	9.9832	9.9793	0.0975	0.1390	0.1680	0.2075
88	D3L-1	9.9907	9.9873	9.9844	9.9801	0.0934	0.1266	0.1556	0.1992
89	D3L-2	9.9909	9.9873	9.9846	9.9807	0.0913	0.1266	0.1535	0.1929
90	D3L-3	9.9911	9.9869	9.9846	9.9807	0.0892	0.1307	0.1535	0.1929
91	D4u-1	9.9898	9.9863	9.9836	9.9797	0.1017	0.1369	0.1639	0.2033
92	D4u-2	9.9902	9.9857	9.9834	9.9793	0.0975	0.1432	0.1660	0.2075
93	D4u-3	9.9902	9.9857	9.9834	9.9793	0.0975	0.1432	0.1660	0.2075
94	D4L-1	9.9911	9.9867	9.9844	9.9807	0.0892	0.1328	0.1556	0.1929
95	D4L-2	9.9911	9.9869	9.9842	9.9805	0.0892	0.1307	0.1577	0.1950
96	D4L-3	9.9911	9.9869	9.9844	9.9805	0.0892	0.1307	0.1556	0.1950



ตาราง ก.6 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	1.9853	1.9834	1.9822	1.9780	0.7365	0.8299	0.8921	1.0996
2	A1u-2	1.9853	1.9838	1.9822	1.9776	0.7365	0.8091	0.8921	1.1203
3	A1u-3	1.9863	1.9838	1.9830	1.9780	0.6846	0.8091	0.8506	1.0996
4	A1L-1	1.9867	1.9844	1.9832	1.9770	0.6639	0.7780	0.8402	1.1515
5	A1L-2	1.9873	1.9844	1.9834	1.9780	0.6328	0.7780	0.8299	1.0996
6	A1L-3	1.9873	1.9842	1.9830	1.9780	0.6328	0.7884	0.8506	1.0996
7	A2u-1	1.9849	1.9836	1.9822	1.9780	0.7573	0.8195	0.8921	1.0996
8	A2u-2	1.9842	1.9836	1.9822	1.9780	0.7884	0.8195	0.8921	1.0996
9	A2u-3	1.9849	1.9832	1.9817	1.9780	0.7573	0.8402	0.9129	1.0996
10	A2L-1	1.9855	1.9844	1.9832	1.9780	0.7261	0.7780	0.8402	1.0996
11	A2L-2	1.9855	1.9849	1.9832	1.9763	0.7261	0.7573	0.8402	1.1826
12	A2L-3	1.9851	1.9844	1.9832	1.9780	0.7469	0.7780	0.8402	1.0996
13	A3u-1	1.9853	1.9834	1.9832	1.9780	0.7365	0.8299	0.8402	1.0996
14	A3u-2	1.9853	1.9842	1.9826	1.9780	0.7365	0.7884	0.8714	1.0996
15	A3u-3	1.9853	1.9832	1.9832	1.9780	0.7365	0.8402	0.8402	1.0996
16	A3L-1	1.9855	1.9842	1.9830	1.9780	0.7261	0.7884	0.8506	1.0996
17	A3L-2	1.9855	1.9832	1.9832	1.9776	0.7261	0.8402	0.8402	1.1203
18	A3L-3	1.9851	1.9834	1.9832	1.9793	0.7469	0.8299	0.8402	1.0373
19	A4u-1	1.9849	1.9832	1.9817	1.9780	0.7573	0.8402	0.9129	1.0996
20	A4u-2	1.9849	1.9834	1.9820	1.9780	0.7573	0.8299	0.9025	1.0996
21	A4u-3	1.9842	1.9834	1.9826	1.9784	0.7884	0.8299	0.8714	1.0788
22	A4L-1	1.9863	1.9842	1.9832	1.9801	0.6846	0.7884	0.8402	0.9959
23	A4L-2	1.9863	1.9844	1.9834	1.9780	0.6846	0.7780	0.8299	1.0996
24	A4L-3	1.9857	1.9842	1.9832	1.9780	0.7158	0.7884	0.8402	1.0996
25	B1u-1	1.9863	1.9838	1.9826	1.9780	0.6846	0.8091	0.8714	1.0996
26	B1u-2	1.9867	1.9838	1.9817	1.9780	0.6639	0.8091	0.9129	1.0996
27	B1u-3	1.9867	1.9834	1.9817	1.9780	0.6639	0.8299	0.9129	1.0996
28	B1L-1	1.9873	1.9842	1.9832	1.9786	0.6328	0.7884	0.8402	1.0685
29	B1L-2	1.9873	1.9842	1.9830	1.9732	0.6328	0.7884	0.8506	1.3382
30	B1L-3	1.9873	1.9842	1.9832	1.9780	0.6328	0.7884	0.8402	1.0996
31	B2u-1	1.9857	1.9832	1.9815	1.9780	0.7158	0.8402	0.9232	1.0996
32	B2u-2	1.9857	1.9834	1.9822	1.9780	0.7158	0.8299	0.8921	1.0996



ตาราง ก.6 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	1.9859	1.9838	1.9822	1.9784	0.7054	0.8091	0.8921	1.0788
34	B2L-1	1.9871	1.9842	1.9832	1.9780	0.6432	0.7884	0.8402	1.0996
35	B2L-2	1.9873	1.9842	1.9832	1.9745	0.6328	0.7884	0.8402	1.2759
36	B2L-3	1.9871	1.9846	1.9832	1.9780	0.6432	0.7676	0.8402	1.0996
37	B3u-1	1.9863	1.9842	1.9820	1.9776	0.6846	0.7884	0.9025	1.1203
38	B3u-2	1.9855	1.9834	1.9820	1.9774	0.7261	0.8299	0.9025	1.1307
39	B3u-3	1.9855	1.9834	1.9815	1.9774	0.7261	0.8299	0.9232	1.1307
40	B3L-1	1.9867	1.9846	1.9832	1.9774	0.6639	0.7676	0.8402	1.1307
41	B3L-2	1.9867	1.9846	1.9834	1.9776	0.6639	0.7676	0.8299	1.1203
42	B3L-3	1.9873	1.9846	1.9832	1.9786	0.6328	0.7676	0.8402	1.0685
43	B4u-1	1.9859	1.9838	1.9832	1.9790	0.7054	0.8091	0.8402	1.0477
44	B4u-2	1.9859	1.9842	1.9832	1.9776	0.7054	0.7884	0.8402	1.1203
45	B4u-3	1.9863	1.9844	1.9838	1.9786	0.6846	0.7780	0.8091	1.0685
46	B4L-1	1.9873	1.9853	1.9832	1.9790	0.6328	0.7365	0.8402	1.0477
47	B4L-2	1.9873	1.9846	1.9832	1.9786	0.6328	0.7676	0.8402	1.0685
48	B4L-3	1.9865	1.9846	1.9832	1.9786	0.6743	0.7676	0.8402	1.0685
49	C1u-1	1.9859	1.9842	1.9832	1.9780	0.7054	0.7884	0.8402	1.0996
50	C1u-2	1.9855	1.9836	1.9824	1.9751	0.7261	0.8195	0.8817	1.2448
51	C1u-3	1.9855	1.9562	1.9824	1.9780	0.7261	2.1888	0.8817	1.0996
52	C1L-1	1.9867	1.9846	1.9832	1.9745	0.6639	0.7676	0.8402	1.2759
53	C1L-2	1.9873	1.9846	1.9832	1.9749	0.6328	0.7676	0.8402	1.2552
54	C1L-3	1.9871	1.9844	1.9832	1.9780	0.6432	0.7780	0.8402	1.0996
55	C2u-1	1.9863	1.9836	1.9813	1.9780	0.6846	0.8195	0.9336	1.0996
56	C2u-2	1.9855	1.9834	1.9813	1.9780	0.7261	0.8299	0.9336	1.0996
57	C2u-3	1.9855	1.9836	1.9822	1.9780	0.7261	0.8195	0.8921	1.0996
58	C2L-1	1.9867	1.9853	1.9832	1.9770	0.6639	0.7365	0.8402	1.1515
59	C2L-2	1.9863	1.9846	1.9826	1.9780	0.6846	0.7676	0.8714	1.0996
60	C2L-3	1.9867	1.9853	1.9832	1.9780	0.6639	0.7365	0.8402	1.0996
61	C3u-1	1.9859	1.9842	1.9822	1.9786	0.7054	0.7884	0.8921	1.0685
62	C3u-2	1.9857	1.9834	1.9828	1.9788	0.7158	0.8299	0.8610	1.0581
63	C3u-3	1.9859	1.9834	1.9822	1.9780	0.7054	0.8299	0.8921	1.0996
64	C3L-1	1.9857	1.9842	1.9832	1.9786	0.7158	0.7884	0.8402	1.0685



