

การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในป่าบุงป่าทาม
จังหวัดมหาสารคาม

ปิยภรณ์ วุฒิเสลา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

พฤศจิกายน 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

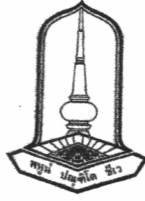


การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในป่าบุงป่าทาม
จังหวัดมหาสารคาม

ปิยภรณ์ วุฒิสเสลา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
พฤศจิกายน 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ นางสาวปิยภรณ์ วุฒิเสลา
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ภัทพวดี ปาสาจะ (ดร.ปัทมาวดี ปาสาจะ)	ประธานกรรมการ (อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
..... (ดร.ปิยนุช คะเนมา)	กรรมการ (ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
..... (ผศ.ดร.มงคล อุดชาชน)	กรรมการ (กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
..... (ดร.รวุตล โกมณเตียร)	กรรมการ (กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์)
..... (รศ.ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น)	กรรมการ (ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....

(ศ.ดร.วิเชียร มากตุ่น)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....

(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ ๒๕ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๒๕๕๗



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนจากกองส่งเสริมการวิจัยและบริการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเภททุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) ประจำปีงบประมาณ 2556 ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ปิยนุช คะณมา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ภูวดล โกมณเทียร กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ปัทมาวดี ปาสาจะ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อุดชาชน กรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น ผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำการทดลอง ตลอดจนบุคลากรและหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

ปิยภรณ์ วุฒิสেলা



ชื่อเรื่อง	การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับตะกั่วในป่าบุ่งป่าทามจังหวัดมหาสารคาม		
ผู้วิจัย	นางสาวปิยภรณ์ วุฒิเสลา		
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	สาขาวิชา	ชีววิทยา
กรรมการควบคุม	อาจารย์ ดร.ปิยนุช คະណະมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล อุดชาชน อาจารย์ ดร.ภูวดล โกมณเฑียร		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2557

บทคัดย่อ

ตะกั่วเป็นโลหะที่อันตรายมากเป็นอันดับสอง จากการจัดอันดับสารเคมีอันตราย (ATSDR) ตะกั่วถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสารเคมีการเกษตรและยาฆ่าแมลงซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคการเกษตร หากมีการปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำ ตะกั่วสามารถถ่ายทอดไปสู่ห่วงโซ่อาหารและมนุษย์ในลำดับต่อไป "ป่าบุ่งป่าทาม" เป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นแหล่งกักเก็บตะกอนและดักกรองสารพิษ พบป่าชนิดนี้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมีน้ำท่วมถึงในฤดูฝนและน้ำแห้งขุดลงในฤดูแล้ง โดยเลือกพื้นที่ศึกษาตามทิศทางการไหลของแม่น้ำชี ได้แก่ ป่าม่วงใหญ่ วนอุทยานโกสัมพี ป่าหนองตีนบ้าน และป่าเกาะแก้ง ซึ่งคาดว่าดินจะมีศักยภาพในการดูดซับโลหะหนักเนื่องจากการสะสมของอินทรีย์วัตถุที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติดินและศักยภาพภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินจากป่าบุ่งป่าทามทั้ง 4 พื้นที่ ทำการทดลองแบบแบตช์ ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ น้ำหนักดิน เวลา ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลาย ค่าพหุคูณไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช และวิเคราะห์ความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ จากการศึกษาผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าป่าม่วงใหญ่และวนอุทยานโกสัมพีสมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วน ป่าหนองตีนบ้านและป่าเกาะแก้งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ค่าปฏิกริยาของดินของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ พบว่าดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มเล็กน้อยถึงปานกลาง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงถึงสูงมาก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบว่ามี การปนเปื้อนน้อยมาก ทำการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ความสามารถของดินในการดูดซับตะกั่วมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อน้ำหนักดินเพิ่มขึ้น (5 กรัม) โดยใช้เวลาที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 30 นาที และความเข้มข้นของตะกั่วสูงสุดที่ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ พบว่า อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ค่าการนำไฟฟ้าและร้อยละดินเหนียว มีความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์มากกว่าปัจจัยอื่นๆ โดยสมการที่สามารถอธิบายการดูดซับได้เหมาะสมที่สุด คือ สมการของแลงเมียร์ โดยดินจากป่าม่วงใหญ่มีปริมาณการดูดซับตะกั่วสูงสุดเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อกรัม มากกว่า ป่าเกาะแก้ง วนอุทยานโกสัมพี และหนองตีนบ้าน โดยมีปริมาณการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 5.90, 5.28 และ 5.21 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ



เมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนรวม ร้อยละดินเหนียว ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเปลี่ยนแปลง จะมีผลต่อการดูดซับตะกั่วของดิน เพราะฉะนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับตะกั่วในดิน และป้องกันการแพร่กระจายตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำได้

คำสำคัญ : ตะกั่ว; การดูดซับ; การทดลองแบบกะ; ตะกั่ว; แลงเมียร์ไอโซเทอม; ฟรอนด์ลิชไอโซเทอม



TITLE Evaluating Soil Adsorption Potential in Lead From Seasonal Flooded Forests, Chi River Basin in Maha Sarakham Province.

AUTHOR Miss Piyaporn Wuttisela

DEGREE Master of Degree **MAJOR** Biology

ADVISORS Piyanut Khanema, Ph.D.
Asst.Prof. Mongkol Udchachol, Ph.D.
Puwadol Gomoltiern, Ph.D.

UNIVERSITY Mahasarakham University **DATE** 2014

ABSTRACT

According to “Agency for Toxic Substances and Disease Registry” ranking, lead is the most second dangerous metal that widely uses in pesticides and insecticides. After contamination in soil and water, lead can be easily and directly transferred to human via a trophic level. “Seasonally Flooded Forest”, a source of biodiversity, is a signature forest in the Northeast of Thailand that allowing flooding in rainy season and draining water in dry season, and by naturally the sediment has a meaning for wastewater treatment as well. Along Chi River flowing through Maha Sarakham Province, there are four seasonally flooded forests, Muang Yai Forest (MY), Kosumpi National Park (KS), Nong Teen Ban Forest (NB), and Kho Kleng Forest (KK), that soils expected to have a potential on heavy metal adsorption because of an enrichment of organic matters. Therefore, the objectives in this study were (i) to measure some physical and chemical soil properties and (ii) to investigate a number of lead adsorption on soil particles collecting from those four forests. Batch experiment was employed emphasizing on the effects of lead adsorbent doses, retention times, and adsorbant concentrations, and calculated Langmuir and Freundlich isotherm for the equilibrium adsorption. Also, multiple linear regressions were carried out for analysis a relationship between soil properties and lead adsorption. From the study, the findings showed that soil texture at MY and KS were loamy, while at NB and KK were sandy loam. Soil pH from all sites was slight to medium acid. Almost soils contained moderate to high organic matters with high to very high cation exchange capacity and low calcium and magnesium exchangeable. All soils were mostly mild to moderate electrical conductivity, very low organic nitrogen, and no available lead detectable. From batch experiment, the results found that the potential of lead adsorption depended on adsorbent doses (5 g) with the optimal time of 30 min and the adsorbant concentration of 2 mg/L. Among soil parameters, organic matter, total nitrogen, conductivity and clay content had more effects to determine lead adsorption. Langmuir model could be explained the



adsorption behavior better than Freundlich model. The maximum lead adsorption per adsorbent could be ranked as MY > KK > KS > NB (5.91, 5.90, 5.28 and 5.21 mg/g, respectively).

As the amount organic matter, total nitrogen, clay, conductivity and cation exchange capacity Influence the adsorption of lead. Therefore, it should have a soil and water conservation are also needed to adsorb lead on soil and prevent the spread of lead into the water.

Key Words : Lead; Adsorption; Batch Experiment; Langmuir isotherm; Freundlich isotherm



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 ป่าบุงป่าทาม	5
2.2 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อม	7
2.3 ดิน	9
2.4 สมบัติดินบางประการ	10
2.5 การดูดซับ (Adsorption)	13
2.6 สมดุลและไอโซเทอมการดูดซับ	15
2.7 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอม	16
2.8 พื้นที่ศึกษา	17
2.9 พื้นที่ศึกษา	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 พื้นที่ศึกษา	22
3.2 การรวบรวมข้อมูล	24
3.3 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย	28
4.1 พื้นที่ศึกษา	28
4.2 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ	28
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน	31
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์	35
4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน	42



	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผล	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติดินทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	61
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	66
ประวัติย่อผู้วิจัย	102



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 1.1	ขั้นตอนดำเนินการศึกษา	4
ตาราง 3.1	การวิเคราะห์สมบัติของดิน	25
ตาราง 4.1	สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ	30
ตาราง 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ในดินป่าม่วงใหญ่	36
ตาราง 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ในดินวนอุทยานโกสัมพี	38
ตาราง 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ในดินป่าหนองตีนบ้าน	39
ตาราง 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ในดินป่าเกาะแก้ง	40
ตาราง 4.6	ค่าไอโซเทอมในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยใช้ดินป่าปุงป่าทาม	46
ตารางภาคผนวก ก1	การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน	62
ตารางภาคผนวก ก2	การจัดกลุ่มขนาดอนุภาคดิน	62
ตารางภาคผนวก ก3	การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน เมื่อวัดที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ และอุณหภูมิ 25°ซ	63
ตารางภาคผนวก ก4	การจัดระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน	63
ตารางภาคผนวก ก5	ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน	63
ตารางภาคผนวก ก6	ระดับอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นมาตรฐาน	64
ตารางภาคผนวก ก7	ระดับปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน	64
ตารางภาคผนวก ก8	ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน	64
ตารางภาคผนวก ก9	ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)	65
ตารางภาคผนวก ข1	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละ การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที	67
ตารางภาคผนวก ข2	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละ การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที	70
ตารางภาคผนวก ข3	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละ การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที	74
ตารางภาคผนวก ข4	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละ การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที	77



ตารางภาคผนวก ข5 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที	81
ตารางภาคผนวก ข6 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที	84
ตารางภาคผนวก ข7 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที	88
ตารางภาคผนวก ข8 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที	91
ตารางภาคผนวก ข9 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที	95
ตารางภาคผนวก ข10 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที	98



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 4.1 ค่าน้ำหนัก ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)	32
ภาพประกอบ 4.2 ระยะเวลาในการปั่นกววน ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)	34
ภาพประกอบ 4.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ ในสารละลาย (ข)	35
ภาพประกอบ 4.4 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของแต่ละพื้นที่ (ก) ป่าม่วงใหญ่ (ข) วนอุทยานโกสัมพี (ค) ป่าเกาะเก็ง (ง) ป่าหนองดินบ้าน	43
ภาพประกอบ 4.5 ไอโซเทอมฟรุณลิชของแต่ละพื้นที่ (ก) ป่าม่วงใหญ่ (ข) วนอุทยานโกสัมพี (ค) ป่าเกาะเก็ง (ง) ป่าหนองดินบ้าน	45
ภาพประกอบภาคผนวก ก1 ตารางสามเหลี่ยมสำหรับสำหรับใช้พิจารณาประเภทเนื้อดิน	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

“ป่าบุงป่าทาม” ถูกนับเป็น “พื้นที่ชุ่มน้ำ” ซึ่งมักจะมีน้ำท่วมเอ่อตามค้ำน้ำหรือแผ่ออกเป็นพื้นที่กว้างมีพืชพรรณหลายชนิดขึ้นปกคลุม ซึ่งถือเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ และมีคุณค่าต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยป่าบุงป่าทามในจังหวัดมหาสารคามถือเป็นแหล่งอุดมสมบูรณ์ของพืชพันธุ์นานาชนิด 20 วงศ์ 37 ชนิด โดยชนิดพันธุ์ไม้ที่พบจำนวนมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ มะเกลือกา (*Diospyros gracilis* Fletcher) ข่อย (*Streblus asper* Lour.) และ คาง (*Albizialebbekoides* (DC.) Benth.) ความหนาแน่นของไม้ต้นของป่าบุงป่าทามทั้งหมดเท่ากับ 2,000 ต้น/เฮกแตร์ พันธุ์ไม้ที่มีอันดับความสำคัญ 5 อันดับแรกคือ ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G.Don) ข่อย เขาวัว (*Oxyceros pauciflora* (Ridl.) Tirveng.) จิกน้ำ (*Barringtonia acutangula* (L.) Gaertn.) และ สะแก (*Combretum quadrangulare* Kurz) ตามลำดับ ป่าบุงป่าทามยังเป็นแนวป้องกันน้ำท่วมเฉียบพลัน เป็นแหล่งกักเก็บตะกอนและดักกรองสารพิษ เนื้อดินของป่าบุงป่าทามบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำชี จังหวัดมหาสารคาม พบว่ามีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (ภูวดล โภภินเทียร, 2555) ซึ่งเรดินเหนียว เป็นองค์ประกอบของดินที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และมีโครงสร้างเป็นแผ่น สามารถดูดซับธาตุอาหารให้แก่พืช ในด้านสิ่งแวดล้อม สมบัติดังกล่าวสามารถดูดซับสารพิษต่างๆ โดยเฉพาะโลหะหนักซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหากมีการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เกิดได้จากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ และกิจกรรมทางการเกษตร ซึ่งจังหวัดมหาสารคามมีการทำการเกษตร โดยประชากรในจังหวัดมีการประกอบอาชีพภาคเกษตรกรรมมากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 84.15 ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินและทรัพยากรในรูปแบบต่างๆ เป็นไปอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยปราศจากการอนุรักษ์และฟื้นฟูให้เหมาะสม ก่อให้เกิดการสะสมของมลสารต่างๆ ได้แก่ โลหะหนัก สารอินทรีย์ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง เป็นต้น ลงสู่พื้นที่ชุ่มน้ำ จากรายงานของ The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) บ่งบอกความเป็นอันตรายของตะกั่วไว้เป็นอันดับ 2 จาก 20 โลหะที่เป็นอันตราย ถึงแม้ว่าจะเป็นอันดับรองจากอาร์เซนิกแต่เมื่อเทียบกับปริมาณการได้รับเข้าสู่ร่างกายแล้ว ตะกั่วปริมาณน้อยกว่าแต่ความเป็นพิษมากกว่า (ATSDR, 2005) จากกรณีปี 2541 พบว่าตะกั่วจากโรงแต่งแร่คลิตี้ปนเปื้อนในลำห้วยบริเวณหมู่บ้านคลิตี้ และในตะกอนธารน้ำในปริมาณสูง ซึ่งตะกั่วที่อยู่ในน้ำและตะกอนธารน้ำสามารถเข้าสู่ร่างกาย (Bio-accumulate) ได้ถึงร้อยละ 70 ทำให้มีเด็ก 0-6 ปีมีพัฒนาการการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ และสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงเป็นพิษ จากสรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคปี พ.ศ. 2546 - 2555 มีผู้ป่วยพิษสารตะกั่ว รวม 260 ราย เฉลี่ยปีละ 26 ราย ซึ่งในปี พ.ศ.2555 มีแนวโน้มการรายงานพิษตะกั่วสูงขึ้น (แสงโสม ศิริพานิช, 2555)

สมบัติดินที่ดินมีเนื้อละเอียด โดยเฉพาะมีร้อยละของอนุภาคดินเหนียวสูงจะมีการดูดซึมและดึงดูดโลหะหนัก อาทิ ตะกั่ว ได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) โดยคุณลักษณะของตะกอนดินที่สำคัญที่มีผลต่อความเป็นพิษของโลหะหนักคือ การมีสารกลุ่มที่สามารถจับ



กับโลหะหนักให้กลายเป็นของแข็งหรือสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่สามารถเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และสัตว์หน้าดินได้ (วรารคณา วิเศษมณี ลี และกาญจนา หริ่มเพ็ง, 2554) โดยงานวิจัยของพรเพ็ญ (2545) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสามชนิด ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมียม และ ตะกั่ว น้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับได้เร็วที่สุด และเกษรา จิตนิยม อัญชลี สุทธิประการ และเอิบ เขียวรีนรมย์ (2555) ได้ทำการศึกษาการดูดซับตะกั่ว สังกะสี ทองแดงและแคดเมียมของสเมกไทต์ โดยใช้ตัวอย่างดินเหนียว พบว่าปริมาณการดูดซับตะกั่วถูกดูดซับสูงสุดเท่ากับร้อยละ 49.56

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือศึกษาสมบัติดินและศักยภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินจากป่าบุงป่าทาม จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินศักยภาพของดินเมื่อกรณีมีการปนเปื้อนโลหะหนักเกิดขึ้นในพื้นที่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสมบัติดินทางเคมีและกายภาพบางประการในดินป่าบุงป่าทามจังหวัดมหาสารคาม

1.2.2 ศึกษาศักยภาพการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าบุงป่าทามจังหวัดมหาสารคาม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การประเมินศักยภาพของดินในการดูดซับโลหะหนักบางชนิดของป่าบุงป่าทามลุ่มแม่น้ำชีที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่นในจังหวัดมหาสารคาม พิจารณาเลือกจากบัญชีรายชื่อพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่น จังหวัดมหาสารคาม โดยได้รับการประกาศจากสำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 – 2556 ได้ทำการตรวจสอบสมบัติดินทางเคมีและกายภาพบางประการ ปริมาณตะกั่วเริ่มต้นที่สกัดได้จากดิน และศักยภาพการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสมบัติดินทางเคมีและกายภาพบางประการในดินป่าบุงป่าทาม จังหวัดมหาสารคาม

1.4.2 ทราบถึงศักยภาพการดูดซับสารละลายตะกั่วในดินป่าบุงป่าทาม จังหวัดมหาสารคาม

1.4.3 ทราบถึงอิทธิพลของลักษณะดินและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก

1.4.4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลศึกษาพื้นฐานในการศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไป



1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ผู้วิจัยได้เริ่มทำการศึกษตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 จนถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังตาราง 1.1



ตาราง 1.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน (พ.ศ. 2555 - เม.ย. 2557)					
	พ.ค.55	มิ.ย. 55	ก.ค.-ก.ย.55	ต.ค.55- ธ.ค.55	ม.ค.56-เม.ย.56	พ.ค.56-เม.ย.57
1. สำรวจพื้นที่และเลือกพื้นที่ศึกษา	←→	→				
2. เก็บตัวอย่างดิน			←→			
3. วิเคราะห์สมบัติดิน			←→	→	→	
4. วิเคราะห์การดูดซับตะกั่วในดินในห้องปฏิบัติการ				←→	→	
5. เขียนสรุปและส่งรายงานวิจัย					←→	→

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ป่าบุงป่าทาม

ประสิทธิ์ (2540) นักวิชาการที่ศึกษาเรื่องป่าบุงป่าทาม ได้ให้ความหมายว่า “พื้นที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ เป็นที่ราบที่น้ำท่วมถึง (Flood Plains) จะถูกน้ำท่วมในฤดูน้ำหลาก สภาพพื้นที่มีลักษณะเป็นที่ลุ่มเป็นที่ดอนสลับกัน ประกอบด้วยแอ่งน้ำ หนองน้ำและร่องน้ำที่เรียกว่ากุดหลุมมากมาย บางแห่งเป็นที่ลุ่มต่ำมีน้ำแช่ขังตลอดปีเรียกว่า บุง ทั้งบริเวณปกคลุมด้วยพืช พันธุ์ไม้หลากหลายชนิดตามระดับของพื้นที่ ส่วนใหญ่เป็นพวกไม้พุ่ม ไม้หนามที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมหรือน้ำแช่ขังได้ดี ทำให้บริเวณที่เป็นพื้นที่ทามและพื้นที่บุงถูกเรียกว่า “ป่าบุงป่าทาม” หรือมักเรียกสั้นๆว่า ป่าทาม บริเวณทามจะได้รับดินตะกอนใหม่ จากการพัดพามาทับถมของสายน้ำ ดินทามจึงเป็นดินที่มีคุณภาพมีความอุดมสมบูรณ์สูง”

คันสนีย์ (2538) ได้ให้ความหมายป่าบุงป่าทามไว้ใกล้เคียงกันว่า “พื้นที่ชุ่มน้ำประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำอยู่ริมฝั่งแม่น้ำ มีน้ำจากแม่น้ำเอ่อล้นทันตลิ่งเจ็งบองแผ่ออกท่วมเป็นบริเวณกว้างในช่วงฤดูฝนหรือน้ำหลากเป็นระยะเวลาหลายเดือนทุกปี มีดินตะกอนที่ไหลพัดพามาจากแม่น้ำทับถมด้วยธาตุอาหาร จึงเป็นถิ่นที่อยู่ของพรรณไม้ ถิ่นที่อยู่อาศัย แพร่ขยายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนานาชนิดที่ปรับตัวดำรงชีวิตอยู่ได้ในนิเวศบุงและทาม”

กล่าวโดยสรุป “ป่าบุงป่าทาม” เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำประเภทหนึ่ง มีลักษณะเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงในฤดูฝนหรือฤดูน้ำหลาก สภาพพื้นที่มีที่สูงที่ต่ำ มีพันธุ์ไม้หลากหลายชนิดที่ทนต่อสภาพน้ำแช่ขังได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์สูงเนื่องจากมีดินตะกอนจากแม่น้ำพัดพามาทุกปี จึงเหมาะเป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งขยายพันธุ์ของพืชและสัตว์ รวมทั้งเป็นแหล่งทำมาหากินของผู้คนในแถบลุ่มน้ำด้วย

2.1.1 ลักษณะทางด้านกายภาพและชีวภาพ

สภาพด้านกายภาพ พื้นที่ป่าบุงป่าทามมีลักษณะที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) ลักษณะดินทั่วไปเป็นดินตะกอนที่เกิดจากการพัดพาของสายน้ำหลากซึ่งเป็นปรากฏการณ์ภูมิฐานแม่น้ำ (Alluvial Plain) สภาพพื้นที่ไม่ได้ราบเรียบสม่ำเสมอ เป็นที่ลุ่มที่ดอนสลับกันไปมีลักษณะภูมิฐานที่สำคัญ คือ บุงและทาม (Flood Plain) เป็นพื้นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ในฤดูฝนที่เกิดช่วงน้ำหลากไหลล้นท่วมฝั่งแม่น้ำ น้ำจะไหลบ่าท่วมพื้นที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำออกเป็นบริเวณกว้าง พื้นที่ส่วนที่ถูกน้ำท่วมเรียกว่า “ทาม” ภายในพื้นที่ทามไม่ได้ราบเรียบสม่ำเสมอ หากมีลักษณะที่เนินที่ลุ่มและมีน้ำแช่ขังตลอดปี เพราะเป็นแอ่งหนองน้ำ บึงหรือกุด พื้นที่ส่วนที่ลุ่มต่ำต่อเนื่องกับแอ่ง ลักษณะต่างๆนี้เรียกว่า “บุง” (Low Flood Plain) ดังนั้นทามจึงหมายถึงที่ราบน้ำท่วมถึงโดยทั่วไป ส่วนบุงเป็นเพียงฐานเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งของทามที่ลาดลุ่มต่ำต่อเนื่องกับแหล่งน้ำหรือทางน้ำ (ประสิทธิ์ คุณรัตน์, 2537)