ตาราง ก.6 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	1.9857	1.9842	1.9830	1.9776	0.7158	0.7884	0.8506	1.1203
66	C3L-3	1.9859	1.9846	1.9832	1.9780	0.7054	0.7676	0.8402	1.0996
67	C4u-1	1.9855	1.9836	1.9817	1.9776	0.7261	0.8195	0.9129	1.1203
68	C4u-2	1.9859	1.9838	1.9822	1.9782	0.7054	0.8091	0.8921	1.0892
69	C4u-3	1.9863	1.9838	1.9822	1.9782	0.6846	0.8091	0.8921	1.0892
70	C4L-1	1.9867	1.9844	1.9832	1.9790	0.6639	0.7780	0.8402	1.0477
71	C4L-2	1.9867	1.9844	1.9832	1.9790	0.6639	0.7780	0.8402	1.0477
72	C4L-3	1.9863	1.9846	1.9826	1.9790	0.6846	0.7676	0.8714	1.0477
73	D1u-1	1.9855	1.9834	1.9815	1.9770	0.7261	0.8299	0.9232	1.1515
74	D1u-2	1.9853	1.9838	1.9815	1.9776	0.7365	0.8091	0.9232	1.1203
75	D1u-3	1.9859	1.9838	1.9822	1.9780	0.7054	0.8091	0.8921	1.0996
76	D1L-1	1.9867	1.9846	1.9832	1.9780	0.6639	0.7676	0.8402	1.0996
77	D1L-2	1.9869	1.9842	1.9826	1.9776	0.6535	0.7884	0.8714	1.1203
78	D1L-3	1.9869	1.9842	1.9826	1.9759	0.6535	0.7884	0.8714	1.2033
79	D2u-1	1.9863	1.9838	1.9820	1.9759	0.6846	0.8091	0.9025	1.2033
80	D2u-2	1.9861	1.9832	1.9813	1.9770	0.6950	0.8402	0.9336	1.1515
81	D2u-3	1.9861	1.9834	1.9813	1.9770	0.6950	0.8299	0.9336	1.1515
82	D2L-1	1.9867	1.9842	1.9830	1.9780	0.6639	0.7884	0.8506	1.0996
83	D2L-2	1.9867	1.9844	1.9826	1.9780	0.6639	0.7780	0.8714	1.0996
84	D2L-3	1.9873	1.9834	1.9826	1.9780	0.6328	0.8299	0.8714	1.0996
85	D3u-1	1.9859	1.9832	1.9813	1.9776	0.7054	0.8402	0.9336	1.1203
86	D3u-2	1.9859	1.9832	1.9815	1.9770	0.7054	0.8402	0.9232	1.1515
87	D3u-3	1.9859	1.9838	1.9815	1.9770	0.7054	0.8091	0.9232	1.1515
88	D3L-1	1.9863	1.9844	1.9820	1.9770	0.6846	0.7780	0.9025	1.1515
89	D3L-2	1.9873	1.9844	1.9826	1.9770	0.6328	0.7780	0.8714	1.1515
90	D3L-3	1.9873	1.9846	1.9826	1.9770	0.6328	0.7676	0.8714	1.1515
91	D4u-1	1.9861	1.9836	1.9811	1.9772	0.6950	0.8195	0.9440	1.1411
92	D4u-2	1.9861	1.9836	1.9813	1.9772	0.6950	0.8195	0.9336	1.1411
93	D4u-3	1.9855	1.9834	1.9811	1.9770	0.7261	0.8299	0.9440	1.1515
94	D4L-1	1.9867	1.9849	1.9832	1.9770	0.6639	0.7573	0.8402	1.1515
95	D4L-2	1.9863	1.9849	1.9826	1.9776	0.6846	0.7573	0.8714	1.1203
96	D4L-3	1.9863	1.9844	1.9832	1.9770	0.6846	0.7780	0.8402	1.1515



ตาราง ก.7 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	3.9876	3.9880	3.9873	3.9820	0.3112	0.3008	0.3164	0.4512
2	A1u-2	3.9884	3.9876	3.9863	3.9813	0.2905	0.3112	0.3423	0.4668
3	A1u-3	3.9884	3.9876	3.9863	3.9813	0.2905	0.3112	0.3423	0.4668
4	A1L-1	3.9896	3.9884	3.9876	3.9822	0.2593	0.2905	0.3112	0.4461
5	A1L-2	3.9896	3.9884	3.9873	3.9817	0.2593	0.2905	0.3164	0.4564
6	A1L-3	3.9898	3.9884	3.9878	3.9822	0.2541	0.2905	0.3060	0.4461
7	A2u-1	3.9884	3.9871	3.9863	3.9809	0.2905	0.3216	0.3423	0.4772
8	A2u-2	3.9884	3.9873	3.9867	3.9805	0.2905	0.3164	0.3320	0.4876
9	A2u-3	3.9892	3.9873	3.9867	3.9805	0.2697	0.3164	0.3320	0.4876
10	A2L-1	3.9892	3.9886	3.9876	3.9828	0.2697	0.2853	0.3112	0.4305
11	A2L-2	3.9888	3.9882	3.9873	3.9828	0.2801	0.2956	0.3164	0.4305
12	A2L-3	3.9892	3.9882	3.9873	3.9817	0.2697	0.2956	0.3164	0.4564
13	A3u-1	3.9882	3.9873	3.9863	3.9805	0.2956	0.3164	0.3423	0.4876
14	A3u-2	3.9882	3.9873	3.9867	3.9805	0.2956	0.3164	0.3320	0.4876
15	A3u-3	3.9880	3.9871	3.9867	3.9801	0.3008	0.3216	0.3320	0.4979
16	A3L-1	3.9521	3.9880	3.9873	3.9817	1.1981	0.3008	0.3164	0.4564
17	A3L-2	3.9894	3.9886	3.9869	3.9822	0.2645	0.2853	0.3268	0.4461
18	A3L-3	3.9894	3.9886	3.9869	3.9822	0.2645	0.2853	0.3268	0.4461
19	A4u-1	3.9882	3.9873	3.9867	3.9805	0.2956	0.3164	0.3320	0.4876
20	A4u-2	3.9882	3.9876	3.9873	3.9803	0.2956	0.3112	0.3164	0.4927
21	A4u-3	3.9886	3.9876	3.9867	3.9803	0.2853	0.3112	0.3320	0.4927
22	A4L-1	3.9892	3.9884	3.9873	3.9830	0.2697	0.2905	0.3164	0.4253
23	A4L-2	3.9888	3.9884	3.9873	3.9830	0.2801	0.2905	0.3164	0.4253
24	A4L-3	3.9888	3.9884	3.9880	3.9826	0.2801	0.2905	0.3008	0.4357
25	B1u-1	3.9888	3.9863	3.9863	3.9809	0.2801	0.3423	0.3423	0.4772
26	B1u-2	3.9884	3.9871	3.9867	3.9805	0.2905	0.3216	0.3320	0.4876
27	B1u-3	3.9884	3.9871	3.9867	3.9805	0.2905	0.3216	0.3320	0.4876
28	B1L-1	3.9894	3.9878	3.9878	3.9824	0.2645	0.3060	0.3060	0.4409
29	B1L-2	3.9894	3.9884	3.9882	3.9820	0.2645	0.2905	0.2956	0.4512
30	B1L-3	3.9894	3.9884	3.9884	3.9820	0.2645	0.2905	0.2905	0.4512
31	B2u-1	3.9888	3.9863	3.9863	3.9801	0.2801	0.3423	0.3423	0.4979
32	B2u-2	3.9886	3.9873	3.9865	3.9801	0.2853	0.3164	0.3371	0.4979



ตาราง ก.7 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	3.9886	3.9873	3.9865	3.9801	0.2853	0.3164	0.3371	0.4979
34	B2L-1	3.9896	3.9880	3.9876	3.9830	0.2593	0.3008	0.3112	0.4253
35	B2L-2	3.9894	3.9880	3.9880	3.9826	0.2645	0.3008	0.3008	0.4357
36	B2L-3	3.9894	3.9876	3.9876	3.9826	0.2645	0.3112	0.3112	0.4357
37	B3u-1	3.9884	3.9867	3.9861	3.9813	0.2905	0.3320	0.3475	0.4668
38	B3u-2	3.9884	3.9867	3.9861	3.9811	0.2905	0.3320	0.3475	0.4720
39	B3u-3	3.9884	3.9863	3.9863	3.9811	0.2905	0.3423	0.3423	0.4720
40	B3L-1	3.9894	3.9880	3.9873	3.9826	0.2645	0.3008	0.3164	0.4357
41	B3L-2	3.9892	3.9876	3.9876	3.9826	0.2697	0.3112	0.3112	0.4357
42	B3L-3	3.9892	3.9876	3.9873	3.9828	0.2697	0.3112	0.3164	0.4305
43	B4u-1	3.9886	3.9865	3.9865	3.9811	0.2853	0.3371	0.3371	0.4720
44	B4u-2	3.9880	3.9865	3.9867	3.9809	0.3008	0.3371	0.3320	0.4772
45	B4u-3	3.9880	3.9863	3.9859	3.9811	0.3008	0.3423	0.3527	0.4720
46	B4L-1	3.9892	3.9880	3.9876	3.9824	0.2697	0.3008	0.3112	0.4409
47	B4L-2	3.9892	3.9873	3.9871	3.8878	0.2697	0.3164	0.3216	2.8060
48	B4L-3	3.9888	3.9873	3.9871	3.8878	0.2801	0.3164	0.3216	2.8060
49	C1u-1	3.9894	3.9876	3.9861	3.9809	0.2645	0.3112	0.3475	0.4772
50	C1u-2	3.9892	3.9878	3.9863	3.9811	0.2697	0.3060	0.3423	0.4720
51	C1u-3	3.9892	3.9880	3.9863	3.9811	0.2697	0.3008	0.3423	0.4720
52	C1L-1	3.9894	3.9888	3.9871	3.9824	0.2645	0.2801	0.3216	0.4409
53	C1L-2	3.9894	3.9884	3.9871	3.9826	0.2645	0.2905	0.3216	0.4357
54	C1L-3	3.9888	3.9884	3.9873	3.9826	0.2801	0.2905	0.3164	0.4357
55	C2u-1	3.9886	3.9880	3.9859	3.9811	0.2853	0.3008	0.3527	0.4720
56	C2u-2	3.9886	3.9880	3.9863	3.9811	0.2853	0.3008	0.3423	0.4720
57	C2u-3	3.9884	3.9871	3.9863	3.9805	0.2905	0.3216	0.3423	0.4876
58	C2L-1	3.9894	3.9884	3.9873	3.9828	0.2645	0.2905	0.3164	0.4305
59	C2L-2	3.9896	3.9886	3.9867	3.9817	0.2593	0.2853	0.3320	0.4564
60	C2L-3	3.9894	3.9886	3.9867	3.9828	0.2645	0.2853	0.3320	0.4305
61	C3u-1	3.9892	3.9873	3.9863	3.9805	0.2697	0.3164	0.3423	0.4876
62	C3u-2	3.9892	3.9873	3.9863	3.9805	0.2697	0.3164	0.3423	0.4876
63	C3u-3	3.9888	3.9873	3.9857	3.9811	0.2801	0.3164	0.3579	0.4720
64	C3L-1	3.9894	3.9886	3.9871	3.9817	0.2645	0.2853	0.3216	0.4564