2.1.1.1 สภาพด้านชีวภาพ

พืชพรรณธรรมชาติที่ปกคลุมบริเวณบุงทาม ส่วนมากเป็นพันธุ์ไม้พุ่ม ไม้ผลัดใบ จึงมีลักษณะเป็นป่าดิบชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ป่าบึงน้ำจืด (Freshwater Swamp Forest) แต่เนื่องจากป่าบุงป่าทามมีวัฏจักรของการเปลี่ยนแปลงด้วยการกระทำของกระบวนการน้ำไหล (Fluvial Process)



หลายวัฏจักรต่อเนื่องตลอดมา ทำให้พื้นที่บางส่วนเป็นเนินดิน คุณดินธรรมชาติ ดอนดินทาม พื้นที่เหล่านี้มีระดับสูง ทำให้พืชพรรณเปลี่ยนเป็นสภาพป่าดิบแล้งและป่าเต็งรังประเภทขาดสะบวง กระจายเป็นหย่อมๆตามเนินดังกล่าว

2.1.1.2 สัตว์ป่าและสัตว์น้ำ

เนื่องจากป่าบุงป่าทามมีสภาพนิเวศที่สลับซับซ้อนจึงเหมาะต่อการเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าน้อยใหญ่เป็นจำนวนมาก แต่ปัจจุบันเหลือเฉพาะสัตว์เล็กๆ เช่น กระต่าย หนู พังพอน กระแต กระแต็น กระรอก ลิ่น ไก่ป่า งู กิ้งก่าละนงชนิดต่างๆ เช่น นกเป็ดน้ำ นกกด นกเขา นกเอี้ยง นกกระแต็น นกกระทา นกคุ้ม นกแซงแซว นกเจ้า นกกระจิบ เป็นต้น และสัตว์จำพวกแมลงอีกมากมาย

สัตว์น้ำ เนื่องจากมีแหล่งน้ำอยู่มากมายในป่าบุงป่าทาม ปลาที่พบ เช่น ปลาหย่อน ปลาค้าว ปลาขบ ปลาสูด ปลาเสือ ปลาขาวโท ปลาอีตุ้ม ปลาบึง ปลาเขียม ปลากุยลามา ปลาตอง ฯลฯ หอยชนิดต่างๆ เช่น หอยโข่ง หอยลาย หอยสบนก หอยกาบ หอยบ่วง หอยดับหนวด หอยจิบจี หอยแบ หอยลายกลม หอยมะแรดแสดแสด สัตว์น้ำอื่นๆ กุ้ง ปู แมงคันโซ่ แมกซิซอน ฯลฯ

2.1.2 การใช้ประโยชน์ป่าบุงป่าทาม

2.1.2.1 ทรัพยากรป่าไม้ (Forest Resources) แม้ว่าป่าบุงป่าทามในปัจจุบันจะถูกคุกคามจากการทำการเกษตรของชุมชนบริเวณ แม่น้ำจันทบุรีไม่เหลือสภาพป่าดั้งเดิมแล้วก็ตาม แต่ยังคงมีพรรณไม้ซึ่งมีคุณค่าทางด้านอาหาร เช่น หน่อไม้ กระโดน หัว หมากแขว (มะกอกน้ำ) มันแขว เห็ดต่างๆ และคุณค่าทางเชื้อเพลิงอย่างไม้हुลิง ฝ้ายน้ำ เหมือดแฮ เสี้ยว ตลอดจนคุณค่าทางวัสดุเครื่องใช้ เช่น กก ฝื่อ เครื่องชุด เครื่องตาปลา และคุณค่าทางสมุนไพร เช่น เหน่าก้านเหลือง เป็นต้น

2.1.2.2 ทรัพยากรพืชและสัตว์ป่า (Wildlife Resources) ในป่าบุงป่าทามมีพืชพรรณนานาชนิดทั้งพืชไม้ยืนต้นที่ให้ผลเป็นอาหาร พืชไม้พุ่มที่ทนต่อการแข่งขันและแตกกอรวดเร็วที่ให้คุณค่าทางเชื้อเพลิง อาหารสัตว์และสมุนไพร ตลอดจนพืชน้ำที่ขึ้นอยู่หนาแน่นตามแหล่งน้ำในทาม เช่น ผักกระเฉด ดอกบัว กระจับ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาศัยเพาะพันธุ์และหลบภัยของสัตว์หลายชนิด ตั้งแต่ไก่ป่า กระต่าย นก หนู กบ เขียด อึ่ง หอยโข่ง หอยขม งู และแมลงนานาชนิด ซึ่งถือเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญของท้องถิ่น

2.1.2.3 ทรัพยากรประมง (Fishery Resources) ป่าบุงป่าทามเป็นแหล่งแร่ธาตุที่อุดมสมบูรณ์ เป็นแหล่งหากินวางไข่และเลี้ยงลูกอ่อนของปลาจำนวนมากโดยในพื้นที่บุงทามนั้นมีแหล่งน้ำมากมายทั้งกุด หนอง บึงฮอง ซึ่งชาวบ้านได้อาศัยจับปลาและสัตว์น้ำได้ตลอดปี

2.1.2.4 ทรัพยากรพืชที่เป็นอาหารสัตว์ (Forage Resources) นอกจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่บุงทามจะเอื้อต่อการเป็นแหล่งทำเลเลี้ยง สัตว์แล้ว พืชพันธุ์ในป่าทามที่นอกจากหญ้าหลากหลายชนิดแล้วยังมีพืชหลายชนิดที่เป็น อาหารของวัวควายอีกด้วย เช่น ผักกาดฮอ ผักเฟื่อน้ำ ใบคางฮูง ใบคำพี้ เครื่องจี้จ้อ เป็นต้น เราจึงพบว่าชาวบ้านในชุมชนบริเวณรอบป่าทามจะเลี้ยงวัวควายฝูงใหญ่เป็นอีกอาชีพหนึ่งตั้งแต่อดีตนานมาแล้ว

2.1.2.5 ทรัพยากรการเกษตร (Agricultural Resources) ชุมชนรอบบริเวณป่าบุงป่าทามจะอาศัยพื้นที่ในทามทำการเกษตรมาแต่อดีตดังได้กล่าวมาแล้ว โดยมีการจัดการอย่างเหมาะสม มีการสับเปลี่ยนพื้นที่และพืชที่ปลูกเพื่อให้พื้นที่ได้ฟื้นตัวตามธรรมชาติ เนื่องจากดินในทามเป็นดินตะกอนที่มีธาตุอาหารที่ถูกพัดพามากับสายน้ำหลาก ทำให้การเกษตรของชาวบ้านไม่ต้องอาศัยสารเคมี ซึ่งหากได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมแล้วจะอำนวยประโยชน์แก่ชุมชนได้อย่างยั่งยืนและมั่นคง



2.2 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึงแร่ธาตุชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือเป็นธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 โดยทั่วไปโลหะหนักเหล่านี้ จะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เมื่อแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และพืช ก็จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และเป็นอันตรายได้ โดยจะพบอยู่ในเนื้อเยื่อเป็นส่วนใหญ่ โลหะหนักบางชนิดถ้ามีในปริมาณที่น้อยจะก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น แมงกานีส และสังกะสีเป็นประโยชน์ต่อพืช โครเมียมและนิกเกิลเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ ส่วนแคดเมียม ตะกั่วและปรอทไม่แสดงความเป็นประโยชน์ทั้งในพืชและในสัตว์ โลหะหนักจะอยู่ในสารละลายดินและถูกดูดซับบริเวณผิวหน้าของแข็ง ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมปริมาณของโลหะหนักในสารละลายดินและป้องกันการปนเปื้อนของโลหะหนักออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โลหะหนักเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะหากปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหากได้รับในปริมาณมาก หรือบางชนิดสามารถเป็นพิษได้แม้ได้รับในปริมาณเล็กน้อย

กรมควบคุมมลพิษ (2547) ได้ประกาศมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้เพื่ออยู่อาศัยและการเกษตรกรรมโดยได้กำหนดให้โลหะหนักประเภท สารหนู (Arsenic) แคดเมียมและสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and compounds) ตะกั่ว (Lead) ปรอทและสารประกอบปรอท (Mercury and compounds) ต้องมีค่ามาตรฐานในดินไม่เกิน 3.9, 37, 400 และ 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides) ประเภทอะทราซีน (Atrazine) คลอเดน (Chlordane) 2,4-ดี (2,4-D) ดีดีที (DDT) ดิลดริน (Dieldrin) มีค่ามาตรฐานในดินไม่เกิน 22, 16, 690, 17 และ 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

2.2.1 การปนเปื้อนของโลหะหนัก

การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินอันเป็นผลที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดของโลหะหนักได้เป็น 3 แหล่งใหญ่ๆ ดังนี้ (Alloway, 1995)

2.2.1.1 แหล่งอุตสาหกรรม จากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ หรือการกองขยะของเสียบนดิน โรงงานบางประเภทนำโลหะหนักมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต โลหะหนักเหล่านี้มักถูกถ่ายเทลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินโดยการชะละลายจากผิวหน้าดิน ลงสู่ด้านล่างซึ่งเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน

2.2.1.2 แหล่งเกษตรกรรม จากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชบางชนิดมีส่วนผสมของโลหะหนัก

2.2.1.3 แหล่งชุมชน จากการทิ้งขยะมูลฝอยที่มีส่วนผสมของโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ สารเหล่านี้จะสะสมและถูกถ่ายเทลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีปริมาณมากขึ้น และสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์สะสมในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นการเสี่ยงต่อการสะสมอยู่ในมนุษย์ผู้ที่เป็นผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

2.2.2 ตะกั่ว

2.2.2.1 ลักษณะของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีสีเงินแกมฟ้า ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติ โดยปกติมักพบตะกั่วปะปนอยู่กับกำมะถัน ซึ่งก่อนที่จะนำตะกั่วมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม จำเป็นต้องแยกโลหะทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันเสียก่อน โดยการเผาด้วยความร้อนสูงแล้วจึงพ่นอากาศเข้าไป ออกซิเจนในอากาศจะ



ทำปฏิกิริยากับตะกั่วและกำมะถัน เกิดเป็นตะกั่วออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้ในการผลิตกรดกำมะถัน สำหรับตะกั่วออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ และหากนำตะกั่วออกไซด์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการดูดซับออกซิเจน จะได้ตะกั่วบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้เช่นกัน

2.2.2.2 แหล่งกำเนิดตะกั่ว

ตะกั่วเป็นธาตุที่มีการกระจายทั่วไปในธรรมชาติ ที่เปลือกโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ถึง 15 ส่วนในล้านส่วน (part per million ; ppm) แต่ปรากฏเป็นธาตุอิสระน้อยมาก ตะกั่วที่พบในเปลือกโลกจึงอยู่ในรูปสารประกอบเป็นสินแร่ต่างๆ เช่น galena (PbS) cerussite (PbCO₃) anglesite (PbSO₄) minium (Pb₃O₄) wulfenite (PbMnO₄) และ crocote (PbCrO₄) เป็นต้น หรือพบตะกั่วรวมอยู่กับโลหะอื่นๆ เช่น ทองแดง สังกะสี เงิน และแคดเมียม ตะกั่วในธรรมชาติมีแหล่งกำเนิดมาจากหินประเภทต่างๆเช่น หินอัคนี หินชั้น และหินแปร เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบตะกั่วในดิน พืช น้ำ อากาศ โดยในดินมีปริมาณตะกั่วตั้งแต่ 1.5 ถึง 189 ส่วนในล้านส่วน สำหรับในพืชมีปริมาณตะกั่วประมาณ 0.5 ถึง 3 ส่วนในล้านส่วน ในน้ำประมาณ 13.1 ส่วนในพันล้านส่วน (part per billion ; ppb) ในอากาศประมาณ 36 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.2.2.3 การนำมาใช้ประโยชน์

ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ ใน 2 รูปแบบ คือ ในรูปของโลหะ โดยใช้ทำขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ทำสายเคเบิล และในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น เป็นสารผสมเพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ทำเม็ดสี ทำพลาสติก เป็นต้น นอกจากนี้ตะกั่วยังถูกนำมาใช้ในปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตและปราบศัตรูพืช และนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆไป เช่น ทำโลหะผสมทองแดง ทองบรอนด์ ฟิล์ม ลูกรัง หมึกพิมพ์ เครื่องเคลือบ สีทาบ้าน เป็นต้น

2.2.2.4 การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้จากธรรมชาติ โดยการพังทลายของเปลือกโลกและการเกิดภูเขาไฟ และจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์ ทำให้เกิดไอที่มีสารประกอบตะกั่วสู่บรรยากาศแล้วเกิดการสะสมในดิน และในน้ำ การทิ้งกากตะกอนของน้ำเสีย มูลสัตว์ การใช้ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ และขยะมูลฝอยลงสู่ดิน ทำให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่วลงสู่ดิน และแหล่งน้ำ นอกจากนี้การใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การทำเหมืองและการถลุงแร่ การทำแบตเตอรี่ ทำให้เกิดฝุ่น ควันทัน และน้ำเสียที่มีตะกั่วปะปนอยู่ สิ่งเหล่านี้เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมย่อมทำให้เกิดการปนเปื้อน และสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการทำการเกษตรในเมืองและชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่น และบริเวณใกล้เคียงโรงงานอุตสาหกรรม

2.2.3 ปัญหาตะกั่วในแหล่งน้ำ

การปนเปื้อนของสารตะกั่วในแหล่งน้ำมีสาเหตุมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันและโลหะหนัก กระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้โลหะหนักเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และเหมืองแร่ต่างๆ ตัวอย่างสถานการณ์ในการปนเปื้อนของสารตะกั่วที่สำคัญของแหล่งน้ำในประเทศไทย กรณีเหมืองแร่ดีบุกในบริเวณอำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา ได้ปล่อยสารตะกั่วลงสู่แม่น้ำปัตตานี ก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี และส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ปริมาณ



สารตะกั่วในแม่น้ำปัตตานี ตรวจพบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 และในปี พ.ศ. 2536 พบปริมาณตะกั่วในตะกอนดินสูงถึง 3,333 ไมโครต่อกรัม ของตะกอนดินบริเวณลำน้ำสาขาที่ไหลผ่านเหมืองแร่ดีบุกในเขตบ้านถ้ำทะเล อำเภอบันนังสตา จังหวัดยะลา ส่วนในปี พ.ศ. 2537 พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงในสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารและในสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่บริเวณอ่าวปัตตานี (คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2539) และในช่วงปี พ.ศ. 2539-2540 พบปริมาณตะกั่วในน้ำในแม่น้ำปัตตานีสูงเกินค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร) และจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากต้นน้ำห้วยถ้ำทะเลถึงปากน้ำแม่น้ำปัตตานีในช่วงปี พ.ศ. 2540-2544 พบว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำของห้วยถ้ำทะเลจะสูงเกินมาตรฐานน้ำผิวดินในช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่เหมืองแร่เก่า และลดลงเมื่อแม่น้ำปัตตานีไหลผ่านอำเภอบันนังสตา และกลับสูงขึ้นอีกเมื่อเข้าสู่ปากน้ำปัตตานีซึ่งมีตะกั่วปนเปื้อนจากกิจกรรมอื่นๆ เช่น อู่ซ่อม/ต่อเรือ ฯลฯ (รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2544)

2.3 ดิน

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้สมบัติของดินมีความหลากหลายแตกต่างกันตามปัจจัยการกำเนิดดิน ซึ่งได้นำมาใช้ในการจำแนกดินออกเป็นชุดดินต่างๆ เมื่อมีการจัดการดินเพื่อการเพาะปลูกในลักษณะที่ต่างกันก็อาจทำให้สมบัติของดินบางประการมีการแปรปรวนได้ง่าย ได้แก่ สมบัติทางเคมีของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณธาตุอาหารพืชลดลง สมบัติทางกายภาพเกิดการแน่นทึบของดิน ทำให้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (ชูจิตต์ สงวนทรัพยากร, 2552)

นอกจากนี้ดินยังสามารถที่จะรองรับโลหะหนักและสารพิษต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้ จากการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์แล้ว ปล่อยิ่งลงสู่ดิน ดินมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับสารต่างๆ ได้เนื่องจากดินมีอนุภาคของสารคอลลอยด์ทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ ประกอบกับการที่ดินมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ดินมีองค์ประกอบของอนุภาคทั้งบวกและลบ จึงทำให้ดินสามารถที่จะดูดซับ ยึดเกาะโลหะหนัก สารเคมีอินทรีย์ สารเคมีอนินทรีย์ต่างๆ ไว้ได้ ทั้งนี้ความสามารถของดินในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพของความเป็นกรด – ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดิน รูปทางเคมีของโลหะหนักและของสารเคมีอินทรีย์ สารเคมีอนินทรีย์ อุณหภูมิ สภาพการระบายน้ำและลักษณะของเนื้อดินในการดูดซับโลหะหนักและสารพิษของดิน จะส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินด้วย จุลินทรีย์ในดินจะสร้างกระบวนการในการต่อต้านพิษ รวมทั้งสร้างกระบวนการในการลดความเป็นพิษของโลหะหนักและสารพิษได้ด้วย การสะสมโลหะหนักในดินส่วนหนึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น จากการชะละลายของพวกเกลือแร่ที่มีอยู่บนแผ่นดินโดยน้ำฝนหรือที่เป็นส่วนประกอบของแร่ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ องค์ประกอบในดินที่มีส่วนสำคัญในการสะสมโลหะหนักในดิน เช่น ขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (แร่ดินเหนียว) และอนุภาคของสารอินทรีย์ จะมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณสูง



2.4 สมบัติดินบางประการ

Adhikari และ Singh (2003) และ Vega *et al.* (2009) กล่าวว่า สมบัติของดินที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดิน ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน นอกจากนี้ลักษณะเนื้อดินยังมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินอีกด้วย

2.4.1 เนื้อดิน

เนื้อดิน (Soil Texture) เป็นคุณสมบัติของดินที่เกิดจากสมบัติโดยรวมของอนุภาคทราย (Sand) ซิลต์ (Silt) และดินเหนียว (Clay) ซึ่งแสดงถึงความหยาบความละเอียดของดิน ถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดทรายมากจะจัดเป็นดินประเภทเนื้อหยาบ (Coarse Texture Class) แต่ถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวมากจะเป็นประเภทเนื้อละเอียด (Fine Textural Class) และถ้าดินมีปริมาณกลุ่มขนาดดินเหนียวกับปริมาณกลุ่มขนาดทรายในสัดส่วนที่ไม่แสดงสมบัติเด่นชัดไปทางทรายหรือดินเหนียวจะจัดเป็นประเภทเนื้อปานกลาง (Medium Textural Class) การแบ่งประเภทของเนื้อดินจะใช้พิจารณาจากปริมาณ ทราย ซิลต์ และดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบของดินผง (Fine Earth) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคไม่เกิน 2 มิลลิเมตร การระบุลักษณะเนื้อดินมาธจำแนกได้จากสามเหลี่ยมสำหรับการจำแนกดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา สามารถแบ่งประเภทของดินโดยแบ่งตามลักษณะของเนื้อดินได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.4.1.1 ดินเหนียว หมายถึง ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดินเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร เป็นพวกเนื้อดินละเอียดและมีการจับตัวกันอย่างหนาแน่น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย จึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มาก แต่การระบายถ่ายเทอากาศไม่สะดวก

2.4.1.2 ดินร่วน หมายถึง ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ตั้งแต่ 0.002 - 0.05 มิลลิเมตร ดินชนิดนี้จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมาก ทำให้น้ำซึมได้สะดวก แต่การอุ้มน้ำน้อยกว่าดินเหนียว

2.4.1.3 ดินทราย หมายถึง ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ตั้งแต่ 0.05 - 2.0 มิลลิเมตร เนื้อดินมีลักษณะหยาบ เม็ดดินไม่เกาะตัวกัน ทำให้การระบายน้ำได้เร็วมาก จึงไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้

การศึกษาเนื้อดินจะช่วยบ่งบอกให้ทราบถึง

1) เนื้อดินเป็นตัวการในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cec : Cation Exchange Capacity) ซึ่งแสดงว่าดินนั้น มีความจุในการดูดซับหรือแลกเปลี่ยนธาตุอาหารได้มากหรือน้อย เช่น ดินที่มี ร้อยละดินเหนียวสูงจะมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูงกว่าดินที่มีร้อยละดินเหนียวต่ำ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับประจุบวกหรือแร่ธาตุอาหารต่างๆ ได้มากกว่า

2) ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด

3) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินดินเนื้อหยาบจะมีความต้านทานน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

4) สภาพการถ่ายเทอากาศในดิน เช่น ดินทรายจะมีการถ่ายเทอากาศในดินดีกว่าดินเหนียว



5) ปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ดินทรายจะมีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าดินเหนียวและดินร่วน

2.4.2 ปฏิกริยาดิน

ปฏิกริยาดิน คือระดับชั้นสภาพกรด หรือด่างของดิน ซึ่งแสดงด้วยค่า ปฏิกริยาของดิน ซึ่งมีช่วงตั้งแต่ 0 - 14 สภาพเป็นกรดมีค่า ปฏิกริยาน้อยกว่า 7 ลงมา ส่วนสภาพเป็นด่างจะมีค่า ปฏิกริยามากกว่า 7 ขึ้นไป หรือถ้าเป็นกลาง ไม่เป็นกรด ไม่เป็นด่าง ค่า ปฏิกริยาจะอยู่ประมาณ 7 ค่า ปฏิกริยาของดินเป็นดัชนีบ่งชี้ลักษณะทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมการแตกตัวของสารประกอบต่าง ๆ ในดิน และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดิน โดยเมื่อปฏิกริยาของดินเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะทำให้ระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในดินเปลี่ยนแปลงไป โดยธาตุอาหารเหล่านั้นจะละลายออกมาจากดินได้น้อยลง ทำให้พืชขาดธาตุอาหารนั้นๆ ปฏิกริยาของดิน ยังมีผลต่อการแตกตัวของสารมลพิษในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินจะเกิดได้ดีเมื่อดินมีปฏิกริยาเป็นกลาง (ปฏิกริยา 6-8) เมื่อปฏิกริยามีค่าต่ำกว่า 5.5 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะลดลง ขณะที่เชื้อรายังสามารถทนได้ เป็นต้น