ตาราง ก.7 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	3.9896	3.9886	3.9867	3.9817	0.2593	0.2853	0.3320	0.4564
66	C3L-3	3.9896	3.9884	3.9867	3.9822	0.2593	0.2905	0.3320	0.4461
67	C4u-1	3.9884	3.9867	3.9855	3.9803	0.2905	0.3320	0.3631	0.4927
68	C4u-2	3.9886	3.9867	3.9855	3.9801	0.2853	0.3320	0.3631	0.4979
69	C4u-3	3.9886	3.9871	3.9861	3.9805	0.2853	0.3216	0.3475	0.4876
70	C4L-1	3.9892	3.9880	3.9871	3.9830	0.2697	0.3008	0.3216	0.4253
71	C4L-2	3.9894	3.9880	3.9867	3.9826	0.2645	0.3008	0.3320	0.4357
72	C4L-3	3.9894	3.9884	3.9867	3.9826	0.2645	0.2905	0.3320	0.4357
73	D1u-1	3.9894	3.9873	3.9861	3.9811	0.2645	0.3164	0.3475	0.4720
74	D1u-2	3.9892	3.9873	3.9855	3.9805	0.2697	0.3164	0.3631	0.4876
75	D1u-3	3.9892	3.9871	3.9861	3.9805	0.2697	0.3216	0.3475	0.4876
76	D1L-1	3.9896	3.9880	3.9871	3.9828	0.2593	0.3008	0.3216	0.4305
77	D1L-2	3.9894	3.9880	3.9876	3.9824	0.2645	0.3008	0.3112	0.4409
78	D1L-3	3.9894	3.9884	3.9876	3.9824	0.2645	0.2905	0.3112	0.4409
79	D2u-1	3.9886	3.9871	3.9861	3.9811	0.2853	0.3216	0.3475	0.4720
80	D2u-2	3.9888	3.9871	3.9861	3.9811	0.2801	0.3216	0.3475	0.4720
81	D2u-3	3.9888	3.9873	3.9863	3.9811	0.2801	0.3164	0.3423	0.4720
82	D2L-1	3.9894	3.9886	3.9871	3.9832	0.2645	0.2853	0.3216	0.4201
83	D2L-2	3.9894	3.9886	3.9871	3.9832	0.2645	0.2853	0.3216	0.4201
84	D2L-3	3.9894	3.9873	3.9867	3.9830	0.2645	0.3164	0.3320	0.4253
85	D3u-1	3.9892	3.9867	3.9857	3.9801	0.2697	0.3320	0.3579	0.4979
86	D3u-2	3.9884	3.9867	3.9857	3.9801	0.2905	0.3320	0.3579	0.4979
87	D3u-3	3.9884	3.9869	3.9865	3.9805	0.2905	0.3268	0.3371	0.4876
88	D3L-1	3.9894	3.9878	3.9876	3.9828	0.2645	0.3060	0.3112	0.4305
89	D3L-2	3.9892	3.9880	3.9867	3.9820	0.2697	0.3008	0.3320	0.4512
90	D3L-3	3.9896	3.9878	3.9865	3.9820	0.2593	0.3060	0.3371	0.4512
91	D4u-1	3.9882	3.9871	3.9855	3.9805	0.2956	0.3216	0.3631	0.4876
92	D4u-2	3.9884	3.9871	3.9857	3.9805	0.2905	0.3216	0.3579	0.4876
93	D4u-3	3.9884	3.9871	3.9857	3.9811	0.2905	0.3216	0.3579	0.4720
94	D4L-1	3.9894	3.9873	3.9873	3.9824	0.2645	0.3164	0.3164	0.4409
95	D4L-2	3.9892	3.9873	3.9873	3.9820	0.2697	0.3164	0.3164	0.4512
96	D4L-3	3.9894	3.9871	3.9867	3.9824	0.2645	0.3216	0.3320	0.4409



ตาราง ก.8 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	5.9915	5.9873	5.9873	5.9811	0.1418	0.2109	0.2109	0.3147
2	A1u-2	5.9917	5.9867	5.9873	5.9813	0.1383	0.2213	0.2109	0.3112
3	A1u-3	5.9915	5.9869	5.9876	5.9811	0.1418	0.2178	0.2075	0.3147
4	A1L-1	5.9911	5.9876	5.9884	5.9813	0.1487	0.2075	0.1936	0.3112
5	A1L-2	5.9915	5.9873	5.9884	5.9815	0.1418	0.2109	0.1936	0.3077
6	A1L-3	5.9915	5.9869	5.9880	5.9815	0.1418	0.2178	0.2006	0.3077
7	A2u-1	5.9917	5.9867	5.9867	5.9807	0.1383	0.2213	0.2213	0.3216
8	A2u-2	5.9919	5.9865	5.9865	5.9811	0.1349	0.2248	0.2248	0.3147
9	A2u-3	5.9909	5.9869	5.9867	5.9809	0.1521	0.2178	0.2213	0.3181
10	A2L-1	5.9911	5.9880	5.9880	5.9817	0.1487	0.2006	0.2006	0.3043
11	A2L-2	5.9911	5.9878	5.9876	5.9824	0.1487	0.2040	0.2075	0.2939
12	A2L-3	5.9911	5.9876	5.9876	5.9824	0.1487	0.2075	0.2075	0.2939
13	A3u-1	5.9915	5.9863	5.9863	5.9813	0.1418	0.2282	0.2282	0.3112
14	A3u-2	5.9909	5.9871	5.9863	5.9813	0.1521	0.2144	0.2282	0.3112
15	A3u-3	5.9909	5.9869	5.9869	5.9830	0.1521	0.2178	0.2178	0.2835
16	A3L-1	5.9921	5.9873	5.9873	5.9824	0.1314	0.2109	0.2109	0.2939
17	A3L-2	5.9921	5.9878	5.9880	5.9826	0.1314	0.2040	0.2006	0.2905
18	A3L-3	5.9921	5.9876	5.9880	5.9826	0.1314	0.2075	0.2006	0.2905
19	A4u-1	5.9915	5.9865	5.9865	5.9811	0.1418	0.2248	0.2248	0.3147
20	A4u-2	5.9909	5.9867	5.9867	5.9809	0.1521	0.2213	0.2213	0.3181
21	A4u-3	5.9907	5.9869	5.9865	5.9809	0.1556	0.2178	0.2248	0.3181
22	A4L-1	5.9909	5.9880	5.9880	5.9813	0.1521	0.2006	0.2006	0.3112
23	A4L-2	5.9911	5.9882	5.9880	5.9817	0.1487	0.1971	0.2006	0.3043
24	A4L-3	5.9911	5.9876	5.9876	5.9822	0.1487	0.2075	0.2075	0.2974
25	B1u-1	5.9905	5.9859	5.9873	5.9805	0.1591	0.2351	0.2109	0.3250
26	B1u-2	5.9900	5.9863	5.9867	5.9801	0.1660	0.2282	0.2213	0.3320
27	B1u-3	5.9902	5.9861	5.9867	5.9807	0.1625	0.2317	0.2213	0.3216
28	B1L-1	5.9905	5.9867	5.9884	5.9813	0.1591	0.2213	0.1936	0.3112
29	B1L-2	5.9905	5.9871	5.9880	5.9809	0.1591	0.2144	0.2006	0.3181
30	B1L-3	5.9905	5.9871	5.9876	5.9811	0.1591	0.2144	0.2075	0.3147
31	B2u-1	5.9909	5.9857	5.9863	5.9801	0.1521	0.2386	0.2282	0.3320
32	B2u-2	5.9911	5.9863	5.9863	5.9803	0.1487	0.2282	0.2282	0.3285



ตาราง ก.8 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	5.9911	5.9861	5.9873	5.9803	0.1487	0.2317	0.2109	0.3285
34	B2L-1	5.9896	5.9867	5.9876	5.9811	0.1729	0.2213	0.2075	0.3147
35	B2L-2	5.9894	5.9869	5.9876	5.9815	0.1763	0.2178	0.2075	0.3077
36	B2L-3	5.9896	5.9867	5.9884	5.9815	0.1729	0.2213	0.1936	0.3077
37	B3u-1	5.9898	5.9863	5.9861	5.9807	0.1694	0.2282	0.2317	0.3216
38	B3u-2	5.9905	5.9855	5.9861	5.9805	0.1591	0.2420	0.2317	0.3250
39	B3u-3	5.9900	5.9859	5.9859	5.9807	0.1660	0.2351	0.2351	0.3216
40	B3L-1	5.9905	5.9873	5.9884	5.9811	0.1591	0.2109	0.1936	0.3147
41	B3L-2	5.9905	5.9869	5.9884	5.9811	0.1591	0.2178	0.1936	0.3147
42	B3L-3	5.9913	5.9873	5.9888	5.9817	0.1452	0.2109	0.1867	0.3043
43	B4u-1	5.9900	5.9863	5.9873	5.9801	0.1660	0.2282	0.2109	0.3320
44	B4u-2	5.9902	5.9863	5.9863	5.9801	0.1625	0.2282	0.2282	0.3320
45	B4u-3	5.9900	5.9857	5.9873	5.9801	0.1660	0.2386	0.2109	0.3320
46	B4L-1	5.9905	5.9873	5.9880	5.9813	0.1591	0.2109	0.2006	0.3112
47	B4L-2	5.9905	5.9873	5.9880	5.9809	0.1591	0.2109	0.2006	0.3181
48	B4L-3	5.9905	5.9867	5.9884	5.9811	0.1591	0.2213	0.1936	0.3147
49	C1u-1	5.9917	5.9871	5.9871	5.9811	0.1383	0.2144	0.2144	0.3147
50	C1u-2	5.9917	5.9865	5.9867	5.9809	0.1383	0.2248	0.2213	0.3181
51	C1u-3	5.9919	5.9867	5.9867	5.9809	0.1349	0.2213	0.2213	0.3181
52	C1L-1	5.9917	5.9876	5.9876	5.9815	0.1383	0.2075	0.2075	0.3077
53	C1L-2	5.9919	5.9873	5.9873	5.9822	0.1349	0.2109	0.2109	0.2974
54	C1L-3	5.9919	5.9878	5.9878	5.9822	0.1349	0.2040	0.2040	0.2974
55	C2u-1	5.9915	5.9865	5.9865	5.9805	0.1418	0.2248	0.2248	0.3250
56	C2u-2	5.9915	5.9869	5.9869	5.9811	0.1418	0.2178	0.2178	0.3147
57	C2u-3	5.9915	5.9869	5.9869	5.9809	0.1418	0.2178	0.2178	0.3181
58	C2L-1	5.9917	5.9878	5.9878	5.9822	0.1383	0.2040	0.2040	0.2974
59	C2L-2	5.9915	5.9873	5.9878	5.9815	0.1418	0.2109	0.2040	0.3077
60	C2L-3	5.9915	5.9873	5.9873	5.9822	0.1418	0.2109	0.2109	0.2974
61	C3u-1	5.9898	5.9867	5.9867	5.9805	0.1694	0.2213	0.2213	0.3250
62	C3u-2	5.9917	5.9869	5.9863	5.9807	0.1383	0.2178	0.2282	0.3216
63	C3u-3	5.9915	5.9869	5.9863	5.9811	0.1418	0.2178	0.2282	0.3147
64	C3L-1	5.9905	5.9873	5.9880	5.9824	0.1591	0.2109	0.2006	0.2939



ตาราง ก.8 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	5.9909	5.9876	5.9880	5.9817	0.1521	0.2075	0.2006	0.3043
66	C3L-3	5.9911	5.9876	5.9884	5.9815	0.1487	0.2075	0.1936	0.3077
67	C4u-1	5.9917	5.9863	5.9863	5.9809	0.1383	0.2282	0.2282	0.3181
68	C4u-2	5.9915	5.9865	5.9865	5.9809	0.1418	0.2248	0.2248	0.3181
69	C4u-3	5.9911	5.9863	5.9863	5.9803	0.1487	0.2282	0.2282	0.3285
70	C4L-1	5.9917	5.9873	5.9876	5.9826	0.1383	0.2109	0.2075	0.2905
71	C4L-2	5.9919	5.9873	5.9876	5.9822	0.1349	0.2109	0.2075	0.2974
72	C4L-3	5.9919	5.9871	5.9871	5.9822	0.1349	0.2144	0.2144	0.2974
73	D1u-1	5.9915	5.9867	5.9867	5.9809	0.1418	0.2213	0.2213	0.3181
74	D1u-2	5.9917	5.9873	5.9873	5.9805	0.1383	0.2109	0.2109	0.3250
75	D1u-3	5.9915	5.9871	5.9873	5.9807	0.1418	0.2144	0.2109	0.3216
76	D1L-1	5.9919	5.9878	5.9878	5.9822	0.1349	0.2040	0.2040	0.2974
77	D1L-2	5.9919	5.9876	5.9876	5.9830	0.1349	0.2075	0.2075	0.2835
78	D1L-3	5.9919	5.9876	5.9876	5.9824	0.1349	0.2075	0.2075	0.2939
79	D2u-1	5.9917	5.9865	5.9865	5.9803	0.1383	0.2248	0.2248	0.3285
80	D2u-2	5.9911	5.9867	5.9867	5.9805	0.1487	0.2213	0.2213	0.3250
81	D2u-3	5.9909	5.9867	5.9867	5.9803	0.1521	0.2213	0.2213	0.3285
82	D2L-1	5.9917	5.9878	5.9880	5.9809	0.1383	0.2040	0.2006	0.3181
83	D2L-2	5.9907	5.9878	5.9876	5.9822	0.1556	0.2040	0.2075	0.2974
84	D2L-3	5.9911	5.9878	5.9876	5.9824	0.1487	0.2040	0.2075	0.2939
85	D3u-1	5.9919	5.9865	5.9865	5.9809	0.1349	0.2248	0.2248	0.3181
86	D3u-2	5.9913	5.9867	5.9861	5.9805	0.1452	0.2213	0.2317	0.3250
87	D3u-3	5.9909	5.9865	5.9865	5.9805	0.1521	0.2248	0.2248	0.3250
88	D3L-1	5.9917	5.9873	5.9873	5.9822	0.1383	0.2109	0.2109	0.2974
89	D3L-2	5.9919	5.9873	5.9873	5.9822	0.1349	0.2109	0.2109	0.2974
90	D3L-3	5.9919	5.9880	5.9880	5.9828	0.1349	0.2006	0.2006	0.2870
91	D4u-1	5.9911	5.9863	5.9859	5.9809	0.1487	0.2282	0.2351	0.3181
92	D4u-2	5.9913	5.9863	5.9859	5.9797	0.1452	0.2282	0.2351	0.3389
93	D4u-3	5.9913	5.9863	5.9865	5.9811	0.1452	0.2282	0.2248	0.3147
94	D4L-1	5.9919	5.9867	5.9873	5.9828	0.1349	0.2213	0.2109	0.2870
95	D4L-2	5.9923	5.9869	5.9869	5.9824	0.1279	0.2178	0.2178	0.2939
96	D4L-3	5.9917	5.9869	5.9869	5.9824	0.1383	0.2178	0.2178	0.2939