ค่าปฏิกริยาดินมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักของดิน โดยจากผลการศึกษาของ Elzahabi และ Yong (2001), Adhikari และ Singh (2003) และ Dong *et al.* (2008) ซึ่งได้ศึกษาถึงผลของปฏิกริยาดินต่อการดูดซับโลหะหนักของดิน พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินเพิ่มขึ้นตามค่าปฏิกริยาดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าปฏิกริยาดินยังมีผลต่อการตกตะกอนของโลหะหนัก โดยถ้าสารละลายมีค่าปฏิกริยาดิน > 9 จะทำให้แคดเมียมตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ และถ้า $7-8 < \text{ปฏิกริยาดิน} < 11-13$ จะทำให้ตะกั่วตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ (Faust and Aly, 1987) สาเหตุที่ค่าปฏิกริยาดินมีผลต่อความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดิน อาจมาจากค่าปฏิกริยาดินมีผลต่อกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและกระบวนการรับและการปลดปล่อย H^+ โดยการแตกตัวของอิออนเมื่อสารละลายดินมีสภาพเป็นกรด (ค่าปฏิกริยาดินต่ำ) ส่งผลให้เกิด H^+ บนพื้นผิวอนุภาคดินเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น และเมื่อสารละลายมีค่าปฏิกริยาดินเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ OH^- บนพื้นผิวอนุภาคดินเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนประจุลบบนพื้นผิวอนุภาคดินเพิ่มขึ้นเมื่อค่าปฏิกริยาดินเพิ่มขึ้น (Bradl, 2004) และจากการศึกษาของ Apple และ Lena (2002) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นโลหะหนักในสารละลาย ปฏิกริยา และประจุบนผิวของอนุภาคดินที่มีผลต่อการดูดซับของตะกั่วและแคดเมียมในดินเขตร้อน โดยศึกษาในออกซิซอลส์ มอลลิซอลส์ และอัลทิซอลส์ พบว่าการดูดซับโลหะหนักสูงสุดจะอยู่ในออกซิซอลส์และอัลทิซอลส์ ซึ่งการดูดซับดังกล่าวตอบสนองต่อลักษณะของแร่ที่เป็นองค์ประกอบและค่าปฏิกริยาที่เปลี่ยนไป โดยดินทั้งสองอันดับมีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแร่ดังกล่าวมีลักษณะประจุที่เกิดขึ้นจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปฏิกริยา ทำให้การดูดซับที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นเมื่อปฏิกริยาเพิ่มขึ้น (Naidu *et al.*, 1998; Puls *et al.*, 1991; Yong and Phadungchewit, 1993)

นอกจากค่าปฏิกริยาของสารละลายจะมีผลต่อประจุของไอออนของโลหะแล้ว ยังส่งผลต่อประจุที่ผิวของอนุภาคดูดซับด้วย (pH Dependent Charge) ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัวของไอออน (Ionization) ของหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของอินทรีย์วัตถุ และอนินทรีย์วัตถุในดิน (Li *et al.*, 2010)



2.4.3 การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุ (Soil Organic Matter) หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน มีความสำคัญต่อกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยอินทรีย์วัตถุจะเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารแก่พืช ที่สำคัญคือ ไนโตรเจน ช่วยดูดยึดธาตุอาหารไม่ให้สูญเสียไปจากดินกับการชะล้าง ทำให้ดินเกาะกันเป็นเม็ดดิน ดินร่วนโปร่ง ระบายอากาศและน้ำดี เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในดินที่ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

2.4.3.1 สมบัติโดยทั่วไปและบทบาทของอินทรีย์วัตถุในดิน

1) สี อินทรีย์วัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงก็มักมีสีคล้ำ สีที่เข้มขึ้นนี้อาจไปมีส่วนทำให้อุณหภูมิของดินโดยรวมสูงขึ้น เนื่องจากดินสีคล้ำดูดกลืน (Absorb) รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินสีจาง

2) การดูดซับน้ำ อินทรีย์วัตถุในดิน มีความสามารถในการซับน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ อนุภาคของอินทรีย์วัตถุ ยังประกอบกันเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีช่องขนาดเล็กที่ดูดซับน้ำได้อยู่มาก การใส่อินทรีย์วัตถุลงในดิน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินทราย หรือดินเนื้อหยาบ

3) การเป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน อินทรีย์วัตถุในดิน เป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพสูงในการยึดเกาะหรือรวมตัวกับอนุภาคต่างๆ โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียวหรือเซลล์จุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี

4) ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน อินทรีย์วัตถุมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้สูงมาก โดยจะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆ ตั้งแต่ 2-30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของแคตไอออนที่ดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุในดินจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 30-90 ของปริมาณที่ดินดูดซับได้ทั้งหมด ซึ่งความสามารถในการดูดซับ มาจากประจุลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของอินทรีย์วัตถุ

5) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดิน อินทรีย์วัตถุในดินที่มีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาของดินได้ดี

6) แหล่งธาตุอาหารพืชและแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน อินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ อีก โดยเฉพาะ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) ซึ่งจัดว่าอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญมากของธาตุเหล่านี้

2.4.4 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC) เป็นค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือในน้ำ การวัดค่าการนำไฟฟ้าจึงทำให้ประมาณค่าเกลือละลายในน้ำที่สกัดออกมามาจากดินได้ ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีของความเค็มที่บอกได้ว่าพืชจะเจริญเติบโตเป็นปกติหรือไม่ มีหน่วยการวัดเป็นมิลลิโฮล์มต่อเซนติเมตรและไมโครโฮล์มต่อเซนติเมตร โดยคิดเทียบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



2.4.5 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity: CEC) หรือ คอลลอยด์ดิน คือปริมาณแคทไอออนทั้งหมดที่ดินหรือคอลลอยด์นั้นสามารถจะดูดซับไว้ได้ โดยรายงานเป็น มิลลิอีควิวาเลนซ์ต่อร้อยละของดิน ดินที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูง จะแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากดินจะสามารถดูดซับธาตุอาหารต่างๆไว้ได้ดี ไม่ถูกชะล้างไปได้โดยง่าย และยังสามารถเก็บรักษาธาตุอาหารไว้ใช้ได้เป็นเวลานานอีกด้วย

สมบัติดินที่สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุดคือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณประจุบวกทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ที่อนุภาคผิวดิน โดยจากการศึกษาของ ปันณวัฒน์ (2545) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียด้วยดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว พบว่า ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงด้วย ซึ่งระดับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ได้รับอิทธิพลจากสมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ดังนั้นดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงย่อมมีความสามารถในการดูดซับโลหะสูงด้วย

2.5 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสารมาสะสมที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิว โดยให้สารละลายที่มีตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ไหลสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลาย จะมีความสามารถในการกระจายที่ผิว และเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง พื้นผิว และ รูปร่างของตัวดูดซับ ประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย และ ความชอบของตัวถูกละลาย ที่มีต่อตัวดูดซับ การดูดซับ (Adsorption) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Scheele, (1773) ซึ่งเป็นการดูดซับของก๊าซ และต่อมา Lowitz, (1785) ได้ค้นพบการดูดซับของสารละลาย การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือก๊าซมาเกาะติดบนพื้นผิว การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของกระบวนการทางกายภาพชีวภาพ และเคมี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว หรือระหว่างพื้นผิว (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของ 2 วัสดุ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่าสารดูดซับ (Adsorbent) การดูดซับบนของแข็งโดยเฉพาะอย่างยิ่งบนถ่านกัมมันต์ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดื่มและน้ำเสีย กระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorptions)

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) ซึ่งการดูดซับทางกายภาพที่เกิดขึ้นมีผลมาจากความแตกต่างของพลังงานและ/หรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (แรงวันเดอร์วาลส์) ซึ่งมีค่าน้อย โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกยึดติดแบบกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นแบบหลายชั้น (Multilayers) แต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับก่อนหน้านั้น โดยจำนวนของชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับหรือตัวถูกละลาย จำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้น



ตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การดูดซับแบบกายภาพโดยทั่วไปจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำซึ่งการดูดซับมีพลังงานต่ำ การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับถ้าแรงดึงดูดมีค่าน้อยการหลุดของสารถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย

2) การดูดซับทางเคมี (Chemisorptions) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับแบบกายภาพ กระบวนการนี้ จะมีความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้เอง เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะเกิดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง

2.5.1 ประเภทสารดูดซับ

Kenneth และคณะ (1992) ได้รวบรวมสารดูดซับที่มีอำนาจดูดซับสารต่างๆ มาติดผิวไว้หลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.5.1.1 ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอ็คติเวตเต็ดซิลิกา สารธรรมชาติเหล่านี้มักมีพื้นที่ผิวประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่การสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือ มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีจำกัดมาก

2.5.1.2 ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600 - 1000 ตารางเมตรต่อกรัม

2.5.1.3 ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ สารเรซินมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 - 500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.5.2 กลไกการดูดซับ

Kenneth และคณะ (1992) ได้อธิบายการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายในระหว่างเกิดการดูดซับไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

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

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

2.5.2.3 ปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface Reaction) ปฏิกิริยาที่พื้นผิวเป็นกลไกซึ่งโมเลกุลของตัวถูกละลายถูกดูดซับที่ผิวของสารดูดซับ ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแพร่

2.5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

Faust และ Aly (1987) ได้กล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับไว้สามารถนำมาสรุปได้ดังต่อไปนี้



2.5.3.1 ความดันป้อน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film Diffusion และ Pore Diffusion ซึ่งแล้วแต่ความดันป้อนของระบบถ้ามีความดันป้อนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนาแน่นมากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้ามีความดันป้อนสูงทำให้ Pore Diffusion เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.5.3.2 ขนาดของสารดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสารดูดซับ การลดขนาดของสารดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารดูดซับที่มีขนาดใหญ่

2.5.3.3 พื้นที่ผิวของสารดูดซับ พื้นที่ผิวของสารดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ยกเว้นในกรณีที่มีโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับมีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของสารดูดซับ

2.5.3.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับโมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนได้จะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นสารที่ยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวสารดูดซับได้ดี

2.5.3.5 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของสารดูดซับ

2.5.3.6 ค่าปฏิกิริยา ค่าปฏิกิริยาของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากค่าปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับมาก

2.5.3.7 อุณหภูมิ ในกรณีการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิ ลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้า อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อน ช่วยทำให้ความหนาของฟิล์มน้ำลดลงการเคลื่อนย้ายสารถูกดูดซับจากสารละลายภายนอก (Bulk Solution) เคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็วขึ้น

2.6 สมดุลและไอโซเทอมการดูดซับ

การดูดซับเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้คือ สารถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ไปเกาะติดและสะสมบนผิวตัวดูดซับแล้วสารถูกดูดซับนั้นสามารถเคลื่อนที่กลับออกจากผิวตัวดูดซับได้ เมื่อระบบดูดซับเข้าสู่สมดุลดูดซับแล้วสารถูกดูดซับยังคงเคลื่อนไปติดบนผิวตัวดูดซับและเคลื่อนที่ออกจากผิวตัวดูดซับอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราการเคลื่อนไปเกาะติดผิวตัวดูดซับเดียวกับอัตราการเคลื่อนออกจากผิวตัวดูดซับนั้น การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย (Liquid-Solid Adsorption) จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินไปเรื่อยๆจะมีการคายการดูดซับ (Desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆกัน จนในที่สุดจำนวนอนุภาคที่ถูกดูดซับกับที่คายออกมามีปริมาณเท่ากันผลที่เกิดตามมาคือ อัตราการดูดซับและอัตราการคายจะเท่ากัน หรือระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับ ความเข้มข้นของอนุภาคถูกดูดซับบนผิวของแข็งจะไม่เปลี่ยนแปลง ตำแหน่งที่เกิดการดูดซับหนึ่งๆ จะ



เป็นสมบัติของระบบนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวถูกละลาย อนุภาคดูดซับ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ และความแตกต่างของระบบ ปริมาณการดูดซับที่สมดุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเข้มข้นของอนุภาคที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอโซเทอมของการดูดซับ เป็นตัวแทนในการอธิบายสมดุลที่เกิดขึ้น (Naidu et al., 1998; Sposito, 2008)

ไอโซเทอมของการดูดซับ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายได้ของอนุภาคที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักอนุภาคดูดซับ กับความเข้มข้นของอนุภาคที่ถูกดูดซับในสารละลายที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ (Chaignon et al., 2003; Naidu et al., 1998)

2.7 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอม

โดยทั่วไปสมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีได้ถูกนำมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับด้วยดินคือสมการแลงเมียร์ (Langmuir) และฟรุนดริช (Freundlich) (Wang et al., 2007)

2.7.1 สมการแลงเมียร์ (Langmuir)

สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) เป็นแบบจำลองของการดูดซับสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับโดยตรงเท่านั้น หรือเป็นแบบจำลองระบบดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer Adsorption) เมื่อการดูดซับเกิดขึ้นเต็มพื้นผิวของตัวดูดซับในระบบแล้ว หรือไม่มีพื้นผิวว่างของตัวดูดซับเหลือตัวดูดซับดังกล่าวไม่สามารถดูดซับสารดูดซับนั้นได้อีก ณ อุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยลักษณะการดูดซับดังกล่าวจึงเรียกว่า "การดูดซับแบบอิมิตัว" แบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดลักษณะของระบบสมดุลดูดซับจำนวน 2 พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่สมดุลดูดซับของแลงเมียร์ (K) และปริมาณสมดุลดูดซับสารถูกดูดซับจำเพาะสูงสุด (q_m) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$q = \frac{q_m KC}{1 + KC}$$

เมื่อจัดรูปสมการ ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{Kq_m C} + \frac{1}{q_m}$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกละลายบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม) q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม) K คือ ค่าคงที่การดูดซับ C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร) (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)



ข้อจำกัดของแบบจำลองสมดุลดูดซับแบบแลงเมียร์ มีหลายข้อดังนี้

- 1) จำนวนของพื้นผิวตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด
- 2) เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)
- 3) พฤติกรรมการดูดซับไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวที่ห่อหุ้ม
- 4) พื้นผิวที่เกิดการดูดซับทั้งหมดจะถูกแทนที่ด้วยกลุ่มฟังก์ชัน (Functional Group)

ที่เหมือนกัน

5) การดูดซับเป็นแบบ L-Type Behavior ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ และมักเป็นการดูดซับแบบเคมี

2.7.2 สมการฟรุนดริช (Freundlich)

สมการการดูดซับของฟรุนดริช (Freundlich Adsorption Isotherm) ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Adsorption Surface) พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการเป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n}$$

เมื่อ K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนดริช (Freundlich Constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลอง และ n ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอมของการดูดซับ โดยทั่วไป $1/n$ จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง เมื่อจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม) K คือ ค่าคงที่การดูดซับ $1/n$ คือ ความชันของกราฟ C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม)

อย่างไรก็ตาม จากลักษณะไอโซเทอมของฟรุนดริชจะสังเกตเห็นว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ トラบเท่าที่ความเข้มข้นของไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายมีสูงขึ้น ซึ่งก็เป็นข้อเสียของสมการฟรุนดริชที่สำคัญข้อหนึ่งคือ ทำให้ไม่สามารถทำนายการดูดซับสูงสุดได้

2.8 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดมหาสารคาม

ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดมหาสารคาม

2.8.1 ที่ตั้งและขนาด

จังหวัดมหาสารคาม มีรูปร่างคล้ายนกอินทรียกกลับหัวตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศา 25 ลิปดา และ 16 องศา 40 ลิปดาเหนือ เส้น



แวงที่ 102 องศา 50 ลิปดา และ 103 องศา 30 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ 5,267.55 ตารางกิโลเมตร หรือ 3.3 ล้านไร่ ห่างจากกรุงเทพฯ โดยทางรถยนต์ 475 กิโลเมตร (ที่มา:รายงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม, 2552)

อาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง (ที่มา: แขวงทางมมหาสารคาม, 2552)
 ทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดกาฬสินธุ์
 ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดสุรินทร์และจังหวัดบุรีรัมย์
 ทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดร้อยเอ็ด
 ทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดบุรีรัมย์

2.8.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดมหาสารคาม (รายงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม, 2552) พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงคล้ายลูกคลื่นลุ่มๆ ดอนๆ ไม่มีภูเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 130-230 เมตร มีทุ่งนา สลับป่าโปร่ง มีไม้เขตร้อนหรือที่เรียกว่า ป่าโคกด้านทิศ ตะวันตกและทิศเหนือเป็นที่สูงในเขตอำเภอกอสมพิสัย อำเภอยางชุมน้อย และอำเภอกันทรวิชัย ครอบคลุมพื้นที่ ประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่จังหวัด และค่อยๆ ลาดเทมา ทางทิศตะวันออกและทิศใต้ มีลำน้ำสำคัญหลายสายไหลผ่าน สภาพพื้นที่ที่สามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ

2.8.2.1 พื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มริมน้ำ เช่น ที่ราบลุ่มริมแม่น้ำชี ในบริเวณอำเภอมหาสารคาม อำเภอกอสมพิสัย และทางตอนใต้ของจังหวัดแถบชายทุ่งกุลาร้องไห้

2.8.2.2 พื้นที่ค่อนข้างราบเรียบสลับกับลูกคลื่นลอนลาด พบทางบริเวณตอนเหนือของอำเภอยางชุมน้อย เป็นแนวยาวไปทางตะวันออกถึงอำเภอมหาสารคาม

2.8.2.3 พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาด สลับกับพื้นที่ลูกคลื่นลอนชัน พบทางตอนเหนือและตะวันตกของจังหวัด บริเวณนี้มีเนื้อที่ประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อที่ของจังหวัด

2.8.3 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเมืองร้อนในช่วงมรสุมฤดูร้อนจะได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดีย สภาพโดยทั่วไปจะมีลักษณะฝนตกสลับกับอากาศแห้ง (Wet and dry climate) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2553 ประมาณ 140.03 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกตลอดทั้งปีจำนวน 91 วัน ปริมาณฝนที่ตกมากที่สุดวัดได้เมื่อเดือนกรกฎาคม 2553 เท่ากับ 350.8 อุนหนุมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27.98 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ทั้งปี 75.67 สำหรับอุณหภูมิสูงสุดวัดได้เมื่อเดือนเมษายน 2554 ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดวัดได้เมื่อเดือนมกราคม 2553 ประมาณ 10.1 องศาเซลเซียส มีฤดูกาลต่างๆ แบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมไปจนถึงเดือนมิถุนายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม และฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน เป็นต้นไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์

2.8.4 สถานการณ์ทรัพยากรธรรมชาติจังหวัดมหาสารคาม

2.8.4.1 ทรัพยากรดินและที่ดิน

สามารถจำแนกกลุ่มดินของจังหวัดมหาสารคามได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) กลุ่มดินไร้ สามารถแบ่งย่อยเป็น กลุ่มดินไร้ทั่วไป มีพื้นที่เพียงเล็กน้อย ครอบคลุมพื้นที่ทางทิศตะวันตกของจังหวัดดินไร้กลุ่มนี้อยู่ในพื้นที่บางส่วนของอำเภอยางชุมน้อยและ



อำเภอแกดากลุ่มดินไร้ทรายส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณทิศตะวันตกของจังหวัด บริเวณอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอบรบือ และอำเภอนาเชือก

2) กลุ่มดินนา ส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ทางทิศเหนือและทิศใต้ของจังหวัด สามารถแยกออกเป็นกลุ่มย่อยตามคุณสมบัติของดินได้เป็น กลุ่มดินนาทั่วไป ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเขียงยืน อำเภอวาปีปทุม อำเภอนาคู อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย และบางส่วนของอำเภอเมือง กลุ่มดินนาดี อยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำชีทางทิศเหนือ ของจังหวัดซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของอำเภอโกสุมพิสัยและอำเภอกันทรวิชัย และบางส่วนของทางตอนใต้ของจังหวัด

3) กลุ่มดินคละ ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณตอนกลางของจังหวัด สามารถแบ่งย่อยได้เป็น กลุ่มดินไร้ทั่วไป คละกับดินนาทั่วไป ครอบคลุมพื้นที่ของอำเภอเมือง อำเภอบรบือ อำเภอนาเชือก อำเภอนาคู และอำเภอพยัคฆภูมิพิสัย และกลุ่มดินไร้ทรายคละกับดินไร้ทั่วไป อยู่ในพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอแกด้าและอำเภอวาปีปทุม

ทั้งนี้ จังหวัดมหาสารคาม พบว่าดินที่เป็นปัญหา ประมาณ 2,442,724 ไร่ ได้แก่ ดินเค็ม ดินทรายจัดและดินปนกรวด การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่การเกษตร ปี 2550 ประมาณ 2,761,882 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 83.51 ของพื้นที่จังหวัด การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำเกษตรกรรม แต่เนื่องทรัพยากรดินในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เป็นดินทรายจัด ดินเค็ม และดินลูกรัง จึงไม่เหมาะกับการทำเกษตรกรรม ส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ ทำให้เกษตรกรมีรายได้น้อย นอกจากนี้ยังพบปัญหาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่เหมาะสมกับศักยภาพทำให้เสียต้นทุนทางธรรมชาติอีกด้วย

2.8.4.2 ทรัพยากรน้ำ

สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำในจังหวัดมหาสารคามมีพื้นที่อยู่ในเขตลุ่มน้ำชี มูล, และลุ่มน้ำสาขา 5,280 ลุ่มน้ำ พื้นที่รับน้ำฝนทั้งสิ้น 10 ไร่ โดยมีลำน้ำหลักที่สำคัญ ได้แก่ ลำน้ำชี และ ลำน้ำเสียว

1) สถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำชีในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

จังหวัดมหาสารคามโดยสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดมหาสารคาม ได้ดำเนินการติดตามตรวจสอบสถานการณ์คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำที่สำคัญในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการป้องกันแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำ ตามคำรับรับรองการปฏิบัติราชการ ตัวชี้วัดที่ 3.4.2 ระดับความสำเร็จของการจัดการปัญหามลพิษของจังหวัดด้านคุณภาพน้ำ เมื่อวันที่ 7, 19, 23 มีนาคม 2553 และวันที่ 8 เมษายน 2553 โดยสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดมหาสารคาม ได้ให้การสนับสนุนยานพาหนะเรือท้องแบนติดเครื่องเพื่อใช้ในการสำรวจสภาพปัญหามลพิษต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพแม่น้ำชี ที่สำคัญ ได้แก่

- (1) การทิ้งขยะริมฝั่งแม่น้ำชี จำนวน 28 แห่ง
- (2) การเลี้ยงปลาในกระชัง จำนวน 6,391 กระชัง
- (3) การระบายน้ำเสียจากชุมชนหลัก จำนวน 4 แห่ง
- (4) ปล่อยตะกอนขุ่นจากกระบวนการดูทราย 11 แห่ง

2) แหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพในแม่น้ำชี

- (1) การทิ้งขยะลงสู่แม่น้ำ การกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้องของประชาชนที่

อาศัยอยู่ริมฝั่งแม่น้ำชี



(2) การเลี้ยงปลาในกระชังที่มีความหนาแน่นเกินกว่าที่ศักยภาพของแม่น้ำซึ่งจะรองรับได้ เศษอาหารปลาและตะกอนของเสียจากกระชังปลา ก็เป็นสิ่งปฏิกูลที่ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมสภาพลง

(3) การปล่อยน้ำเสียจากชุมชนที่ไม่ผ่านการบำบัด เช่น เทศบาลตำบล ขามเรียง ท่าขอนยาง และบางส่วนของเทศบาลเมืองมหาสารคาม

(4) การฟุ้งกระจายของตะกอนที่องน้ำจากการดูทราย และเป็นสาเหตุของตลิ่งพังที่ขยายตัวออกไปเรื่อย ๆ

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบรรดาสารมลพิษต่างๆในสิ่งแวดล้อม โลหะหนักนับว่าเป็นสารมลพิษประเภทหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และโลหะหนักเหล่านี้ก็สามารถเข้าไปสะสมอยู่ในสัตว์น้ำได้และจะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นตามห่วงโซ่อาหาร และหากมีปริมาณความเข้มข้นสูงมากก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ตลอดจนผู้ที่นำสัตว์มาบริโภคด้วย (วิโรจน์ นามโส, 2549) จากงานวิจัยของ วีระศักดิ์, (2542) ทำการศึกษาการสะสมของโลหะหนัก 4 ชนิด คือ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม และสารหนูในองค์ประกอบของระบบนิเวศคือ ในน้ำ หอย และตะกอนดินของแม่น้ำกวัง พบว่า มีการสะสมของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในทุกองค์ประกอบ โดยในตะกอนดินมีการสะสมของตะกั่วสูงที่สุด การสะสมของโลหะหนักในหอยพบว่า ตะกั่ว แคดเมียม และปรอท อยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.01 ถึง 0.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 0.07 ถึง 0.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมตามลำดับนอกจากนี้ สุพรรณษา เกียรติสยาม และ สุนิสา ชายเกลี้ยง, 2555 ได้ทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่วบริเวณแหล่งประมงหนองน้ำล้น พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นหอยขมมีความเข้มข้นของตะกั่วเกินมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข (1 มก./กก.) ร้อยละ 30.00 และเกินมาตรฐานของออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ (2 มก./กก.) ร้อยละ 10.00 จากงานวิจัยในต่างประเทศ Ubalua AO, 2550 พบการปนเปื้อนของตะกั่วในสัตว์น้ำ การปนเปื้อนตะกั่วในน้ำ ในปลาและในหอยจากแม่น้ำ Aba ประเทศไนจีเรียที่มีระดับสูงกว่าที่อนุญาตสูงสุดที่กำหนดโดย US.EPA และ Nanriga, 2552 ได้ศึกษาปลาที่จับได้ในพื้นที่ในรัฐต่างๆทั่วสหรัฐอเมริกาพบว่าการปนเปื้อนของสารตะกั่ว และมีเพียง 1 ใน 4 ของปลาที่สำรวจพบเท่านั้นที่มีสารตะกั่วในตัวปลาในระดับที่ปลอดภัยเพียงพอที่จะบริโภคได้ตามมาตรฐานของหน่วยงานสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา

อินทรีย์วัตถุในดินมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เช่น มีผลต่อการเกิดสีของดิน ช่วยให้ดินทรายมีการจับตัวเป็นก้อน การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศ การดูดซับประจุบวก ความสามารถในการดูดซับไอออนของอินทรีย์วัตถุในดินนั้นสูงมาก โดยทั่วไปการดูดซับโดยอินทรีย์จะสูงกว่าคอลลอยด์อื่นๆตั้งแต่ 2- 30 เท่า (กองวิเคราะห์ดิน, 2544) จากงานวิจัยของ Chibsa และ Ta, 2552 ได้ทำการศึกษาคาร์บอนอินทรีย์คาร์บอนในดินที่ระดับความลึกต่างๆของประเทศเอธิโอเปีย พบว่า ดินที่มีอินทรีย์คาร์บอนสูงคือดินที่ความลึก 0-5 เซนติเมตร สาโรจน์ และคณะ, 2552 ได้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน พบว่าโลหะหนักที่พบสะสมปริมาณสูงที่สุดในน้ำคือทองแดง รองลงมาคือสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีปริมาณเฉลี่ย



เท่ากับ 0.08, 0.06, 0.05 และ 0.01 พีพีเอ็ม ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแสดงว่าบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบนมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักหลายชนิดและบางช่วงเวลามีปริมาณเกินกว่าค่ามาตรฐาน จึงจำเป็นต้องมีมาตรการการตรวจสอบป้องกันและแก้ไขปัญหาโลหะหนักจากโลหะหนัก

ค่าปฏิกิริยาในดินมีผลต่อสมบัติการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของตัวดูดซับและต่อสภาพการละลายน้ำได้ของธาตุหลายชนิดในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกษรา, 2555 ทำการศึกษาการดูดซับ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดงและแคดเมียม ของสเมกไทต์ โดยใช้ตัวอย่างดินเหนียว พบว่าเมื่อค่าปฏิกิริยาสูงขึ้นความจุในการดูดซับตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ของสเมกไทต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าค่าปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง-ด่าง ที่มีปริมาณสเมกไทต์เป็นองค์ประกอบหลักในอนุภาคขนาดดินเหนียวสามารถที่จะลดการแพร่กระจายของโลหะหนักได้โดยขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีประเมินความเป็นพิษของโลหะหนักในสภาพแวดล้อมทางดินได้ นอกจากนี้ วรรณมา สายแก้ว ได้ศึกษาการดูดซับแคดเมียมไอออนในสารละลายด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกสับปะรด เปลือกมะละกอ และเปลือกลูกตาล พบว่าที่ปฏิกิริยา 4 มีค่าการดูดซับแคดเมียมไอออนสูงสุด



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับท้องถิ่นที่อยู่ในบัญชีรายชื่อของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติของจังหวัดมหาสารคาม แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554 - 2556 และการใช้ประโยชน์พื้นที่ป่าบุงป่าทาม ได้แก่

3.1.1 ป่ามวงใหญ่

บุงชีหลงหรือป่ามวงใหญ่ ตั้งอยู่ที่บ้านมวง หมู่ที่ 6 ตำบลโพหนอง อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดมหาสารคาม บ้านมวงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการปลูกผักอินทรีย์เนื่องจากมีแหล่งน้ำ ตลอดปีมีระบบชลประทานครอบคลุมพื้นที่และมีแหล่งน้ำสาธารณะกระจายรอบๆหมู่บ้านนับเป็นอาชีพหลักของชุมชน มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 - 2520 พื้นที่ในบ้านมวงมีการปลูกพืชผักประเภท ต้นหอม แตงกวา มะเขือ พริก ตะไคร้ ผักบุง แมงลัก แตงไท พักทอง ข้าวโพดเพื่อการกิน และปลูกหอมแดง หอมแบ่ง กระเทียม แตงกวา ถั่วฝักยาวเพื่อการขาย เกษตรกรมีการใช้สารเคมีมากกว่า 10 ชนิดในการปลูกแต่ละรอบ ทั้งนี้ยังมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลง เช่น คาร์โบฟูราน (ชื่อการค้าฟูราดาน) ซึ่งเป็นอันตรายที่ตกค้างในพืชผัก แหล่งน้ำ ดินและตัวห้ำ ตัวเบียนที่เป็นประโยชน์กับพืชผัก เกษตรกรมีการใช้สารเคมี ทั้งสารกำจัดหนอนแมลง วัชพืชใบแคบ ในช่วง 1-15 วันการใช้สารเคมีไม่มากนัก ช่วงเวลา 15 วัน เป็นต้นไปจะมีการใช้สารเคมีเพิ่มมากขึ้นโดยเฉลี่ยมีการใช้สารเคมี 15-20 ครั้งต่อรอบการผลิต หากมีการระบาดของหนอนและแมลงจะเพิ่มปริมาณ และความถี่ในการใช้ เช่น ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน จะเป็นช่วงที่หนอนใบและหนอนใยผักระบาดมาก หากพบหนอนในแปลงเกษตรกรจะฉีดพ่นยาป้องกันโดยทันที ถ้ามีการระบาดของผีเสื้อพ่นยาทุกวันและผสมสารเคมีหลายตัวรวมกันแล้วฉีดพ่น (มาลี สุปันดี, 2555)

สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของตำบลโพหนอง โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด สลับกับพื้นที่ราบ ระดับความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 148-150 เมตร จากระดับน้ำทะเล

1) พื้นที่ป่า

พื้นที่ป่าของตำบลโพหนองอยู่ประมาณ 2,512 ไร่ ซึ่งเป็นป่าสาธารณะ พื้นที่บางส่วนได้ปลูกไม้โตเร็ว

2) อุณหภูมิ

ตำบลโพหนอง อุณหภูมิอากาศประมาณ 25 - 40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 0.6 เหมือนตำบลอื่นๆ ในเขตอำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดมหาสารคาม

3) แหล่งน้ำและปริมาณน้ำฝน

จากสถิติน้ำฝนปี พ.ศ. 2544 - 2553 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในเดือนกันยายนและธันวาคม มีปริมาณ 280.4 และ 1.32 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยจะมีฝนเริ่มตกตั้งแต่เดือนเมษายนถึงตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูกาลเพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่ และมีจำนวนวันฝนตก



อยู่ในช่วง 89-123 วัน แต่แนวโน้มวันฝนตกในช่วงปี พ.ศ. 2552-2553 มีปริมาณวันลดลง แต่ปริมาณน้ำฝนรวมไม่แตกต่างกัน

3.1.2 วนอุทยานโกสัมพี

ลักษณะทางกายภาพ

1) ที่ตั้ง เนื้อที่ อาณาเขต

วนอุทยานโกสัมพีตั้งอยู่บ้านคุ้มกลาง หมู่ที่ 1 ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสัมพีสัย จังหวัดมหาสารคาม มีเนื้อที่ 130 ไร่

2) ลักษณะภูมิประเทศของอุทยาน

สภาพภูมิประเทศทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มและบริเวณทิศตะวันออกจรดแม่น้ำชีเป็นบริเวณที่เปราะบางต่อการชะล้างและพังทลายเป็นอย่างมาก ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนเหนียว วนอุทยานโกสัมพีเป็นป่าดงดิบที่มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบอยู่ริมแม่น้ำชี ในเขตสุขาภิบาลอำเภอโกสัมพีสัย ภายในบริเวณป่ามีหนองบึงซึ่งเป็นหนองน้ำธรรมชาติขนาดเนื้อที่ประมาณ 3 ไร่ มีน้ำตลอดปีลึกประมาณ 1-1.5 เมตร บริเวณหนองบึงด้านทิศใต้มีอาณาเขตติดต่อกับถนนข้ามถนนพหลวงพ้อมิ่งเมือง และวัดกลางโกสัมพี จะมีลักษณะเป็นป่าดงดิบตามธรรมชาติมาแต่ดั้งเดิม

3) ภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศในพื้นที่วนอุทยานโกสัมพี มีอยู่ 3 ฤดูกาลคือ

ฤดูฝน	เริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน- พฤศจิกายน
ฤดูหนาว	เริ่มตั้งแต่เดือน ธันวาคม- กุมภาพันธ์
ฤดูร้อน	เริ่มตั้งแต่เดือน มีนาคม- พฤษภาคม

4) แหล่งน้ำ

สภาพแหล่งน้ำ โดยทั่วไปที่พบในวนอุทยานโกสัมพี ประกอบด้วยแหล่งน้ำตามธรรมชาติคือ หนองบึง เป็นหนองน้ำธรรมชาติที่มีน้ำขังตลอดปี มีขนาดประมาณ 3 ไร่ มีความลึกประมาณ 1-1.5 เมตร เป็นแหล่งอาหารของฝูงลิงซึ่งในปัจจุบันมีสภาพน้ำที่ขุ่น สกปรกและเริ่มตื้นเขิน และแม่น้ำชี เป็นลำธารที่ไหลผ่านวนอุทยานโกสัมพีและเป็นสถานที่ที่พักผ่อนที่สำคัญของวนอุทยานโกสัมพี

3.1.3 ป่าหนองดินบ้าน

ป่าป่าหนองดินบ้าน ตั้งอยู่บ้านท่าขอนยาง ตำบลท่าขอนยาง จังหวัดมหาสารคาม โดยแต่เดิมประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร แต่เนื่องจากเขตพื้นที่ตำบลขามเรียงมีมหาวิทยาลัยมหาสารคามมาตั้ง จึงทำให้ตำบลท่าขอนยางโดยเฉพาะบ้านท่าขอนยางทั้ง 5 หมู่บ้านเป็นประตูแรกเข้าสู่มหาวิทยาลัย จึงมีประชาชนบ้านท่าขอนยาง และประชาชนที่มาจากถิ่นอื่นหลังไหลเข้ามาทำการค้าขายเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่จะเป็นร้านค้า ร้านอาหาร และกิจการหอพัก (แผนพัฒนาการเกษตรระดับตำบล ศูนย์บริการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรประจำตำบล ท่าขอนยาง, 2555) ป่าหนองดินบ้านตั้งอยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยมหาสารคามเพียง 2 กิโลเมตร

3.1.4 ป่าเกาะแก่ง

ป่าเกาะแก่งตั้งอยู่ตำบลแก่ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ภูมินิเวศน์ของบ้านแก่งเหนือเป็นหมู่บ้านที่อยู่ห่างจากตัวจังหวัดมหาสารคามมาทางทิศตะวันออกของจังหวัดประมาณ 6 กิโลเมตร พื้นที่ของหมู่บ้านอยู่ติดกับแม่น้ำชี ซึ่งมีกุดแก่งเป็นระยะๆ ในบริเวณรอบๆ และใกล้เคียง



หมู่บ้านมีกุดมีเกิดจากแม่น้ำชีอยู่ทั้งสิ้น 2 กุดคือ กุดแดงและกุดหวาย ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยมหาสารคามได้เข้ามาปรับปรุงพื้นที่กุดแดงเป็น “สถานปฏิบัติกรบ้านแก้ง สถาบันวิจัยวลัยรุกชเวช” เป็นแหล่งศึกษา อนุรักษ์พันธุ์ไม้และสัตว์ (ปลา) กุดแดงอยู่ในพื้นที่หมู่บ้านโนนสวรรค์ หมู่ที่ 10 และอีกหนึ่งกุดที่เกิดในบริเวณแม่น้ำชีคือ “กุดหวาย” (เรียกอีกชื่อว่า วังมัจฉา) กุดหวายแบ่งเป็นพื้นที่สาธารณะ (วัด) และพื้นที่ส่วนบุคคลมีโฉนดที่ดินถูกต้องตามกฎหมาย กุดหมายเป็นสถานที่ผู้คนไปเที่ยวและพักผ่อนอยู่ไม่ขาด เนื่องจากบริเวณกุดหวายเองมีการจัดพื้นที่ให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว โดยมีสิ่งดึงดูดที่สำคัญคือปลาหลากหลายพันธุ์ที่อยู่ในหมู่บ้านโขงกุดหมาย นอกจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นกุดเป็นแก่งแล้ว ยังมีหนองน้ำที่ชาวบ้านเรียกว่า กุดเข่น กันอีก 2 กุด คือ กุดขี้เป็ด และกุดอ้อ ทั้งสองกุดจะมีคลองกั้นเหลืองซึ่งเป็นคลองธรรมชาติ เชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กุดดังกล่าว แต่ด้วยขาดการดูแลกุดทั้ง 2 ไม่ว่าจะเป็ กุดอ้อหรือกุดขี้เป็ด รวมถึงคลองกั้นเหลืองได้กลายเป็นแหล่งน้ำที่มีหญ้า จอก แหน ผักตบชวา ขึ้นปกคลุมหนา มีความตื้นเขิน สามารถใช้ประโยชน์ได้บ้างคือการสูบน้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวขึ้นมาเพื่อทำการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนา ทั้งนาปีและนาปรัง

บ้านแก้งเป็นหมู่บ้านที่อยู่บริเวณทางน้ำไหลหากมีน้ำท่วม น้ำจะไหลมาจาก ต.แก้งเลิงจาน ผ่านจังหวัดมหาสารคาม เข้าสู่ตำบลแก้ง และตำบลลาดพัฒนาลงสู่แม่น้ำชีและหากน้ำระยยะจากตำบลลาดพัฒนาสู่แม่น้ำชีไม่ทัน น้ำก็จะเอ่อขึ้นมาท่วมยังตำบลแก้งทิศทางการไหลของน้ำนั้นหากกล่าวถึงเพียงแหล่งน้ำในหมู่บ้าน น้ำจะไหลจากกุดอ้อซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ของบ้านโนนสวรรค์ หมู่ที่ 10 ไปตามคลองกั้นเหลือง สู่กุดขี้เป็ดและน้ำจากกุดอ้อน้อยจากตำบลบ้านลาดพัฒนาก็จะไหลลงสู่กุดขี้เป็ดเช่นกัน หลังจากนั้นเมื่อน้ำสูงจนถึงระดับหนึ่งแล้วน้ำจากกุดขี้เป็ดก็จะไหลลงสู่ห้วยคะคางและลงสู่แม่น้ำชีต่อไป

3.2 การรวบรวมข้อมูล

3.2.1 การเก็บข้อมูลดิน

3.2.1.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในเดือนสิงหาคม – กันยายน พ.ศ. 2555 ทำการเก็บตัวอย่างดินอย่างเป็นระบบ (Systematic Sampling) มีแบบแผนการเก็บที่แน่นอน คือเก็บเฉพาะพื้นที่ที่บริเวณน้ำขึ้นสูงสุดและบริเวณน้ำลงต่ำสุด เก็บตัวอย่างดินประมาณ 1-2 กิโลกรัม โดยใช้พลั่วตักดิน ซึ่ง จะทำการเก็บพื้นที่ละ 8 จุด แต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 หลุม มีรายละเอียดของการเก็บตัวอย่างดังนี้

1) เก็บตัวอย่างที่บริเวณน้ำขึ้นสูงสุด จำนวน 4 จุด

2) เก็บตัวอย่างบริเวณน้ำลงต่ำสุด จำนวน 4 จุด

3) ในแต่ละจุดเก็บดินแบบรูปตัวดาว ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร นำดินผสมเข้าด้วยกันตามหลักการ Composite Sampling ถือว่าเป็นตัวแทนของจุดเก็บนั้นๆ

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



3.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินที่เก็บแบบธรรมดามาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง (Air Dry) เมื่อผึ่งจนแห้งจึงนำมา ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

3.2.2.1 การวิเคราะห์สมบัติดิน

นำตัวอย่างดินที่เตรียมเรียบร้อยแล้วมาทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของดินดังนี้ (ตาราง 3.1)

ตาราง 3.1 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

สมบัติของดิน	วิเคราะห์	อ้างอิง
1. เนื้อดิน (Texture)	วิธี Hydrometer	National Soil Survey Center, 1996
2. ปฏิกริยาดิน (soil reaction)	สารละลายแวนดอลดิน ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:5 วัด ด้วย pH Meter	National Soil Survey Center, 1996
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matters)	วิธี Walkley-Black	Walkley-Black, 1934
4. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	USDA Soil Survey Manual	National Soil Survey Center, 1996
5. ความจุประจุบวกที่สามารถ แลกเปลี่ยนได้ (CEC)	แทนที่ Exchange site ด้วย 1M NH ₄ OAc ด้วย pH 7.0	Chapman, 1965
6. แคลเซียมและแมกนีเซียม	วิธี Atomic absorption spectroscopy	
7. ไนโตรเจน (N)	Kjeldahl method	Bremner and Mulvaney, 1982
8. โลหะหนัก คือ ตะกั่ว	วิธี Atomic absorption spectroscopy	

3.2.2.2 การวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

1) การทดลองแบบกะ

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



- 2) การคำนวณอัตราการดูดซับ
ประสิทธิภาพการกำจัด (ร้อยละ)

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

3.2.2.3 การคำนวณอัตราการดูดซับ

- 1) ค่าไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์ สามารถคำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

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

- 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) ค่าไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดิช สามารถคำนวณได้จากได้จากสมการ ต่อไปนี้

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

- เมื่อ q_e = ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 K_f, n = ค่าคงที่



เพื่อให้สามารถคำนวณหา K_f และ n ได้จากกราฟจำเป็นต้องใช้สมการพหุนดลิตมาจัดรูปแบบให้เป็นสมการ ดังนี้

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

3.3 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

ทำการจัดเก็บข้อมูลสมบัติดินและปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน เป็นระบบในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาประมวลผล โดยโปรแกรม SPSS version 16.0 เพื่อนำมาวิเคราะห์ ได้แก่

3.3.1 ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของสมบัติดินและปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

3.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของสมบัติดินในแต่ละพื้นที่โดยใช้สถิติ Two-Way ANOVA

3.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติบางประการของดินกับปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม เพื่อจะได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดอย่างเป็นระบบ



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปราย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสมบัติดินบางประการในป่าบุงป่าทามจังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ เนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณไนโตรเจนรวม และการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินโดยทำการทดลองแบบแบดซ์ ผลการทดลองที่ได้มีรายละเอียดดังนี้

4.1 พื้นที่ศึกษา

ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา พิจารณาเลือกพื้นที่โดยเลือกจากพื้นที่ตามทิศทางการไหลของแม่น้ำชีจากต้นน้ำไปยังปลายน้ำด้วยแผนภูมิประเทศ และมีการกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ ป่าม่วงใหญ่ (MY) วนอุทยานโกสัมพี (KS) ป่าหนองดินบ้าน (TB) และป่าเกาะแก้ง (KK)

4.2 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

ในการศึกษานี้มุ่งสำรวจสมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ คือ เนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณไนโตรเจนรวม และปริมาณตะกั่วในดิน ผลการวิเคราะห์สมบัติดินในป่าบุงป่าทามในจังหวัดมหาสารคาม มีรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษารายพื้นที่ พบว่า (ตาราง 4.1)

4.2.1 ป่าม่วงใหญ่

เนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam) ค่าปฏิกิริยาดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.29-7.24 ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลาง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงมาก ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบที่ไม่มีการปนเปื้อน

4.2.2 วนอุทยานโกสัมพี

เนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam) ค่าปฏิกิริยาดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.33-6.86 ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงมาก ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบที่ไม่มีการปนเปื้อน



4.2.3 ป่าหนองตีนบ้าน

เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ค่าปฏิกริยาดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.37-6.63 ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูง ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

4.2.4 ป่าเกาะเก็ง

เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ค่าปฏิกริยาดินอยู่ในช่วงระหว่าง 6.39-7.16 ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงมาก ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน

ดังนั้น สรุปได้ว่าป่าบุงป่าทามทั้ง 4 พื้นที่ ป่าม่วงใหญ่และวนอุทยานโกสัมพีนีมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วน ป่าหนองตีนบ้านและเกาะเก็งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินของทุกพื้นที่มีปฏิกริยาดิน เป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง ดินมีปริมาณเกลืออยู่ในระดับเค็มเล็กน้อยถึงปานกลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงถึงสูงมาก ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำ ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณตะกั่วในดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ลาวรรณ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาการประเมินคุณภาพดินเพื่อใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักส่วนที่ 2 จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีตามวิธีมาตรฐาน และประเมินความอุดมสมบูรณ์และสมรรถนะความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินเป็นดินร่วนปนเหนียวถึงดินเหนียว ดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 5.0-8.1) ยกเว้นชุดดินแม่ริมที่ดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 4.6-6.0) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง (5.03-33.16 g/kg⁻¹) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก (2.50-51.20 cmol/kg⁻¹) และจากการศึกษาของ กัญจน์สม์ และ นิพนธ์ (2554) ได้ทำการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในป่าปาล์มสาครใน 4 พื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราช คือ อำเภอรัตนพิบูลย์ อำเภอทุ่งสง อำเภอเมืองและอำเภอเฉลิมพระเกียรติ พบว่า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าระหว่างระดับต่ำถึงปานกลาง อินทรีย์วัตถุในดินมีค่าร้อยละระหว่าง 0.66-2.60 ซึ่งเป็นระดับอินทรีย์วัตถุต่ำมากถึงค่อนข้างสูง และ พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโตและสมบัติของดินในสวนปาล์มคาริเบีย อายุ 29 ปี ที่สถานีวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ดินในสวนปาล์มมีอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนมีค่าค่อนข้างสูงในดินชั้นบน (0-5 เซนติเมตร) ไนโตรเจนมีค่าต่ำมาก แคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าต่ำในดินชั้นบน ความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกมีค่าสูง อาจเป็นผลมาจากการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้น ทำให้มีการดูดซับประจุบวกมาก และมีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์จากซากพืชทำให้ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินมีค่าสูง



ตาราง 4.1 สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

สมบัติดิน	พื้นที่			
	ป่าม่วงใหญ่	วนอุทยานโกสัมพี	ป่าหนองตีนบ้าน	ป่าเกาะแก้ง
ดินทราย (ร้อยละ)	57.68±11.59 ^A	43.3±14.08 ^B	53.50±11.65 ^B	50.20±11.95 ^B
ร้อยดินร่วน (ร้อยละ)	25.35±12.02 ^B	42.65±15.89 ^B	32.70±8.86 ^B	37.30±11.65 ^B
ดินเหนียว (ร้อยละ)	16.98±6.98 ^A	13.4±5.25 ^B	13.80±7.56 ^B	12.50±4.63 ^B
เนื้อดิน	ดินร่วน	ดินร่วน	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนทราย
ปฏิกริยาดิน	6.29-7.24	6.33-6.86	6.37-6.63	6.39-7.16
	กรดเล็กน้อยถึงปานกลาง	กรดเล็กน้อยถึงปานกลาง	กรดเล็กน้อยถึงปานกลาง	กรดเล็กน้อยถึงปานกลาง
การนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)	745.63±70.80 ^A	700.88±103.91 ^B	663.08±65.38 ^B	716.63±40.76 ^B
อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	2.20±1.15 ^B	2.88±1.74 ^A	3.06±0.40 ^A	2.95±0.35 ^A
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	53.42±13.11 ^A	45.33±13.96 ^A	37.33±12.70 ^B	49.92±11.40 ^A
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.24±0.04 ^B	0.21±0.04 ^B	0.27±0.02 ^A	0.29±0.02 ^A
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.30±0.24	1.22±0.27	1.31±0.16	1.36±0.19
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	0.45	0.42	0.42	0.40
ตะกั่วที่สกัดได้จากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

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

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วของดินด้วยการทดลองแบบแบดซ์ (Njoku et al., 2011) ซึ่งเป็นการทดลองโดยหาสภาวะที่เหมาะสมที่สภาวะ โดยศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองกำหนดค่าปฏิกิริยาของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4 ซึ่งไอออนตะกั่วจะมีรูปแบบต่างๆกันขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาดินของสารละลายที่ปฏิกิริยาดินต่ำกว่า 6 ตะกั่วจะอยู่ในรูปของ Pb^{2+} เป็นส่วนใหญ่ แต่ที่ปฏิกิริยาดินสูงไอออนของตะกั่วจะมีการรวมตัวกับโมเลกุลน้ำเกิดเป็นสารประกอบประเภทยอด $hydroxocomplexes$ ชนิดต่างๆ (Lin, 1996) โดยมีผลการศึกษาดังนี้

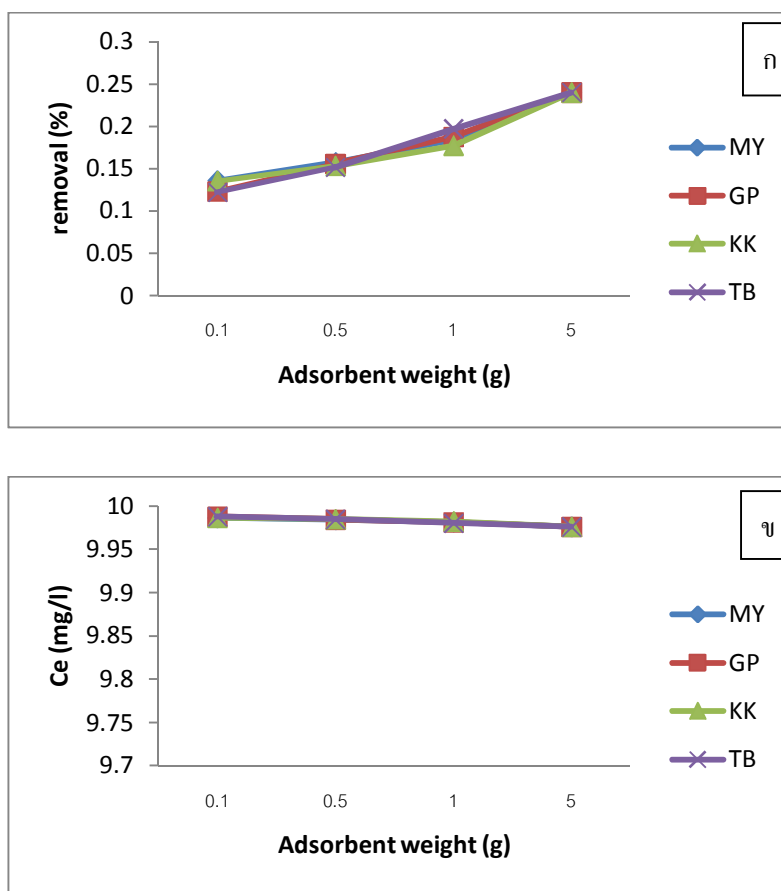
4.3.1 ผลการศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสม

จากการศึกษาน้ำหนักดินที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่ 0.1, 0.5, 1 และ 5 กรัม โดยทดลองที่ระยะเวลาบ่งกวนที่ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าปฏิกิริยาของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เท่ากับ 4

ผลจากการศึกษาหาเพื่อหาน้ำหนักที่เหมาะสมของดินในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ปริมาณการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากใช้ดินปริมาณมาก จะส่งผลทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเท่ากัน ดังนั้น ดินที่มีพื้นที่ผิวมาก (น้ำหนัก 5 กรัม) จึงสามารถดูดซับได้กว่าดินที่มีพื้นที่ผิวน้อยนั่นเอง (นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ และคณิตา ตั้งคณาภิรักษ์, 2550) โดยดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้ร้อยละ 0.2402 ซึ่งดินวนอุทยานโกสัมพี ดินป่าหนองตีนบ้าน และดินป่าเกาะเก็งสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้เท่ากันคือร้อยละ 0.2401 ดังภาพประกอบ 4.1ก และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่เท่ากับ 9.976 ดังภาพประกอบ 4.1ข โดยที่ระยะเวลาบ่งกวน 60 นาที สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ 0.1908, 0.1892, 0.1854 และ 0.1897 (ป่าม่วงใหญ่ วนอุทยานโกสัมพี ป่าหนองตีนบ้าน และป่าเกาะเก็ง ตามลำดับ) และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่ประมาณ 9.981 มิลลิกรัมต่อลิตร

ดังนั้น น้ำหนักดินที่สูงที่สุดในการทดลองคือ 5 กรัม ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมากขึ้นและบริเวณที่เกิดการดูดซับมีสูงขึ้น โดยพื้นที่ผิวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของตัวดูดซับ (Benguella, B. and Benaissa, H., 2002) ซึ่งเป็นดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่ที่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากดินจากป่าม่วงใหญ่มีร้อยละดินเหนียวมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Alloway (1995) อนุภาคดินเหนียวมีประจุสุทธิเป็นลบจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับกับแคดเมียม ซึ่งอยู่ในรูปของ Cd^{2+} และจากการศึกษาของจันทนา (2555) ได้ศึกษาการดูดซับสีย้อมเบสิกด้วยสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* sp. พบว่าการเพิ่มน้ำหนักของตัวดูดซับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในกระบวนการดูดซับ ทำให้มีพื้นที่ผิวในการจับกับสีย้อมได้มากขึ้น โดยเพิ่มปริมาณของตัวดูดซับจาก 0.01 ถึง 0.10 กรัม มีความสามารถในการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 81 จนถึงร้อยละ 87





ภาพประกอบ 4.1 คำน้ําหนัก ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก)
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)

4.3.2 ผลการศึกษาสภาวะปั่นกววนที่เหมาะสมของเวลา

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสม 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้น้ำหนักรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม

ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาปั่นกววน 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ระยะเวลาปั่นกววน 30 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่วของดิน ซึ่งในระยะเวลาเริ่มต้นพื้นผิวของตัวดูดซับมีพื้นที่ในการดูดซับมาก ทำให้มีอัตราการดูดซับมากขึ้น จนถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับซึ่งตัวดูดซับจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ทำให้อัตราการดูดซับลดลง (Uddin, *et al.*, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับ สุรินทร์ และ ศักดิ์ชัย (2250) ศึกษาการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านไฮยาโนแบคทีเรียมีจุดสมดุลของการดูดซับที่เวลา 30 นาที ซึ่งสามารถดูดซับตะกั่วได้ร้อยละ 88.9 วัชรพงษ์ และคณะ (2552) ทำการศึกษาการดูดซับฟอรั่มลิตีไฮต์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต เอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอล ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว โดยทำการทดลองแบบแบทช์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า ในการดูดซับฟอรั่ม



มัลติไฮด์ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มรูพรุนผลิตจากกะลามะพร้าว มีสภาวะเหมาะสมต่อการดูดซับคือระยะเวลาปั่นกววนและระยะเวลาสัมผัสของถ่านทั้งสองชนิดเท่ากับ 30 นาที และภมรรัตน์ (2553) ได้ทำการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านรูปภาชีและถ่านกะลามะพร้าวถูกตรวจวัดด้วย SilverSulfide Selective Electrode โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออน ได้แก่ พีเอชระยะเวลาปั่นกววน ระยะเวลาสัมผัส และน้ำหนักของตัวดูดซับ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านรูปภาชีและถ่านกะลามะพร้าวที่น้ำหนักชนิดละ 2 กรัม มีสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับซัลไฟด์ไอออนที่พีเอช 4 ระยะเวลาปั่นกววนและระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 30 นาที สามารถดูดซับซัลไฟด์ไอออนได้ร้อยละ 89.60 และ 87.05 ตามลำดับ

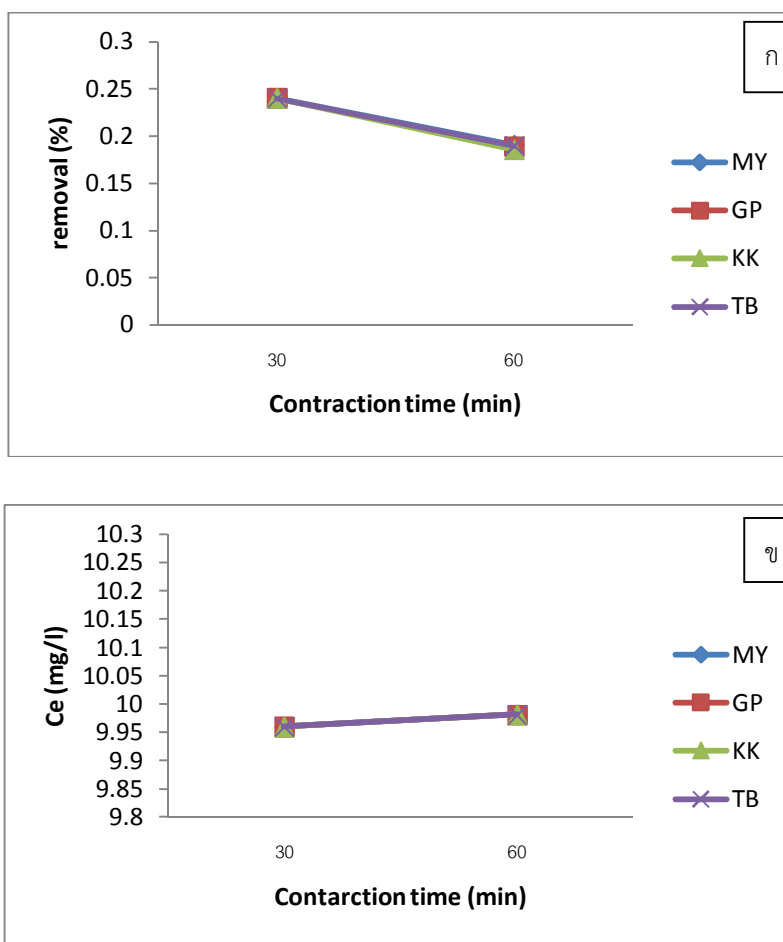
ดังนั้น ดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 0.2402 ซึ่งดินวนอุทยานโกสัมพี ดินป่าหนองตีนบ้าน และดินป่าเกาะเก็งสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้เท่ากันคือร้อยละ 0.2401 ดังภาพประกอบ 4.2ก และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่เท่ากับ 9.976 ดังภาพประกอบ 4.2ข โดยที่ระยะเวลาปั่นกววน 60 นาที สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้ร้อยละ 0.191, 0.189, 0.185 และ 0.190 (ป่าม่วงใหญ่ วนอุทยานโกสัมพี ป่าหนองตีนบ้าน และป่าเกาะเก็ง ตามลำดับ) ซึ่งดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่ที่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากดินจากป่าม่วงใหญ่มีร้อยละดินเหนียวมากกว่าพื้นที่อื่นๆ Mellah และ Chegrouche (1997) ได้ศึกษาการกำจัดสังกะสี จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เบนโทไนต์ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ ผลการทดลองพบว่า อัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ถ้าขนาดของอนุภาคเล็กลง ซึ่งจากข้อเท็จจริงที่ว่า พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้น ถ้าขนาดของอนุภาคเล็กลง รวมทั้งดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมาก ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีคุณสมบัติช่วยให้ดินมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงระดับสารเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในดิน เช่น สภาพกรด-ด่าง ความเค็ม สารกำจัดศัตรูพืช ตลอดจนจนความเป็นพิษจากโลหะหนักที่ใส่ลงในดินให้เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป (นวลศรี กาญจนกุล และคณะ, 2543)

4.3.3. ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสม โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว คือ 2 4 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้น้ำหนักที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้างต้นคือ 5 กรัม และใช้ระยะเวลาปั่นกววนที่เหมาะสมคือ 30 นาที

ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ที่เหมาะสมพบว่า การดูดซับตะกั่วลดลงตามความเข้มข้นของโลหะหนักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น ในขณะที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีจำนวนจำกัด ตัวถูกดูดซับไม่สามารถดูดซับไว้ที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับได้ จนมีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณินดา ตั้งคณานุรักษ์, 2550) จึงกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของสารละลาย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 1.264 รองลงมาคือดินพื้นที่วนอุทยานโกสัมพี ป่าเกาะเก็ง และป่าหนองตีนบ้าน (ร้อยละ 1.255, 1.225 และ 1.899 ตามลำดับ)

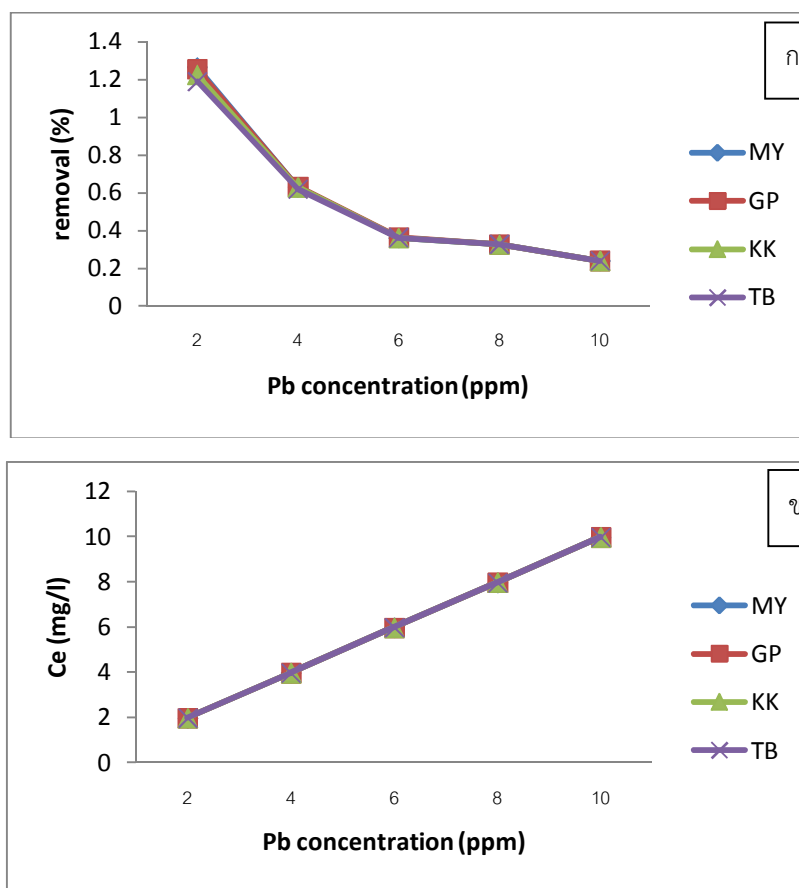




ภาพประกอบ 4.2 ระยะเวลาในการปั่นกวน ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)

ดังภาพประกอบ 4.3 ข ซึ่งดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด เนื่องจากดินป่าม่วงใหญ่นอกจากจะมีร้อยละดินเหนียวสูงแล้วยังมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงอีกด้วย รวมทั้งยังมีเนื้อดินร่วน มีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งดินที่มีสารอินทรีย์มาก จะสามารถดูดซับสารพิษได้ดีโดยทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารพิษกับดิน จึงเกิดการพดพาได้น้อยแต่ถ้าอยู่ในรูปของอนุภาคจะเคลื่อนย้ายไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ง่ายกว่า (Pionke and Cheter, 1973) โดย ปภามณูชู้ และคณะ (2553) ได้ศึกษา การดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมในดินนาข้าว พบว่า แคดเมียมที่ถูกดูดซับในดินจะปลดปล่อยออกมามากขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของพระมหาธรรานัส (2553) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารพาราควอทของดินและตะกอนดินลุ่มน้ำย่อยน้ำมวบ พบว่า ความสามารถในการดูดซับสารพาราควอทของดินจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้น





ภาพประกอบ 4.3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (ก) และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ข)

4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน ด้วยความสามารถในการดูดซับตะกั่วของดิน และคุณลักษณะของเนื้อดิน ปฏิกริยา ดิน การนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุในดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน พบว่า

4.4.1 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าม่วงใหญ่ พบว่า

ค่าอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงพหุกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.424 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.180 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 18 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.214



เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าอินทรีย์วัตถุพบว่ามีความสัมพันธ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น -0.085 กับ -0.424 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ เป็นดังนี้ $Pb = 6.987 - 0.085OC$ ดังตาราง 4.2