ตาราง ก.9 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือน้อยในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	7.9934	7.9894	7.9876	7.9801	0.0830	0.1323	0.1556	0.2490
2	A1u-2	7.9925	7.9894	7.9876	7.9799	0.0934	0.1323	0.1556	0.2516
3	A1u-3	7.9932	7.9894	7.9884	7.9803	0.0856	0.1323	0.1452	0.2464
4	A1L-1	7.9934	7.9905	7.9892	7.9811	0.0830	0.1193	0.1349	0.2360
5	A1L-2	7.9934	7.9905	7.9888	7.9813	0.0830	0.1193	0.1400	0.2334
6	A1L-3	7.9932	7.9905	7.9888	7.9807	0.0856	0.1193	0.1400	0.2412
7	A2u-1	7.9923	7.9894	7.9867	7.9803	0.0960	0.1323	0.1660	0.2464
8	A2u-2	7.9917	7.9890	7.9873	7.9805	0.1037	0.1374	0.1582	0.2438
9	A2u-3	7.9923	7.9888	7.9873	7.9801	0.0960	0.1400	0.1582	0.2490
10	A2L-1	7.9929	7.9894	7.9884	7.9807	0.0882	0.1323	0.1452	0.2412
11	A2L-2	7.9925	7.9900	7.9886	7.9807	0.0934	0.1245	0.1426	0.2412
12	A2L-3	7.9925	7.9900	7.9886	7.9809	0.0934	0.1245	0.1426	0.2386
13	A3u-1	7.9915	7.9888	7.9871	7.9799	0.1063	0.1400	0.1608	0.2516
14	A3u-2	7.9919	7.9888	7.9871	7.9801	0.1011	0.1400	0.1608	0.2490
15	A3u-3	7.9915	7.9888	7.9876	7.9801	0.1063	0.1400	0.1556	0.2490
16	A3L-1	7.9921	7.9896	7.9873	7.9811	0.0985	0.1297	0.1582	0.2360
17	A3L-2	7.9925	7.9896	7.9880	7.9813	0.0934	0.1297	0.1504	0.2334
18	A3L-3	7.9925	7.9905	7.9880	7.9811	0.0934	0.1193	0.1504	0.2360
19	A4u-1	7.9925	7.9890	7.9863	7.9799	0.0934	0.1374	0.1712	0.2516
20	A4u-2	7.9917	7.9880	7.9865	7.9799	0.1037	0.1504	0.1686	0.2516
21	A4u-3	7.9917	7.9884	7.9871	7.9803	0.1037	0.1452	0.1608	0.2464
22	A4L-1	7.9925	7.9894	7.9876	7.9809	0.0934	0.1323	0.1556	0.2386
23	A4L-2	7.9921	7.9905	7.9884	7.9811	0.0985	0.1193	0.1452	0.2360
24	A4L-3	7.9921	7.9905	7.9884	7.9807	0.0985	0.1193	0.1452	0.2412
25	B1u-1	7.9915	7.9863	7.9867	7.9795	0.1063	0.1712	0.1660	0.2567
26	B1u-2	7.9909	7.9859	7.9873	7.9797	0.1141	0.1763	0.1582	0.2541
27	B1u-3	7.9915	7.9855	7.9873	7.9790	0.1063	0.1815	0.1582	0.2619
28	B1L-1	7.9925	7.9869	7.9888	7.9803	0.0934	0.1634	0.1400	0.2464
29	B1L-2	7.9925	7.9869	7.9882	7.9805	0.0934	0.1634	0.1478	0.2438
30	B1L-3	7.9925	7.9873	7.9882	7.9805	0.0934	0.1582	0.1478	0.2438
31	B2u-1	7.9915	7.9859	7.9871	7.9797	0.1063	0.1763	0.1608	0.2541
32	B2u-2	7.9905	7.9857	7.9871	7.9790	0.1193	0.1789	0.1608	0.2619



ตาราง ก.9 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	7.9905	7.9857	7.9873	7.9788	0.1193	0.1789	0.1582	0.2645
34	B2L-1	7.9917	7.9871	7.9892	7.9807	0.1037	0.1608	0.1349	0.2412
35	B2L-2	7.9917	7.9873	7.9888	7.9801	0.1037	0.1582	0.1400	0.2490
36	B2L-3	7.9925	7.9873	7.9888	7.9805	0.0934	0.1582	0.1400	0.2438
37	B3u-1	7.9915	7.9863	7.9863	7.9793	0.1063	0.1712	0.1712	0.2593
38	B3u-2	7.9900	7.9863	7.9873	7.9795	0.1245	0.1712	0.1582	0.2567
39	B3u-3	7.9915	7.9873	7.9873	7.9795	0.1063	0.1582	0.1582	0.2567
40	B3L-1	7.9921	7.9876	7.9876	7.9807	0.0985	0.1556	0.1556	0.2412
41	B3L-2	7.9915	7.9869	7.9880	7.9809	0.1063	0.1634	0.1504	0.2386
42	B3L-3	7.9915	7.9859	7.9880	7.9809	0.1063	0.1763	0.1504	0.2386
43	B4u-1	7.9909	7.9857	7.9857	7.9790	0.1141	0.1789	0.1789	0.2619
44	B4u-2	7.9909	7.9857	7.9863	7.9790	0.1141	0.1789	0.1712	0.2619
45	B4u-3	7.9905	7.9857	7.9867	7.9795	0.1193	0.1789	0.1660	0.2567
46	B4L-1	7.9915	7.9871	7.9876	7.9801	0.1063	0.1608	0.1556	0.2490
47	B4L-2	7.9917	7.9869	7.9884	7.9799	0.1037	0.1634	0.1452	0.2516
48	B4L-3	7.9917	7.9863	7.9884	7.9803	0.1037	0.1712	0.1452	0.2464
49	C1u-1	7.9915	7.9869	7.9869	7.9799	0.1063	0.1634	0.1634	0.2516
50	C1u-2	7.9907	7.9867	7.9873	7.9801	0.1167	0.1660	0.1582	0.2490
51	C1u-3	7.9907	7.9867	7.9873	7.9801	0.1167	0.1660	0.1582	0.2490
52	C1L-1	7.9917	7.9873	7.9890	7.9809	0.1037	0.1582	0.1374	0.2386
53	C1L-2	7.9925	7.9876	7.9890	7.9813	0.0934	0.1556	0.1374	0.2334
54	C1L-3	7.9925	7.9876	7.9882	7.9805	0.0934	0.1556	0.1478	0.2438
55	C2u-1	7.9932	7.9865	7.9871	7.9801	0.0856	0.1686	0.1608	0.2490
56	C2u-2	7.9917	7.9865	7.9871	7.9797	0.1037	0.1686	0.1608	0.2541
57	C2u-3	7.9921	7.9871	7.9873	7.9801	0.0985	0.1608	0.1582	0.2490
58	C2L-1	7.9925	7.9873	7.9884	7.9805	0.0934	0.1582	0.1452	0.2438
59	C2L-2	7.9925	7.9871	7.9882	7.9807	0.0934	0.1608	0.1478	0.2412
60	C2L-3	7.9917	7.9871	7.9882	7.9807	0.1037	0.1608	0.1478	0.2412
61	C3u-1	7.9909	7.9865	7.9873	7.9795	0.1141	0.1686	0.1582	0.2567
62	C3u-2	7.9909	7.9863	7.9873	7.9799	0.1141	0.1712	0.1582	0.2516
63	C3u-3	7.9905	7.9867	7.9876	7.9801	0.1193	0.1660	0.1556	0.2490
64	C3L-1	7.9917	7.9873	7.9886	7.9809	0.1037	0.1582	0.1426	0.2386