ดังนั้น พื้นที่ป่าม่วงใหญ่มีค่าอินทรีย์วัตถุ มีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินมีอิทธิพลต่อการดูดซับโลหะหนักของดินเป็นอย่างมาก เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นสารที่มีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวมาก และมีประจุลบที่บริเวณพื้นที่ผิวอินทรีย์วัตถุจำนวนมาก จึงทำให้ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดี รวมทั้งดินชั้นบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินล่างเป็นผลจากการผุพังสลายตัวของเศษซากอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินตามธรรมชาติ หรือส่วนตกค้างทางเกษตรกรรม ตลอดจนรากพืชที่ปกคลุมผิวดิน ขณะเดียวกันอัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุที่เป็นไปอย่างรวดเร็วในดินบนทำให้การชะละลายลงไปในดินล่างเกิดขึ้นน้อย เมื่อเกิดการสลายตัวจึงสะสมในดินชั้นบนมากกว่าดินชั้นล่าง (Baize, 1993; Brady and Weil, 2008) โดยจากการศึกษาของ วาสินธุ์ (2545) ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุต่อการดูดซับตะกั่วของดินชุดบางเลน พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าม่วงใหญ่

สมบัติดิน	Unstandardized		Standardized	t.	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	b	Std. Error	β		
ค่าคงที่	6.987	0.096		72.858	0.000
OC (%)	-0.085	0.039	-0.424	-2.197	0.039*
Ca (mg/Kg)			0.063	0.276	0.785
Mg (mg/kg)			0.022	0.101	0.921
Sand (%)			-0.109	-0.461	0.650
Slit (%)			0.111	0.556	0.584
Clay (%)			-0.097	-0.389	0.701
pH			0.151	0.763	0.454
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)			0.204	0.057	0.303
CEC (cmol/kg)			-0.186	-0.811	0.427
N (%)			0.193	0.972	0.342
R	0.424				
R Square	0.180				



ตาราง 4.2 (ต่อ)

สมบัติดิน	Unstandardized		Standardized	t.	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	b	Std. Error	β		
Adjusted R Square	0.143				
SE _{est}	±0.214				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

หมายเหตุ * P-value \leq 0.05

4.4.2 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินวนอุทยานโกสัมพี พบว่า

ค่าไนโตรเจนรวมมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงพหุกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.423 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.179 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 17.9 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.265

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าไนโตรเจนรวมพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 9.032 กับ 4.127 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ เป็นดังนี้ $P_b = 2.372 + 9.032N$ ดังตาราง 4.3

ดังนั้น ในพื้นที่วนอุทยานโกสัมพีมีค่าไนโตรเจนรวม มีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน แต่ก็ถือว่ามีความสัมพันธ์น้อยมาก เนื่องจากค่าไนโตรเจนรวมในพื้นที่โกสัมพีมีปริมาณต่ำมาก ซึ่งปริมาณไนโตรเจนรวมโดยทั่วไปหินและแร่ที่ให้กำเนิดดินนั้นไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนอินทรีย์เป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ (Mengesha, 2004) ดินมีปริมาณไนโตรเจนรวมต่ำมาก เป็นผลมาจากจุลินทรีย์และพืชนำไปใช้จากกระบวนการชะละลาย จากการสูญหายในรูปของแก๊ส หรือถูกตรึงด้วยแร่ดินเหนียว เนื่องจากแร่ดินเหนียวเวอร์มิคิวไลต์ อิลไลต์ และสมกไทต์สามารถตรึงแอมโมเนียมให้อยู่ภายในโครงสร้างแร่ดินเหนียวได้ และไนโตรเจนเป็นธาตุที่สำคัญในการสร้างใบและลำต้น ดังนั้นต้นข้าวโพดจึงมีการตรึงไนโตรเจนจากดินไปใช้มากกว่าจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนในดินลดลง (Kononova, 1996) แต่เนื่องจากดินในพื้นที่วนอุทยานโกสัมพีมีค่าอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง รวมทั้งพื้นที่วนอุทยานโกสัมพีมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินสูงมาก ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณประจุบวกทั้งหมดที่ถูกดูดซับไว้ที่อนุภาคผิวดิน โดยจากการศึกษา ปณณวัฒน์ (2545) ได้ทำการศึกษาถึงผลของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่อการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียด้วยดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว พบว่า ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงสามารถดูดซับตะกั่วและแคดเมียมได้สูงด้วย



4.4.3 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าหนองตีนบ้าน พบว่า

ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงพหุกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.417 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.174 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 17.4 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.291

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าการนำไฟฟ้าพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น 0.002 กับ 0.417 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ เป็นดังนี้ $P_b = 5.405 + 0.002EC$ ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินนออุทยานโกสัมพี

สมบัติดิน	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig.
	b	Std. Error	β		
ค่าคงที่	2.372	1.727		1.373	0.183
OC (%)			-0.318	-1.708	0.102
Ca (mg/Kg)			0.189	0.860	0.399
Mg (mg/kg)			0.010	0.430	0.966
Sand (%)			0.311	1.540	0.138
Slit (%)			-0.204	-1.008	0.325
Clay (%)			-0.158	-0.806	0.429
pH			0.351	1.922	0.068
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)			0.016	0.080	0.937
CEC (cmol/kg)			-0.333	-1.770	0.091
N (%)	9.032	4.127	0.423	2.189	0.040*
R	0.423				
R Square	0.179				
Adjusted R Square	0.141				
SE _{est}	± 0.265				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

หมายเหตุ * P-value ≤ 0.05



ดังนั้น ในพื้นที่ป่าหนองตื้นบ้านมีค่าการนำไฟฟ้า มีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับสารละลาย ตะกั่วสังเคราะห์ในดิน เนื่องจากดินมีสารอินทรีย์สูงส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูง (จรรยาอักษรณ์ บัวผัด, 2553) ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินมีอิทธิพลต่อการดูดซับโลหะหนักของดินเป็นอย่างมาก เนื่องจากอินทรีย์วัตถุ เป็นสารที่มีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวมาก และมีประจุลบที่บริเวณพื้นที่ผิวอินทรีย์วัตถุจำนวนมาก จึงทำให้ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของพระมหา ธารานัส (2553) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารพาราควอทของดินและตะกอนดินลุ่มน้ำย่อยน้ำ มวบ พบว่า ความสามารถในการดูดซับสารพาราควอทของดินจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุใน ดินสูงขึ้น นอกจากนี้ป่าหนองตื้นบ้านยังมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ซึ่งระดับค่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ได้รับอิทธิพลจากสมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และอินทรีย์วัตถุในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ดังนั้นดินที่มีค่าความสามารถในการ แลกเปลี่ยนประจุบวกสูงย่อมมีความสามารถในการดูดซับโลหะสูงด้วย

ตาราง 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าหนองตื้นบ้าน

สมบัติดิน	Unstandardized		Standardized	t.	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	b	Std. Error	β		
ค่าคงที่	5.405	0.640		8.447	0.000
OC (%)			-0.361	-1.985	0.060
Ca (mg/Kg)			0.137	0.696	0.494
Mg (mg/kg)			-0.359	-0.887	0.385
Sand (%)			-0.020	-0.099	0.922
Slit (%)			-0.050	-0.251	0.804
Clay (%)			0.181	0.914	0.922
pH			0.371	1.814	0.371
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0.002	0.001	0.417	2.155	0.042*
CEC (cmol/kg)			-0.043	-0.210	0.836
N (%)			-0.031	-0.155	0.879
R	0.417				
R Square	0.174				
Adjusted R Square	0.137				
SE _{est}	± 0.291				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

หมายเหตุ * P-value ≤ 0.05



4.4.4 อิทธิพลสมบัติบางประการของดินต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าเกาะแก้ง พบว่า

ค่าร้อยละดินเหนียวมีความสัมพันธ์แบบถดถอยเชิงพหุกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น (R) 0.529 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.280 และสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 28 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 0.215

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวพยากรณ์ของค่าร้อยละดินเหนียวพบว่ามีความสัมพันธ์การถดถอยในรูปคะแนนดิบ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปคะแนนมาตรฐาน (b, β) เป็น -0.018 กับ -0.529 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สมการพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วในดิน สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบ เป็นดังนี้ $Pb = 6.362 - 0.018Clay$ ดังตาราง 4.5

ดังนั้น ในพื้นที่ป่าเกาะแก้งมีค่าร้อยละดินเหนียว มีความสัมพันธ์ต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน เนื่องจากลักษณะเนื้อดินที่เป็นดินเหนียว จะมีการกระจายอนุภาคส่วนใหญ่เป็นอนุภาคดินเหนียว ซึ่งอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก และยังมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนจึงทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2549) ประกอบกับอนุภาคดินเหนียวมีประจุเป็นประจุลบจึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดี ซึ่งอนุภาคดินเหนียวมีประจุสุทธิเป็นลบจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับกับแคดเมียม ซึ่งอยู่ในรูปของ Cd^{2+} (Alloway, 1995)

ตาราง 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินป่าเกาะแก้ง

สมบัติดิน	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t.	Sig.
	b	Std. Error	β		
ค่าคงที่	6.362	0.96		66.075	0.000
OC (%)			-0.124	-0.672	0.509
Ca (mg/Kg)			-0.235	-1.302	0.207
Mg (mg/kg)			0.149	0.777	0.446
Sand (%)			0.037	0.151	0.881
Slit (%)			-0.028	-0.151	0.881
Clay (%)	-0.018	0.006	-0.529	-2.926	0.008*
pH			0.204	1.095	0.286
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)			0.227	1.158	0.260
CEC (cmol/kg)			-0.215	-1.102	0.283
N (%)			-0.129	-0.691	0.497
R	0.529				
R Square	0.280				



ตาราง 4.5 (ต่อ)

สมบัตินดิน	Unstandardized		Standardized	t.	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	b	Std. Error	β		
Adjusted R Square	0.247				
SE _{est}	±0.215				

ตัวแปรตาม คือ การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน

หมายเหตุ * P-value \leq 0.05

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าป่าบุงป่าทามทั้ง 4 พื้นที่ มีอิทธิพลสมบัติบางประการของดิน ต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ แต่มีอิทธิพลน้อยมาก โดยป่าม่วงใหญ่มีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าอินทรีย์วัตถุ ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน ได้ร้อยละ 18 วนอุทยานโกสัมพีนีมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าไนโตรเจนรวม ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 17.9 ป่าหนองตีนบ้านมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 17.4 และป่าเกาะแก้งมีอิทธิพลสมบัติบางประการของดินคือ ร้อยละดินเหนียว ซึ่งสามารถพยากรณ์การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดินได้ร้อยละ 28 ซึ่งการที่สมบัตินดินมีอิทธิพลต่อปริมาณการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ได้น้อยมาก ซึ่งในงานวิจัยของ Elzahabi และ Yong (2001), Adhikari และ Singh (2003) และ Dong *et al.* (2008) ซึ่งได้ศึกษาถึงผลของปฏิกิริยาดินต่อการดูดซับโลหะหนักของดิน พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของดินเพิ่มขึ้นตามค่าปฏิกิริยาดินเพิ่มขึ้น Mellah และ Chegrouche (1997) ได้ศึกษาการกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เบนโทไนต์ โดยทำการทดลองแบบแบทช์ ผลการทดลอง พบว่า อัตราการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ถ้าขนาดของอนุภาคเล็กลง ซึ่งจากข้อเท็จจริงที่ว่า พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดของอนุภาคเล็กลง ทั้งนี้ โครงสร้างของรูพรุนมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับได้เพิ่มขึ้น ถ้าตัวดูดซับไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของตัวดูดซับมีขนาดลดลง แต่ถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุนขนาดของตัวดูดซับจะไม่มีผลกับความสามารถในการดูดซับ (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์, 2550)

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่า สมบัตินดินมีอิทธิพลต่อการดูดซับโลหะหนัก แต่ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าสมบัตินดินทั้ง 4 พื้นที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์น้อยมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีปัจจัยแวดล้อมอื่นๆรบกวน ทั้งนี้ความสามารถของดินในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดีเพียงใดขึ้นกับสภาพของความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในดิน รูปร่างเคมีของโลหะหนักและของสารเคมีอินทรีย์ สารเคมีอนินทรีย์ อุณหภูมิ สภาพการระบายน้ำและลักษณะของเนื้อดินในการดูดซับโลหะหนักและสารพิษของดิน จะส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินด้วย

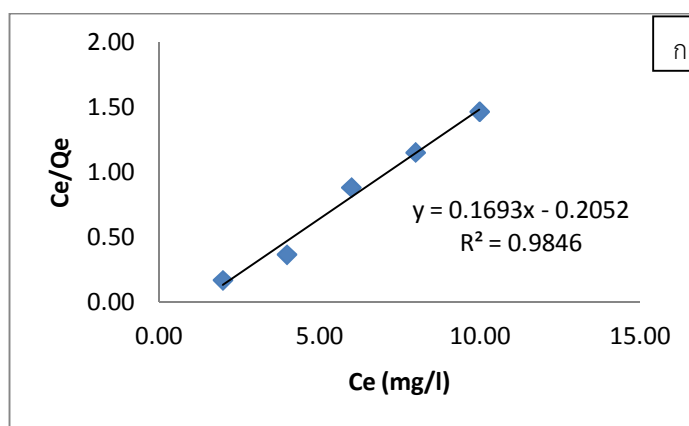


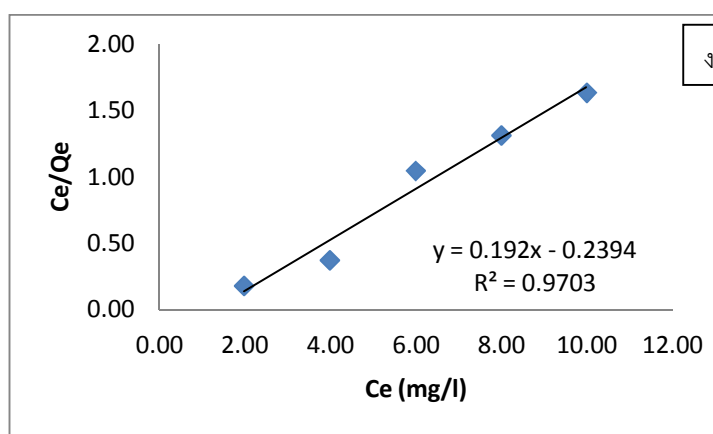
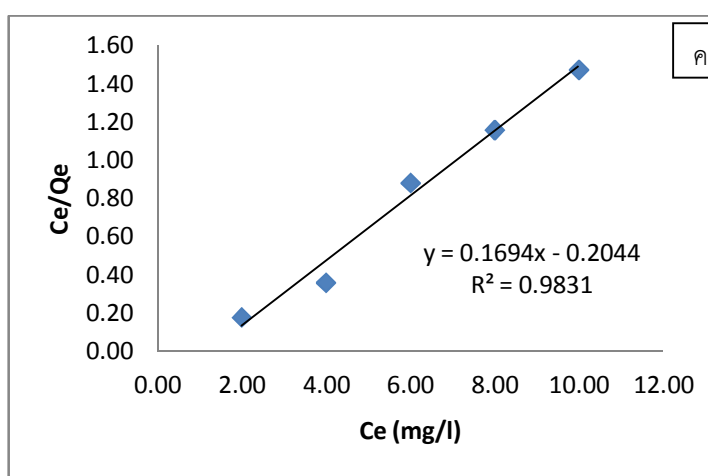
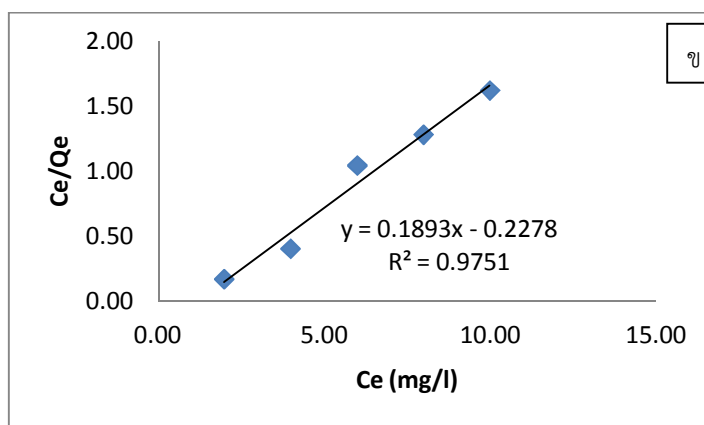
4.5 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับตะกั่วด้วยดิน

ไอโซเทอมของการดูดซับ คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับกับความดันที่อุณหภูมิคงที่ ในการทดลองนี้ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยใช้สมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ เพื่อศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารละลายตะกั่ว โดยใช้ดินน้ำหนัก 5 กรัม สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ระยะเวลาปั่นกววนและระยะเวลาสัมผัส 30 นาที แล้วนำผลการศึกษาไปเข้าสมการการดูดซับ

4.5.1 ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์

ผลการศึกษาไอโซเทอมแลงเมียร์ในการดูดซับตะกั่วด้วยดินทั้ง 4 พื้นที่ ซึ่งพิจารณาจากค่า สัมประสิทธิ์ของการตัดสิ้นใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_L ของแต่ละพื้นที่เพื่อนำมาเลือกใช้ในการนำมาอธิบายการดูดซับ จากการพิจารณาค่าดังกล่าวข้างต้นพบว่า ดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าพื้นที่อื่นๆ คือ 5.91 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 (ภาพประกอบ 4.4ก) รองลงมาคือ ป่าเกาะแก้ง (ภาพประกอบ 4.4ค) วนอุทยานโกสัมพี (ภาพประกอบ 4.3ข) และป่าหนองดินบ้าน (ภาพประกอบ 4.4ง) (5.90, 5.28, 5.21 มิลลิกรัมต่อกรัม) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98, 0.98 และ 0.0.97 ตามลำดับ



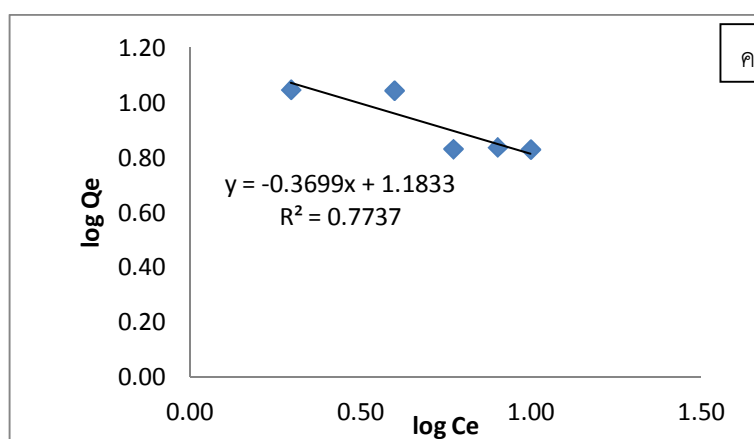
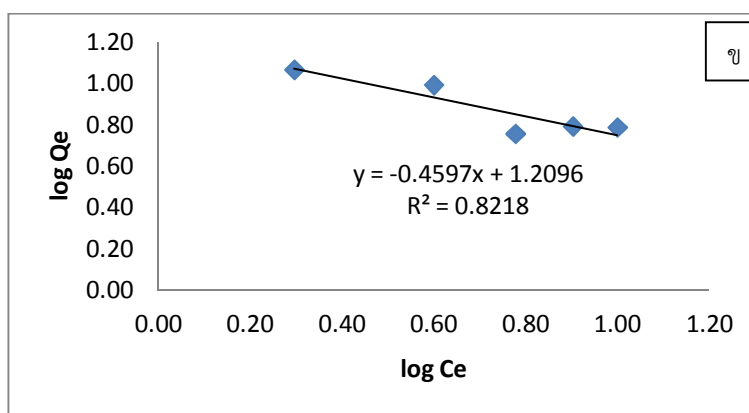
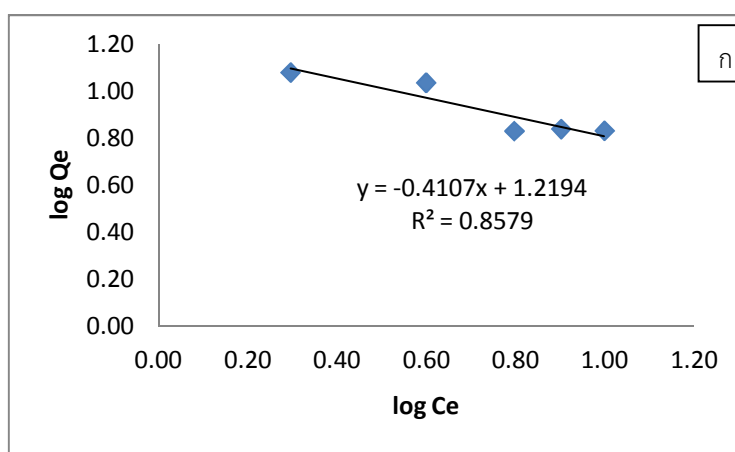


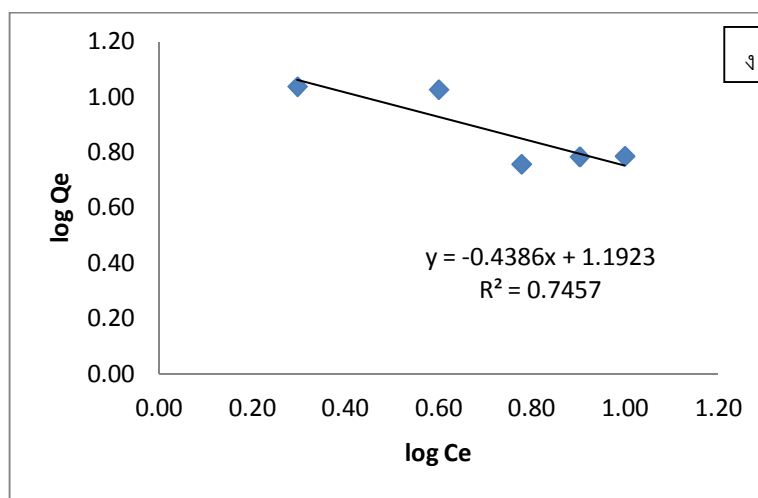
ภาพประกอบ 4.4 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของแต่ละพื้นที่ (ก) ป่าม่วงใหญ่ (ข) วนอุทยานโกสัมพี (ค) ป่าเกาะเก็ง (ง) ป่าหนองตีนบ้าน



4.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนิลิช

ผลการศึกษาไอโซเทอมของฟรอนิลิชในการดูดซับตะกั่วในดิน ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีค่ามากกว่าระหว่างค่า K_F จากการพิจารณาค่าดังกล่าวข้างต้นพบว่า ป่าม่วงใหญ่ (ภาพประกอบ 4.5ก) วนอุทยานโกสัมพี (ภาพประกอบ 4.5ข) ป่าเกาะแก้ง (ภาพประกอบ 4.5ค) และป่าหนองตีนบ้าน (ภาพประกอบ 4.5ง) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.86, 0.82, 0.77 และ 0.75 ตามลำดับ