ตาราง ก.9 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	7.9925	7.9873	7.9886	7.9813	0.0934	0.1582	0.1426	0.2334
66	C3L-3	7.9925	7.9873	7.9892	7.9805	0.0934	0.1582	0.1349	0.2438
67	C4u-1	7.9900	7.9859	7.9871	7.9797	0.1245	0.1763	0.1608	0.2541
68	C4u-2	7.9902	7.9863	7.9867	7.9799	0.1219	0.1712	0.1660	0.2516
69	C4u-3	7.9900	7.9863	7.9871	7.9801	0.1245	0.1712	0.1608	0.2490
70	C4L-1	7.9917	7.9876	7.9884	7.9805	0.1037	0.1556	0.1452	0.2438
71	C4L-2	7.9915	7.9878	7.9884	7.9805	0.1063	0.1530	0.1452	0.2438
72	C4L-3	7.9915	7.9878	7.9878	7.9807	0.1063	0.1530	0.1530	0.2412
73	D1u-1	7.9917	7.9865	7.9873	7.9797	0.1037	0.1686	0.1582	0.2541
74	D1u-2	7.9917	7.9869	7.9869	7.9795	0.1037	0.1634	0.1634	0.2567
75	D1u-3	7.9921	7.9867	7.9873	7.9795	0.0985	0.1660	0.1582	0.2567
76	D1L-1	7.9925	7.9873	7.9888	7.9801	0.0934	0.1582	0.1400	0.2490
77	D1L-2	7.9934	7.9873	7.9886	7.9805	0.0830	0.1582	0.1426	0.2438
78	D1L-3	7.9934	7.9871	7.9886	7.9805	0.0830	0.1608	0.1426	0.2438
79	D2u-1	7.9917	7.9863	7.9867	7.9799	0.1037	0.1712	0.1660	0.2516
80	D2u-2	7.9923	7.9869	7.9873	7.9797	0.0960	0.1634	0.1582	0.2541
81	D2u-3	7.9923	7.9869	7.9867	7.9797	0.0960	0.1634	0.1660	0.2541
82	D2L-1	7.9929	7.9876	7.9884	7.9807	0.0882	0.1556	0.1452	0.2412
83	D2L-2	7.9929	7.9880	7.9880	7.9809	0.0882	0.1504	0.1504	0.2386
84	D2L-3	7.9921	7.9873	7.9884	7.9811	0.0985	0.1582	0.1452	0.2360
85	D3u-1	7.9917	7.9865	7.9867	7.9801	0.1037	0.1686	0.1660	0.2490
86	D3u-2	7.9909	7.9863	7.9867	7.9797	0.1141	0.1712	0.1660	0.2541
87	D3u-3	7.9909	7.9863	7.9873	7.9797	0.1141	0.1712	0.1582	0.2541
88	D3L-1	7.9923	7.9871	7.9882	7.9811	0.0960	0.1608	0.1478	0.2360
89	D3L-2	7.9923	7.9869	7.9890	7.9811	0.0960	0.1634	0.1374	0.2360
90	D3L-3	7.9927	7.9869	7.9890	7.9805	0.0908	0.1634	0.1374	0.2438
91	D4u-1	7.9900	7.9863	7.9871	7.9799	0.1245	0.1712	0.1608	0.2516
92	D4u-2	7.9905	7.9861	7.9876	7.9797	0.1193	0.1738	0.1556	0.2541
93	D4u-3	7.9905	7.9869	7.9876	7.9795	0.1193	0.1634	0.1556	0.2567
94	D4L-1	7.9917	7.9873	7.9882	7.9809	0.1037	0.1582	0.1478	0.2386
95	D4L-2	7.9917	7.9876	7.9882	7.9803	0.1037	0.1556	0.1478	0.2464
96	D4L-3	7.9925	7.9878	7.9888	7.9803	0.0934	0.1530	0.1400	0.2464



ตาราง ก.10 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำ
เสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	9.9917	9.9896	9.9884	9.9851	0.0830	0.1037	0.1162	0.1494
2	A1u-2	9.9925	9.9896	9.9884	9.9846	0.0747	0.1037	0.1162	0.1535
3	A1u-3	9.9917	9.9894	9.9888	9.9846	0.0830	0.1058	0.1120	0.1535
4	A1L-1	9.9915	9.9905	9.9894	9.9863	0.0851	0.0954	0.1058	0.1369
5	A1L-2	9.9921	9.9905	9.9894	9.9863	0.0788	0.0954	0.1058	0.1369
6	A1L-3	9.9921	9.9900	9.9898	9.9867	0.0788	0.0996	0.1017	0.1328
7	A2u-1	9.9917	9.9890	9.9880	9.9842	0.0830	0.1100	0.1203	0.1577
8	A2u-2	9.9915	9.9894	9.9882	9.9842	0.0851	0.1058	0.1183	0.1577
9	A2u-3	9.9909	9.9890	9.9882	9.9836	0.0913	0.1100	0.1183	0.1639
10	A2L-1	9.9915	9.9900	9.9894	9.9853	0.0851	0.0996	0.1058	0.1473
11	A2L-2	9.9915	9.9900	9.9892	9.9853	0.0851	0.0996	0.1079	0.1473
12	A2L-3	9.9915	9.9905	9.9894	9.9857	0.0851	0.0954	0.1058	0.1432
13	A3u-1	9.9905	9.9888	9.9878	9.9842	0.0954	0.1120	0.1224	0.1577
14	A3u-2	9.9905	9.9892	9.9882	9.9842	0.0954	0.1079	0.1183	0.1577
15	A3u-3	9.9900	9.9892	9.9882	9.9849	0.0996	0.1079	0.1183	0.1515
16	A3L-1	9.9917	9.9896	9.9890	9.9853	0.0830	0.1037	0.1100	0.1473
17	A3L-2	9.9915	9.9896	9.9890	9.9859	0.0851	0.1037	0.1100	0.1411
18	A3L-3	9.9915	9.9900	9.9892	9.9859	0.0851	0.0996	0.1079	0.1411
19	A4u-1	9.9905	9.9892	9.9880	9.9842	0.0954	0.1079	0.1203	0.1577
20	A4u-2	9.9905	9.9892	9.9884	9.9842	0.0954	0.1079	0.1162	0.1577
21	A4u-3	9.9909	9.9886	9.9880	9.9838	0.0913	0.1141	0.1203	0.1618
22	A4L-1	9.9915	9.9894	9.9888	9.9859	0.0851	0.1058	0.1120	0.1411
23	A4L-2	9.9909	9.9894	9.9890	9.9867	0.0913	0.1058	0.1100	0.1328
24	A4L-3	9.9909	9.9898	9.9890	9.9867	0.0913	0.1017	0.1100	0.1328
25	B1u-1	9.9917	9.9896	9.9878	9.9834	0.0830	0.1037	0.1224	0.1660
26	B1u-2	9.9915	9.9896	9.9884	9.9832	0.0851	0.1037	0.1162	0.1680
27	B1u-3	9.9915	9.9907	9.9884	9.9832	0.0851	0.0934	0.1162	0.1680
28	B1L-1	9.9921	9.9905	9.9890	9.9842	0.0788	0.0954	0.1100	0.1577
29	B1L-2	9.9921	9.9905	9.9894	9.9842	0.0788	0.0954	0.1058	0.1577
30	B1L-3	9.9917	9.9900	9.9894	9.9844	0.0830	0.0996	0.1058	0.1556
31	B2u-1	9.9909	9.9888	9.9876	9.9830	0.0913	0.1120	0.1245	0.1701
32	B2u-2	9.9909	9.9888	9.9880	9.9826	0.0913	0.1120	0.1203	0.1743



ตาราง ก.10 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ใน สารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
33	B2u-3	9.9915	9.9896	9.9880	9.9834	0.0851	0.1037	0.1203	0.1660
34	B2L-1	9.9915	9.9905	9.9888	9.9844	0.0851	0.0954	0.1120	0.1556
35	B2L-2	9.9915	9.9900	9.9892	9.9844	0.0851	0.0996	0.1079	0.1556
36	B2L-3	9.9921	9.9900	9.9892	9.9844	0.0788	0.0996	0.1079	0.1556
37	B3u-1	9.9905	9.9894	9.9878	9.9834	0.0954	0.1058	0.1224	0.1660
38	B3u-2	9.9905	9.9890	9.9876	9.9832	0.0954	0.1100	0.1245	0.1680
39	B3u-3	9.9909	9.9890	9.9876	9.9832	0.0913	0.1100	0.1245	0.1680
40	B3L-1	9.9915	9.9907	9.9894	9.9830	0.0851	0.0934	0.1058	0.1701
41	B3L-2	9.9915	9.9900	9.9886	9.9844	0.0851	0.0996	0.1141	0.1556
42	B3L-3	9.9925	9.9907	9.9886	9.9844	0.0747	0.0934	0.1141	0.1556
43	B4u-1	9.9900	9.9890	9.9876	9.9830	0.0996	0.1100	0.1245	0.1701
44	B4u-2	9.9911	9.9890	9.9878	9.9828	0.0892	0.1100	0.1224	0.1722
45	B4u-3	9.9911	9.9894	9.9878	9.9832	0.0892	0.1058	0.1224	0.1680
46	B4L-1	9.9915	9.9905	9.9886	9.9846	0.0851	0.0954	0.1141	0.1535
47	B4L-2	9.9915	9.9896	9.9886	9.9842	0.0851	0.1037	0.1141	0.1577
48	B4L-3	9.9909	9.9896	9.9888	9.9846	0.0913	0.1037	0.1120	0.1535
49	C1u-1	9.9915	9.9894	9.9882	9.9840	0.0851	0.1058	0.1183	0.1598
50	C1u-2	9.9915	9.9888	9.9880	9.9838	0.0851	0.1120	0.1203	0.1618
51	C1u-3	9.9909	9.9896	9.9882	9.9836	0.0913	0.1037	0.1183	0.1639
52	C1L-1	9.9919	9.9900	9.9886	9.9842	0.0809	0.0996	0.1141	0.1577
53	C1L-2	9.9919	9.9900	9.9892	9.9842	0.0809	0.0996	0.1079	0.1577
54	C1L-3	9.9915	9.9900	9.9892	9.9844	0.0851	0.0996	0.1079	0.1556
55	C2u-1	9.9905	9.9890	9.9878	9.9836	0.0954	0.1100	0.1224	0.1639
56	C2u-2	9.9905	9.9892	9.9880	9.9834	0.0954	0.1079	0.1203	0.1660
57	C2u-3	9.9909	9.9892	9.9878	9.9840	0.0913	0.1079	0.1224	0.1598
58	C2L-1	9.9909	9.9896	9.9888	9.9846	0.0913	0.1037	0.1120	0.1535
59	C2L-2	9.9915	9.9900	9.9886	9.9849	0.0851	0.0996	0.1141	0.1515
60	C2L-3	9.9917	9.9900	9.9888	9.9851	0.0830	0.0996	0.1120	0.1494
61	C3u-1	9.9917	9.9892	9.9876	9.9834	0.0830	0.1079	0.1245	0.1660
62	C3u-2	9.9911	9.9896	9.9880	9.9838	0.0892	0.1037	0.1203	0.1618
63	C3u-3	9.9911	9.9896	9.9880	9.9832	0.0892	0.1037	0.1203	0.1680
64	C3L-1	9.9915	9.9900	9.9890	9.9849	0.0851	0.0996	0.1100	0.1515



ตาราง ก.10 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์(มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
65	C3L-2	9.9925	9.9907	9.9890	9.9846	0.0747	0.0934	0.1100	0.1535
66	C3L-3	9.9925	9.9907	9.9894	9.9846	0.0747	0.0934	0.1058	0.1535
67	C4u-1	9.9909	9.9894	9.9880	9.9828	0.0913	0.1058	0.1203	0.1722
68	C4u-2	9.9909	9.9890	9.9878	9.9832	0.0913	0.1100	0.1224	0.1680
69	C4u-3	9.9905	9.9890	9.9878	9.9828	0.0954	0.1100	0.1224	0.1722
70	C4L-1	9.9915	9.9900	9.9894	9.9846	0.0851	0.0996	0.1058	0.1535
71	C4L-2	9.9921	9.9905	9.9894	9.9849	0.0788	0.0954	0.1058	0.1515
72	C4L-3	9.9915	9.9905	9.9892	9.9832	0.0851	0.0954	0.1079	0.1680
73	D1u-1	9.9915	9.9884	9.9880	9.9838	0.0851	0.1162	0.1203	0.1618
74	D1u-2	9.9915	9.9890	9.9878	9.9840	0.0851	0.1100	0.1224	0.1598
75	D1u-3	9.9905	9.9890	9.9880	9.9840	0.0954	0.1100	0.1203	0.1598
76	D1L-1	9.9917	9.9905	9.9888	9.9849	0.0830	0.0954	0.1120	0.1515
77	D1L-2	9.9925	9.9905	9.9888	9.9849	0.0747	0.0954	0.1120	0.1515
78	D1L-3	9.9925	9.9909	9.9892	9.9849	0.0747	0.0913	0.1079	0.1515
79	D2u-1	9.9909	9.9896	9.9880	9.9838	0.0913	0.1037	0.1203	0.1618
80	D2u-2	9.9909	9.9902	9.9884	9.9834	0.0913	0.0975	0.1162	0.1660
81	D2u-3	9.9915	9.9896	9.9884	9.9838	0.0851	0.1037	0.1162	0.1618
82	D2L-1	9.9921	9.9905	9.9890	9.9849	0.0788	0.0954	0.1100	0.1515
83	D2L-2	9.9909	9.9905	9.9890	9.9853	0.0913	0.0954	0.1100	0.1473
84	D2L-3	9.9921	9.9896	9.9892	9.9846	0.0788	0.1037	0.1079	0.1535
85	D3u-1	9.9909	9.9890	9.9878	9.9836	0.0913	0.1100	0.1224	0.1639
86	D3u-2	9.9913	9.9896	9.9878	9.9838	0.0871	0.1037	0.1224	0.1618
87	D3u-3	9.9913	9.9890	9.9882	9.9834	0.0871	0.1100	0.1183	0.1660
88	D3L-1	9.9907	9.9900	9.9886	9.9842	0.0934	0.0996	0.1141	0.1577
89	D3L-2	9.9919	9.9907	9.9888	9.9849	0.0809	0.0934	0.1120	0.1515
90	D3L-3	9.9915	9.9900	9.9888	9.9849	0.0851	0.0996	0.1120	0.1515
91	D4u-1	9.9902	9.9892	9.9878	9.9790	0.0975	0.1079	0.1224	0.2095
92	D4u-2	9.9907	9.9892	9.9876	9.9826	0.0934	0.1079	0.1245	0.1743
93	D4u-3	9.9907	9.9888	9.9876	9.9826	0.0934	0.1120	0.1245	0.1743
94	D4L-1	9.9915	9.9900	9.9894	9.9849	0.0851	0.0996	0.1058	0.1515
95	D4L-2	9.9915	9.9900	9.9894	9.9849	0.0851	0.0996	0.1058	0.1515
96	D4L-3	9.9909	9.9898	9.9892	9.9846	0.0913	0.1017	0.1079	0.1535



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวเพชรดา สุพล
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2531
จังหวัด และประเทศที่เกิด จังหวัดอำนาจเจริญ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2547 มัธยมตอนต้น โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
พ.ศ. 2550 มัธยมตอนปลาย โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2557 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาชีววิทยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน -
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 8 หมู่ 1 ตำบลนาหมอม้า อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
37000
รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา
ทุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 กองส่งเสริมการวิจัยและบริการ
วิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