ภาพประกอบ 4.5 ไอโซเทอมฟรอนลิชของแต่ละพื้นที่ (ก) ป่าม่วงใหญ่ (ข) วนอุทยานโกสัมพี (ค) ป่าเกาะเก็ง (ง) ป่าหนองดินบ้าน

4.5.3 สรุปค่าจากไอโซเทอมแลงเมียร์และฟรอนลิช

นำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ต่อการดูดซับสารละลายตะกั่วของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ เพื่อศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารละลายตะกั่ว โดยใช้ดินน้ำหนัก 5 กรัม สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 2 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ระยะเวลาปั่นกวนและระยะเวลาสัมผัส 30 นาที แล้วนำผลการศึกษาไปเข้าสมการการดูดซับ พบว่าทั้งพื้นที่ป่าม่วงใหญ่ วนอุทยานโกสัมพี ป่าหนองดินบ้าน และป่าเกาะเก็ง มีกลไกการดูดซับเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าฟรอนลิช เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากกว่า (ดังตาราง 4.6) จากการศึกษาไอโซเทอมสมการการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่าค่า K_L มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้ได้น้อยบนพื้นผิวตัวดูดซับ (ดิน) ซึ่งกลไกการดูดซับของแลงเมียร์คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มี การเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์, 2550)

ดังนั้น จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าพื้นที่อื่นๆ (5.91 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือ ป่าป่าเกาะเก็ง วนอุทยานโกสัมพี และป่าป่าหนองดินบ้าน (5.90, 5.28, 5.21 มิลลิกรัมต่อกรัม) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shu และ Wan (2008) ที่ได้ทำการศึกษากการดูดซับและปลดปล่อยตะกั่วของมอนต์โมริลโลไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่มของ 2:1 เช่นเดียวกับสเมกไทต์ โดยการดูดซับที่เกิดขึ้นพบว่าสมการที่มีความเหมาะสม คือ สมการของ Langmuir ซึ่งลักษณะการดูดซับเกิดจากการดูดซับบนผิวหน้าของวัสดุดูดซับที่เกิดจากหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เป็นประจุลบดูดยึดไอออนตะกั่วที่แตกตัวเป็นแคตไอออนไว้ และสัญญา และอุษา (2552) ได้นำซีโอไลท์ธรรมชาติ 2 ชนิดคือ โมเดไนต์และคลีนอบทิลโลไลต์จากจังหวัดสงขลาเป็นวัสดุตัวดูดซับโลหะ



หนัก พบว่ามีสารโลหะหนักอยู่หลายชนิดคือ ทองแดง สังกะสี โครเมียม ตะกั่ว และแคดเมียม โดยโลหะ 3 ชนิดคือ ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว เป็นพวกที่มีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน จากผลการศึกษาพบว่าไอโซเทอมของการดูดซับของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ 2 ชนิดคือ โมเดไนต์ และคลีนอบทิลโลไลต์พบว่ามีความสอดคล้องตามแลงเมียร์ไอโซเทอม (Langmuir Isotherm) มากกว่าฟรุนด์ลิชไอโซเทอม (Freundlich Adsorption Isotherm) กิติศักดิ์ และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารพิษฟอร์โบลเอสเทอร์จากน้ำมันสุปูด้าด้วยตัวดูดซับเบนโทไนต์ทางการค้า 7 ชนิด ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่าเบนโทไนต์ชนิด C และ PTT₁ มีกลไกการดูดซับที่สอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9815 และ 0.9887 และเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ศรีนทิพย์ (2550) ได้ทำการศึกษากำจัดสังกะสีและแคดเมียมไอออนในสารละลายด้วยเนื้อไม้ต้นมะละกอ โดยทำการทดลองแบบแบตช์และศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า สภาวะสมดุลที่สอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์ เมื่อทดลองสภาวะที่เหมาะสมข้างต้นโดยทำการศึกษาในคอลัมน์และใช้น้ำเสียจริงที่มีสังกะสีและแคดเมียมไอออนไหลผ่านตลอดพบว่า สภาวะดังกล่าวมีความสามารถในการกำจัดสังกะสีไอออนได้ประมาณ 0.4 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ และกำจัดแคดเมียมไอออนได้ประมาณ 0.67 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ ภูมรัตน์ (2553) ได้ทำการศึกษาการดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านรูปถ่านและถ่านกะลามะพร้าว ถูกตรวจวัดด้วย Silver Sulfide Selective Electrode โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับซัลไฟด์ไอออน ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาบ่มกวน ระยะเวลาสัมผัส และน้ำหนักของตัวดูดซับ ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการดูดซับดังกล่าวสอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของแลงเมียร์

ตาราง 4.6 ค่าไอโซเทอมในการดูดซับสารละลายตะกั่วโดยใช้ดินป่าบุงป่าทาม

พื้นที่	ไอโซเทอมแลงเมียร์			ไอโซเทอมฟรุนดิช		
	R ²	K _L	q _m (mg/g)	R ²	K _f	n (mg/g)
MY	0.98	-28.78	5.91	0.86	16.57	-2.43
GP	0.98	-23.19	5.28	0.82	16.20	-2.18
KK	0.98	-28.88	5.90	0.77	15.25	-2.70
TB	0.97	-21.76	5.21	0.75	15.57	-2.28



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติดินทางเคมีและกายภาพบางประการและความสามารถในการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ดินจากป่าบุงป่าทามทั้ง 4 พื้นที่ ได้แก่ ป่าม่วงใหญ่ วนอุทยานโกสัมพี หนองดินบ้าน และเกาะแก้ง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 งานวิจัยนี้เลือกศึกษาดินจากพื้นที่ชุ่มน้ำในจังหวัดมหาสารคาม 4 แห่ง คือ (1) ป่าม่วงใหญ่ (2) วนอุทยานโกสัมพี (3) หนองดินบ้าน และ (4) เกาะแก้ง โดยทั้ง 4 พื้นที่เป็นตัวแทนของป่าบุงป่าทาม ในแต่ละพื้นที่จะมีตัวอย่างดินทั้งหมด 8 ตัวอย่างดิน จึงจะมีตัวอย่างดินเพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติของดิน และอัตราการดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในดิน จำนวน 32 ตัวอย่าง

5.1.2 ผลการวิเคราะห์เนื้อดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ พบว่า ป่าม่วงใหญ่มีร้อยละของดินเหนียวมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในทุกการทดลอง (ร้อยละ 16.98) รองลงมาคือป่าเกาะแก้ง วนอุทยานโกสัมพี และหนองดินบ้าน (ร้อยละ 13.80, 13.40 และ 12.50 ตามลำดับ) โดยป่าม่วงใหญ่และวนอุทยานโกสัมพีมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam) ป่าหนองดินบ้านและเกาะแก้งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)

5.1.3 ผลจากการวัดค่าปฏิกิริยาดินของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ พบว่าดินของทุกพื้นที่มีปฏิกิริยาดิน เป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งป่าม่วงใหญ่มีค่าปฏิกิริยาดินอยู่ระหว่าง 6.29-7.24 วนอุทยานโกสัมพีมีค่าปฏิกิริยาดินอยู่ระหว่าง 6.33-6.86 เกาะแก้งมีค่าปฏิกิริยาดินอยู่ระหว่าง 6.39-7.16 และหนองดินบ้านมีค่าปฏิกิริยาดินอยู่ระหว่าง 6.37-6.63

5.1.4 ผลจากการวัดค่าอินทรีย์วัตถุในดินจากทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า ดินที่ป่าหนองดินบ้านมีค่าเฉลี่ยอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในทุกการทดลอง (ร้อยละ 3.06) รองลงมาคือ ป่าเกาะแก้ง วนอุทยานโกสัมพี และป่าม่วงใหญ่ (ร้อยละ 2.95, 2.88 และ 2.20 ตามลำดับ)

5.1.5 ผลจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน พบว่า ดินที่จากป่าม่วงใหญ่ (745.63 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในทุกการทดลอง รองลงมาคือป่าเกาะแก้ง วนอุทยานโกสัมพี และหนองดินบ้าน (716.63, 700.88 และ 663.08 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ)

5.1.6 ผลจากการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า ดินที่หนองดินบ้านมีค่าเฉลี่ยค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญในทุกการทดลอง (37.33 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ วนอุทยานโกสัมพี ป่าเกาะแก้ง และป่าม่วงใหญ่ (45.33, 49.92 และ 53.42 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ)

5.1.7 ผลจากการวัดปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ มีค่าแคลเซียมต่ำมากซึ่งดินที่ป่าเกาะแก้งและหนองดินบ้าน (0.29 และ 0.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) มี



ค่าเฉลี่ยแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าพื้นที่ป่าม่วงใหญ่และวนอุทยานโกสัมพี อย่างมีนัยสำคัญ (0.24 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ)

5.1.8 ผลจากการวัดปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินจากทั้ง 4 พื้นที่ พบว่า ค่าแมกนีเซียมต่ำมาก ซึ่งดินที่เกาะแก่ง มีค่าเฉลี่ยแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากกว่าพื้นที่อื่นๆ (1.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือ ป่าหนองตีนบ้าน ป่าม่วงใหญ่ และวนอุทยานโกสัมพี (1.31, 1.30, 1.22 ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ)

5.1.9 การศึกษาหาน้ำหนักที่เหมาะสมของดินทั้ง 4 พื้นที่ในสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ร้อยละการดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณดินเพิ่มขึ้น โดยมีน้ำหนักดินสูงสุดในการทดลองคือ 5 กรัม โดยดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้ร้อยละ 0.2402 ซึ่งดินวนอุทยานโกสัมพี ดินป่าหนองตีนบ้าน และดินป่าเกาะแก่ง สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้เท่ากันคือร้อยละ 0.2401 และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่เท่ากับ 9.976

5.1.10 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาปั่นกววน 30 และ 60 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ระยะเวลาปั่นกววน 30 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสารละลายตะกั่วของดิน โดยดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้ร้อยละ 0.2402 ซึ่งดินวนอุทยานโกสัมพี ดินป่าหนองตีนบ้าน และดินป่าเกาะแก่งสามารถดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ได้เท่ากันคือร้อยละ 0.2401 และมีปริมาณสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ทุกพื้นที่เท่ากับ 9.976

5.1.11 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ พบว่า การดูดซับตะกั่วลดลงตามความเข้มข้นของตะกั่วที่เพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลาย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยดินป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับสารละลายตะกั่วได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 1.264 รองลงมาคือดินพื้นที่วนอุทยานโกสัมพี ป่าเกาะแก่ง และป่าหนองตีนบ้าน (ร้อยละ 1.255, 1.225 และ 1.899 ตามลำดับ)

5.1.12 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ พบว่า การดูดซับสารละลายตะกั่วสังเคราะห์มีกลไกการดูดซับเป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าฟรุนดิช ซึ่งแสดงการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยพบว่า ดินในพื้นที่ป่าม่วงใหญ่สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าพื้นที่อื่นๆ (5.91 มิลลิกรัมต่อกรัม) รองลงมาคือ ป่าเกาะแก่ง วนอุทยานโกสัมพี และป่าหนองตีนบ้าน (5.90, 5.28, 5.21 มิลลิกรัมต่อกรัม)

จากผลดังกล่าว พบว่า ดินป่าบุงป่าทามทั้ง 4 พื้นที่ที่มีสมบัติดิน เช่น เนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน มีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว แต่อย่างไรก็ตามหากสมบัติดินมีค่าเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการดูดซับตะกั่วในดิน เพราะฉะนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์ป่าบุงป่าทามและพื้นที่การเกษตรโดยรอบ เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับตะกั่วในดิน และป้องกันการแพร่กระจายของตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำได้



5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ป่าบุ่งป่าทามมีความสำคัญกับคนในพื้นที่ค่อนข้างมากและยังคงมีความสำคัญต่อไปในอนาคต เนื่องจากประชากรในจังหวัดมหาสารคามมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะประชากรแฝง (นิสิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม) ทำให้ต้องเพิ่มสาธารณูปโภคต่างๆ โดยเฉพาะหอพักที่มีระบบจัดการน้ำที่ยังไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ

5.2.2 เมื่อเนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนมีค่าเปลี่ยนแปลง จะมีผลต่อการดูดซับตะกั่วในดิน เนื่องจากเนื้อดิน ค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนกับความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม คือมีการเพิ่มขึ้นของค่าปฏิกิริยาดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน จะทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงขึ้น เพราะฉะนั้นจึงควรมีการอนุรักษ์ป่าบุ่งป่าทาม เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับตะกั่วในดิน และป้องกันการแพร่กระจายของตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำได้

5.2.3 งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักเพียงชนิดเดียวคือตะกั่ว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีโลหะหนักชนิดอื่นๆปนเปื้อนอยู่ในดินก็ได้ เนื่องจากจังหวัดมหาสารคามมีอาชีพส่วนใหญ่คือ การเกษตรอาจทำให้ดินมีการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี. (2552). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดมหาสารคาม*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2545). *เกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2553ก). *สถิติข้อมูลภูมิอากาศ จังหวัดมหาสารคาม ปีพ.ศ. 2551-2552*. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยากระทรวงเทคโนโลยีและสารสนเทศ.
- . (2553ข). *สถานีอุตุนิยมวิทยามหาสารคาม สาขาอำเภอโกสุมพิสัย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี. (2548). *คู่มือการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- กองวิเคราะห์ดิน. (2540). *คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดินกับการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. (2532). *ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษตอนที่ 5*. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.
- กิตติศักดิ์ เสพศิริสุข วิทยา ปันสุวรรณ และนิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์. (2552). *การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารพิษฟอโรโบลเอสเทอร์ ในน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เบนโทไนต์ชนิดต่างๆ*. กรุงเทพฯ: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, 327-334.
- เกษรา จิตนิยม อัญชลี สุทธิประการ และเอิบ เขียวรีนรมย์. (2555). *การดูดซับ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ของสเมกไทต์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม จันทรแก้ว และนิพนธ์ ตั้งธรรม. (2517). *หลักการปฏิบัติในการจัดการลุ่มน้ำ*. (2522). กรุงเทพฯ: ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กัญจน์สม์ พาพล และนิพนธ์ ใจปลื้ม. (2554). *ความอุดมสมบูรณ์ของดินในป่าปาล์มสาคร*. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42(ฉบับที่ 2 พิเศษ), 25-54, พฤษภาคม – สิงหาคม.
- เข็มชิต ธนาภิชาญเจริญ นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรัชย์ ศิลาภรณ์โชติ. (2551). *ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม*. กรุงเทพฯ: โครงการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. (2541). *ปทานุกรมปฐพีวิทยา*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณะแพทยศาสตร์. (2539). *ปัญหาพิษตะกั่วและโลหะหนักในลุ่มน้ำปัตตานี*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2530). *คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). *ปฐพีวิทยา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10. (2554). *คุณภาพแม่น้ำพองแม่น้ำชีในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: สำนักปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.



- จรรยาลักษณ์ บัวผัด และสุขทัย พงศ์พัฒนศิริ. (2553). *การติดตามตรวจสอบคุณสมบัติดินและน้ำใต้ดินต่อความแปรปรวนของพรอมแดน (Ecotone) กว๊านพะเยา*. พะเยา: วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา.
- จิระ จตุรานนท์. (2526). *การกระจายตามแนวตั้งของโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนจากอ่าวไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจริญ เจริญจำรัสชีพ และรสมาริน ณ ระนอง. (2542). *คู่มือการใช้วัสดุปูนเพื่อการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยวจัด*. กรุงเทพฯ: โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเปรี้ยว, กรมพัฒนาที่ดิน.
- ชูจิตต์ สงวนทรัพย์ากร. (2552). *การใช้ประโยชน์ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ดิน*. หลักสูตรการอนุรักษ์ดินและน้ำในเขตพัฒนาที่ดิน. เอกสารประกอบการบรรยาย. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- ชัยวัฒน์ ประกิระเค. (2553). *ข่าวสารสิ่งแวดล้อมอีสาน; ลุ่มน้ำชีตอนบน*. ม.ป.ท.: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 10, สำนักปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. (2536). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดุสิต มานะขุติ. (2535). *ปฐพีวิทยาทั่วไป*. เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทศพล พรพรหม. (2545). *สารกำจัดวัชพืช: หลักการและกลไกการทำลาย*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
- เทียมชัย บัวลอย วิภาดา สอนงราชฎร์ และสมภพ สอนงราชฎร์. (2552). *การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- นวลศรี กาญจนกุล สุวรรณีย์ ภูธรธราช และชนิษฐศรี ฮุ่นตระกูล. (2543). *ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- นิพนธ์ ตังคณานุกรักษ์ และคณิตา ตังคณานุกรักษ์. (2550). *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นันทนา ชื่นอิม นุชรา สิบบัวทอง วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์ กิ่งแก้ว คุณเขต วาสนา อินแกลง และวิทสันติ หอมงาม. (2551). *การสะสมโลหะหนักในดินปลูกข้าวอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บวร ไชยษา. (2530). *ความเข้มข้นของแมงกานีส แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆบริเวณลุ่มน้ำชี*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บรรเจิด พลากร. (2523). *ทรัพยากรดิน*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- บัญชา ขวาลไชย ฐปน ชื่นบาล ศิราภรณ์ ชื่นบาล และประจวบ ฉายบุ. (2550). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 4, 297-308.
- ปภามณูษ์ ซีประเสริฐ พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และสิรินาฏ เลาะห์โรจนพันธ์. (2554). *การดูดซับและการปลดปล่อยแคดเมียมในดินนาข้าว*. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี ครั้งที่ 12 บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.



- ประสิทธิ์ คุณรัตน์ และเศกสรรค์ ยวงนิชัย. (2534). รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาสภาพแวดล้อมและ การใช้ประโยชน์ของป่าบุ่งป่าทามบริเวณแม่น้ำมูลตอนกลาง. ขอนแก่น: สถาบันวิจัยและ พัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปณวัฒน์ หมี่คุ้ม. (2545). การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียโดยใช้ดินเหนียว: ผลของความจุใน การแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินและความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายต่อการดูดซับตะกั่ว และแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ผกา สุขเกษม. (2535). ผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิตและหลักการในการวิเคราะห์โลหะปริมาณ น้อย. กรุงเทพฯ: เอกสารประกอบการฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- ฝ่ายข้อมูลเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. (2555). ข้อมูลพื้นฐานสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. เอกสาร ประกอบการประชุมวิชาการเพื่อเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปี 2555. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- พรเพ็ญ มีทองมูล. (2545). การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบาเคลือบแมงกานีส ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์ สมชาย นองเนือง และจุฑารัตน์ แสงเสถียร. (2555). การเจริญเติบโตและสมบัติดินในสวนป่าสนคาริเบีย. การประชุมการป่าไม้ ประจำปี พ.ศ. 2555, กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้.
- พิชิต พงษ์สกุล สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และสุรทิน แก้วโรจน์. (2543). การดูดซับแคดเมียมในดิน. วารสารดินและปุ๋ย, 22, 163 – 173.
- พัชรา เพ็ชรพิรุณ กำพล ลอยชื่น และศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ. (2538). การแพร่กระจายโลหะหนักในดิน ตะกอนพื้นผิวพื้นผิวบึงบอระเพ็ด. วารสารการประมง, 48(2), 148-156.
- พัชรี ธีรจินดาจจร. (2549). ดินดีเมื่อมีอินทรีย์วัตถุ. วารสารศูนย์บริการวิชาการ, 14(3), 11-16.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. (2532). การวิเคราะห์รูปแบบปริมาณโลหะหนักปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดย วิธีการสกัดล้างตามลำดับขั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- ภมรรัตน์ แยมจรัส วัชรพงษ์ วาระรัมย์ นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2553). การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านรูปลูกาและถ่านกะลามะพร้าว. การประชุม ทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
- การดี คะลา. 2541. ศักยภาพของแม่น้ำเพชรบุรีต่อการรองรับปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียส่วนเกินจาก ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภิญญา จำรัสกุล ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง พงศ์ศรี ไบอดุลย์ และพูลสุข หลุทัยธนาสันต์. (2542). การแพร่กระจายของวัตถุมีพิษในน้ำและดินตะกอน บริเวณลุ่มน้ำแม่กลองและคลองแยก. ข่าวสารวัตถุมีพิษ, 26(2), 43-56, เมษายน-มิถุนายน.
- ภูวดล โกมณเทียร. (2555). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การกักเก็บคาร์บอนในดินและลักษณะของป่าบุ่ง ป่าทามในพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำชี จังหวัดมหาสารคาม. มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.



- มนูดี หังสพฤกษ์ วิไลวรรณ ธรรมตระกูล และศิริชัย ธรรมวานิช. (2530). ธรรณีเคมีของตะกอนในแม่น้ำบางประกง. *วารสารวิจัยทางวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 12(2), 126-129.
- มหาสารคาม. (2554). *ข้อมูลเศรษฐกิจและสังคมจังหวัดมหาสารคามประจำปี พ.ศ. 2554*. ม.ป.ท.: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- มาลี สุปนต์. (2555). *กรณีศึกษาการปลูกผักเชิงพาณิชย์บ้านม่วง ตำบลโพนงาม อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม*. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเพื่อเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปี 2555. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- ยงยุทธ โอสดสภา. (2543). *ธาตุอาหารพืช*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ร่มไทร กล้าสุนทร. (2538). *สารานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ลาวรรณ พร้อมสุข เสาวนุช ถาวรพฤษ และเอิบ เขียวรัตน์. (2556). การประเมินคุณภาพดินเพื่อใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักส่วนที่ 2 จังหวัดเพชรบูรณ์. *วารสารแก่นเกษตร*, 41(ฉบับพิเศษ 2), 137-146.
- วรางคณา วิเศษมณี ลี และกาญจนา ทริมเพ็ง. (2554). *ความเป็นพิษเฉียบพลันและการกลายพันธุ์จากสารมลพิษรวมในน้ำและตะกอนดินกรณีศึกษา คลองชวดหมัน จังหวัดสมุทรปราการ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.
- วรรณสา สายแก้ว สุนิดา เถาว์โท และวุฒิกกร สายแก้ว. (2555). *การดูดซับแคดเมียมไอออนด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. เพชรบูรณ์: ราชภัฏเพชรบูรณ์.
- วาสิฎฐี อุดชาชน. (2545). *การศึกษาการดูดซับตะกั่วของดินชุดบางเลน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิโรจน์ นามไส และสุคล ลามาตย์. (2549). *การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในปลาหนองบ่อโดยเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคกราไฟต์เฟอร์เนชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีและโวลแทมเมตรี*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- วีระศักดิ์ รุ่งเรืองวงศ์ และมยุรี พรหมพุทธา. (2542). *การศึกษาการสะสมทางชีวภาพของสารโลหะหนักบางชนิดในหอยสองฝาและในตะกอนดินของลำน้ำแม่กวง*. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วัชรพงษ์ วาระรัมย์ นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และวิทยา ปันสุวรรณ. (2552). *การดูดซับพอร์มลิตไฮด์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทิลีนออกไซด์และเอทิลีนไกลคอลด้วยถ่านกัมมันต์*. รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. กรุงเทพฯ: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัชรพงษ์ วาระรัมย์ เพ็ญจันทร์ คำบาง นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. (2553). *การดูดซับพอร์มลิตไฮด์ในน้ำเสียด้วยถ่านแกลบ ถ่านญี่ปุ่น และถ่านกอก*. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรีนทิพย์ ผดุงสันติกุล. (2550). *การกำจัดและการคืนสภาพของสังกะสีและแคดเมียมในสารละลายด้วยเนื้อไม้ต้นมะละกอ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริรัตน์ ศรีเกษพีช. (2543). *การดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยดินเหนียวและดินเหนียวปรับปรุง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.



- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2545). ว.ดินและปุ๋ย 6. *ปุ๋ยอินทรีย์กับดินและพืช*, 4, 155 - 166.
- ศูนย์บริการและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรประจำตำบลโพนงาม. (2554). *แผนพัฒนาการเกษตรระดับตำบลโพนงามปี 2555-2557*. ม.ป.ท.: กรมส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์.
- ศันสนีย์ ชูแหว. (2537). *การอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำ: สถานการณ์ปัจจุบันและมาตรการที่จำเป็น*. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2543). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2543*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานสถิติ จังหวัดมหาสารคาม. (2552). *รายงานสถิติจังหวัด*. ม.ป.ท.: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- สรุปการประชุมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างหน่วยงาน. (2554). *การบริหารการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตร*. ขอนแก่น: สำนักงานพัฒนาระบบราชการ.
- ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม. (2555). *คู่มือปฏิบัติการเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์หาสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช*. กรุงเทพฯ: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ.
- สาโรจน์ เริ่มดำรง สาวิตรี แกะเรียส และเกริก วงศ์สอนธรรม. (2552). *การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชาติ มะแส. (2538). *การสะสมของแคดเมียมและปรอทในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2538 ฝ่ายตรวจรับรองคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: กรมประมง.
- สุพรรณษา เกียรติสยามภู และสุนิสา ชายเกลี้ยง. (2555). *การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนสารตะกั่วบริเวณแหล่งประมงหนองน้ำล้น*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- สุภาพร ใจการุณ สัจवाल สมบูรณ์ และสามารถ วันชนะ. (2556). *สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในอาหารท้องถิ่น*. *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 6(3), 25-39, กรกฎาคม-กันยายน.
- สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. (2547). *คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.
- สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. (2554). *แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2554-2556*. มหาสารคาม: กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม.
- อภิรดี เมืองเดช. (2545). ปริมาณโลหะหนักในหอยแครง (*Anadra Granosa*) บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. *วารสารวิทยาศาสตร์*, 2(4), 312-323.
- อรทัย วิเศษรัตน์ รินรดี งามสมบัติ ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์ และจิตติมา ประสาระเอ. (2554). *การดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อยปรับสภาพ*. มหาสารคาม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- อรพิน โทนเตี้ยว. (2553). *การบำบัดสังกะสีและทองแดงในน้ำเสียจากโรงงานผลิตโลหะโดยใช้กากชา*. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



- อรรวรรณ ฉัตรสีรุ่ง. (2551). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อารี ไชยาภินันท์ และวิภา ตั้งนิพนธ์. (2539). การสะสมของวัตถุมีพิษในดินและน้ำ ในสวนองุ่นจังหวัดราชบุรี ภายใต้โครงการลดการใช้สารเคมีทางการเกษตร. *ข่าวสารวัตถุมีพิษ*, 23(1), 11-21, มกราคม-มีนาคม.
- อัปสรสุดา ศิริพงษ์. (2526). *คู่มือการสังเกตทางสมุทรศาสตร์และวิธีวิเคราะห์สารมลพิษ*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกสารประกอบงานวันพื้นที่ชุ่มน้ำโลก. (2551). โครงการส่งเสริมนโยบายสาธารณะเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำป่าทามมูน. กรุงเทพฯ: กองทุนสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- เอิบ เขียววีร์นรมย์. (2548). *การสำรวจดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- . (2552). *คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน*. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Apple, C. and M. Leana. (2002). Concentration, pH and Surface Charge Effects on Cadmium and Lead Sorption in Three Tropical Soils. *Journal Environ Qual*, 31, 581-589.
- Adhikari, T. and M. V. Singh. (2003). Sorption Characteristics of Lead and Cadmium in Some Soil of India. *Geoderma*, 114, 81-92.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils*. New York: Halsted Press, John Willey and Son, Inc.,
- ATSDR. (2005). *Toxicological Profile for Lead, Agency for Toxic Substance and Disease Registry, ATSDR, U.S. Department of Health and Humans Services*. s.n.: Public Health Service, Center for Diseases Control, Atlanta, GA.
- Allison, L. E. (1965). Organic Carbon. In *Methods of Soil Analysis*, 2(9), 1367-1378.
- Baize, D. (1993). *Soil Science Analysis: A Guide to Current Use*. England.: John Wiley and Sons, Ltd.
- Bartram, J. and Ballance, R. (1996). *Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. London: E & FN Spon.
- Beck, R. (1999). *Soil Analysis Handbook of Reference Methods*. USA.: Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press.
- Benguella, B. and Benaissa, H., (2002). Cadmium Removal From Aqueous Solutions by Chitin: Kinetic and Equilibrium Studies. *Journal Hazard Mater*, 36, 2463-2474.
- Bower, C. A., Wilcox, L. V., Akin, G. W., and Keyes, Mary G. (1965). An Index of the Tendency of Calcium Carbonate to Precipitate From Irrigation Waters. *Soil Science Society Proceedings*, 29, 91-92.



- Boyd, C.E. (1995). *Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture*. New York: Chapman and Hall.
- Bradl, H.B. (2004). Adsorption of Heavy Metal Ions of Soils Constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 1-18.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14th ed. New Jersey, USA.: Practice-Hall, Inc.
- Cerman, I., U. Jose and I. Gracia. (1997). Speciation of Heavy Metal in Sediments From Salt Marshes on the Southern Atlantic Coast of Spain. *Marine Pollution Bulletin*, 34(2), 123-128.
- Chaignon, V., I. Sanchez-Neira, P. Herrman, B. Jailland and P. Hinsinger. (2003). Copper Bioavailability and Extractability as Related to Chemical Properties of Contaminated Soil From a Vine-Growing Area. *Environ Pollut*, 123(2), 229-238.
- Chester, R and H. vonsinon. (1981). The Initial Assessment of Trace Metal Pollution in Coastal Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 12(3), 84-91.
- Dong, D., X. Zhao, X. Hua, J. Lui and M. Gao. (2008). Investigation of the Potential Mobility of Pb, Cd and Cr (VI) From Moderately Contaminated Farmland Soil to Groundwater in Northeast, China. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 1261-1268.
- Elzahabi, M. and R.N. Yong. (2001). pH Influence on Sorption Characteristics of Heavy Metal in the Vadose Zone. *Engineering Geology*, 60(1-4), 61-68.
- Esad, P. and G. Kniewald. (1987). Heavy Metal Distribution in Recent Sediment of the Krka River Estuary. An Example of Sequential Extraction Analysis. *Marine Chemistry*, 66(1), 279-297.
- FACTSHEET. (2541). สถานการณ์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม. ปัญหาตะกั่วในลุ่มน้ำปัตตานี, 3(6), 34-48, มีนาคม.
- . (2544). สถานการณ์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม. ปัญหาของตะกั่วจากกรุงเทพฯ สู่ห้วยคลิตี และแนวทางการแก้ไขปัญหาในสภาพแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข.
- Gary, M. R., R. McAfree Jr., and C. L. Wolf. (1977). *Glossary of Geology*. American Geological Institute USA.: United States of America.
- Hudson, N. (1981). *Soil Conservation*. 2nd eds. New York: Cornell University Press.
- Jackson, M. L. (1958). *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ. Verlag: Prentice Hall, Inc.
- Kononova, M.M. (1996). *Soil Organic Matter*. New York: Pergamon Press,
- Li, Z.P., M. Liu, X.C. Wu, F.X. Han and T.L. Zhang. (2010). Effects of Long-term Chemical Fertilization and Organic Amendments on Dynamics of Soil Organic C and N in Paddy Soil Derived From Barren Land in Subtropical China. *Soil and Tillage Res*, 106, 268-274.



- Lin, Z. (1996). Secondary Mineral Phase of Metallic Lead in Soil of Shooting Ranges From Rebro Country. Sweden. *Environmental Geology*, 27(4), 370-375.
- Longon, T. J. and R. E. Feltz. (1985). Plant Uptake of Cadmium From Acid Extracted Anaerobically Digested Sewage. *Journal Environ Quail*, 14(4), 495-550.
- Mellah, A. and Chegrouche, S. (1997). The Removal of Zinc From Aqueous Solution by Natural Bentonite. *Water Research*, 31(3), 621-629.
- Mclusky, D.S. (1971). *Ecology of Estuaries*. London: Heinemann Educational.
- Michael, H-W. L., A. Yuk-Wai Tija, C. Chun-Chiu, C. Woon-pong and L. Wai-Sheung. (1997). Speciation Study of Chromium, Copper and Nickel in Coastal Estuarine Sediments Polluted by Domestic and Industrial Effluents. *Marine Pollution Bulletin*, 11(34), 949-959.
- Murphy. C. B., J. Stuart and J. Spicgel. (1982). Bioaccumulation and Toxicity of Heavy Metals and Related Trace Element. *Journal WPCF*, 54(6), 46-48.
- Naidu, R., M.E. Sunner and R.D. Harter. (1998). Sorption of Heavy Metals in Strongly Weathered Soils: An Overview. *Journal Environ Geochem Health*, 20(1), 5-9.
- National Soil Survey Center. (1996). Soil Survey Laboratory Method Manual. *Soil Survey Investigation*, 42(3), 378-394.
- P.H. Raven, L.R. Berg and G.B. Johnson. (1993). *Saunders College Publishing, Harcourt Brace and Company*. 8th Floor. USA.: Orlando, Florida Hardback.
- Pionke, H.B. and G. Chesters. (1973). Pesticide-Sediment-Water Interactions. *Journal Environ Quality*, 2, 29-45.
- Shu, Q.Z. and G.H. Wan. (2008). Adsorption behavior of Pb(II) on Montmorillonite. *Colloid Surf*, 320, 92-97.
- Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil Survey Manual*. U.S.A.: Department of Agriculture Handbook 18.
- Soil Survey Laboratory Staff. (1992). Reaction (pH) In Soil Survey Laboratory Method Manual. Soil Survey Investigations Report, 42(2), 274-276.
- Sposito, G. (2008). *The Chemistry of Soil*. USA.: Oxford Press.
- Tilahun Chibsa and A. Asefa Ta. (2009). Assessment of Soil Organic Matter under Four Land Use Systems in the Major Soils of Bale Highlands, South East Ethiopia b. Factors Affecting Soil Organic Matter Distribution. *World Applied Sciences Journal*, 35, 228-234.
- Ubalua AO, Chijioke UC, Ezeronye OU. (2007). Determination and Assessment of Heavy Metal Content in Fish and Shellfish in Aba River, Abia State, Nigeria. *KMITL Science Technology Journal*, 7(1), 16-23.



- Uddin, M.T., M.S. Islam and M.Z. Abedin. (2007). Adsorption of Phenol From Aqueous Solution by Water Hyacinth Ash Department of Chemical Engineering and Polymer Science, Bangladesh. *Polish Journal of Chemical Technology*, 10(2), 43-49.
- Vega, F.A., M.L. Andrade and E.F. Covelo. (2009). Influence of Soil Properties on the Sorption and Retention of Cadmium, Copper and Lead, Separately and Together, by 20 Soil Horizon : Comparison of Linear Regression and Tree Regression Analyses. *Journal Hazardous Materials*, 32(1), 118-125.
- Virgo, K.J. and D.A. Holmes. (1977). Soil and Land Form Features of Mountainous Terrain in South Thailand. *Geoderma*, 18, 207-225.
- Walkley, A. and I.A. Black. (1947). Chromic Acid Titration Method for Determination of Soil Organic Matter. *Soil Science Amery Proceedings*, 63, 257.
- Xiangdong, L., S. Zhenguo, W. H. W. ONYX and L. Yok-Sheung. (2001). Chemical From of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 42(3), 215-222.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติดินทางเคมี และการประเมินความ
อุดมสมบูรณ์ของดิน



ตารางภาคผนวก ก1 การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน

คำเรียกทั่วไป	ชื่อชั้นของเนื้อดินหลัก	
ดินทราย (Sandy)	เนื้อหยาบ	ได้แก่ ทรายชนิดต่างๆ ตั้งแต่ทรายหยาบมากถึงทรายละเอียดมาก และทรายปนดินร่วนถึงทรายละเอียดมากปนร่วน
	เนื้อหยาบปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายชนิดต่างๆ ตั้งแต่ดินร่วนปนทรายหยาบถึงดินร่วนปนทรายละเอียด
ดินร่วน (Loamy)	เนื้อปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง	ได้แก่ ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (Clayey)	เนื้อดินละเอียด	ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียว

ที่มา: เอิบ, 2552; Soil Survey Division Staff, 1993.

ตารางภาคผนวก ก2 การจัดกลุ่มขนาดอนุภาคดิน

ชื่อกลุ่มขนาด	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)		
	USDA ¹	ISSS ²	Wentworth ²
กรวด (gravel)	2-64	>2	>2
ทรายหยาบมาก (very coarse sand)	1-2		1-2
ทรายหยาบ (coarse sand)	0.5-1	0.2-2	0.5-1
ทรายปานกลาง (medium sand)	0.25-0.5		0.25-0.5
ทรายละเอียด (fine sand)	0.1-0.25	0.02-0.2	0.125-0.25
ทรายละเอียดมาก (very fine sand)	0.05-0.1		0.063-0.125
ทรายแป้ง (silt)	0.002-0.05	0.002-0.02	0.004-0.063
ดินเหนียว (clay)	<0.002	<0.002	0.00024-0.004

ที่มา: 1 Boyd, 1995.

2 Bartram and Balance, 1996.

หมายเหตุ USDA = United States Department of Agriculture

ISSS = International Society of soil Science



ตารางภาคผนวก ก3 การแปลผลค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน เมื่อวัดที่จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ และอุณหภูมิ 25°C

EC _e (mS/cm)	ระดับความเค็ม	ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช
0 – 2	ไม่เค็ม	ไม่มีผลกระทบ
2 – 4	เค็มน้อยมาก	อาจมีผลกระทบต่อน้ำที่ไวต่อความเค็ม
4 – 8	เค็มปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำหลายชนิด
8 – 16	เค็มจัด	มีผลกระทบต่อน้ำทั่วไป ยกเว้นพืชทนเค็ม
> 16	เค็มจัดมาก	กระทบต่อน้ำทุกชนิด ยกเว้นบางชนิด เช่น หญ้าทนเค็ม

ที่มา: Beck, 1999; Bower and Wilcox , 1965; Jackson, 1958.

ตารางภาคผนวก ก4 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 and Wilcox , 1965; Jackson, 1958

ตารางภาคผนวก ก5 ระดับปริมาณความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

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

ที่มา: Beck, 1999; Bower and Wilcox , 1965; Jackson, 1958



ตารางภาคผนวก ก6 ระดับอินทรีย์วัตถุที่ใช้เป็นมาตรฐาน

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: กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

ตารางภาคผนวก ก7 ระดับปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

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

ตารางภาคผนวก ก8 ระดับปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

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



ตารางภาคผนวก ก9 ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	<1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	>7.5

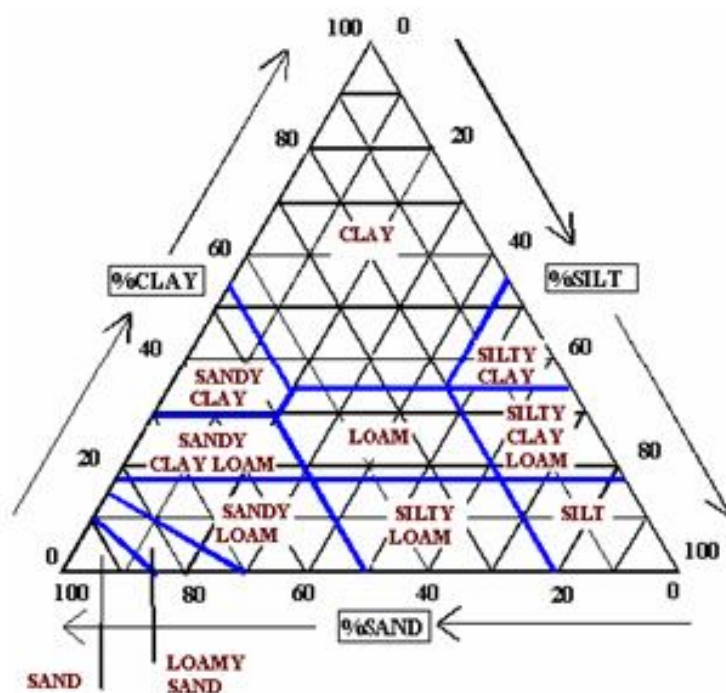
หมายเหตุ : VL = ต่ำมาก (Very low)

L = ต่ำ (Low)

M = ปานกลาง (Medium)

H = สูง (High)

VH = สูงมาก (Very high)



ที่มา: Boyd (1995)

ภาพประกอบภาคผนวก ก1 ตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทเนื้อดิน



ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง



ตารางภาคผนวก ข1 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลื่ออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	1.9770	1.9770	1.9759	1.9749	1.1515	1.1515	1.2033	1.2552
2	A1u-2	1.9770	1.9770	1.9759	1.9749	1.1515	1.1515	1.2033	1.2552
3	A1u-3	1.9772	1.9770	1.9759	1.9749	1.1411	1.1515	1.2033	1.2552
4	A1L-1	1.9772	1.9766	1.9759	1.9749	1.1411	1.1722	1.2033	1.2552
5	A1L-2	1.9763	1.9759	1.9763	1.9749	1.1826	1.2033	1.1826	1.2552
6	A1L-3	1.9766	1.9763	1.9753	1.9749	1.1722	1.1826	1.2344	1.2552
7	A2u-1	1.9755	1.9763	1.9755	1.9749	1.2241	1.1826	1.2241	1.2552
8	A2u-2	1.9759	1.9763	1.9759	1.9743	1.2033	1.1826	1.2033	1.2863
9	A2u-3	1.9770	1.9755	1.9761	1.9743	1.1515	1.2241	1.1929	1.2863
10	A2L-1	1.9763	1.9770	1.9763	1.9747	1.1826	1.1515	1.1826	1.2656
11	A2L-2	1.9763	1.9770	1.9761	1.9747	1.1826	1.1515	1.1929	1.2656
12	A2L-3	1.9770	1.9759	1.9759	1.9749	1.1515	1.2033	1.2033	1.2552
13	A3u-1	1.9763	1.9755	1.9759	1.9749	1.1826	1.2241	1.2033	1.2552
14	A3u-2	1.9759	1.9757	1.9759	1.9749	1.2033	1.2137	1.2033	1.2552
15	A3u-3	1.9763	1.9763	1.9751	1.9743	1.1826	1.1826	1.2448	1.2863
16	A3L-1	1.9770	1.9761	1.9753	1.9743	1.1515	1.1929	1.2344	1.2863
17	A3L-2	1.9770	1.9763	1.9755	1.9749	1.1515	1.1826	1.2241	1.2552
18	A3L-3	1.9755	1.9766	1.9759	1.9743	1.2241	1.1722	1.2033	1.2863
19	A4u-1	1.9770	1.9770	1.9759	1.9749	1.1515	1.1515	1.2033	1.2552
20	A4u-2	1.9763	1.9770	1.9759	1.9749	1.1826	1.1515	1.2033	1.2552
21	A4u-3	1.9766	1.9770	1.9763	1.9749	1.1722	1.1515	1.1826	1.2552
22	A4L-1	1.9753	1.9766	1.9753	1.9745	1.2344	1.1722	1.2344	1.2759
23	A4L-2	1.9753	1.9759	1.9759	1.9749	1.2344	1.2033	1.2033	1.2552
24	A4L-3	1.9759	1.9770	1.9755	1.9745	1.2033	1.1515	1.2241	1.2759
25	B1u-1	1.9770	1.9770	1.9759	1.9749	1.1515	1.1515	1.2033	1.2552
26	B1u-2	1.9755	1.9770	1.9759	1.9751	1.2241	1.1515	1.2033	1.2448
27	B1u-3	1.9766	1.9763	1.9759	1.9749	1.1722	1.1826	1.2033	1.2552
28	B1L-1	1.9766	1.9763	1.9759	1.9749	1.1722	1.1826	1.2033	1.2552
29	B1L-2	1.9763	1.9766	1.9759	1.9749	1.1826	1.1722	1.2033	1.2552



ตารางภาคผนวก ข1 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
30	B1L-3	1.9770	1.9770	1.9755	1.9751	1.1515	1.1515	1.2241	1.2448
31	B2u-1	1.9770	1.9770	1.9755	1.9747	1.1515	1.1515	1.2241	1.2656
32	B2u-2	1.9768	1.9755	1.9766	1.9755	1.1618	1.2241	1.1722	1.2241
33	B2u-3	1.9770	1.9770	1.9755	1.9755	1.1515	1.1515	1.2241	1.2241
34	B2L-1	1.9770	1.9759	1.9759	1.9759	1.1515	1.2033	1.2033	1.2033
35	B2L-2	1.9770	1.9759	1.9759	1.9747	1.1515	1.2033	1.2033	1.2656
36	B2L-3	1.9768	1.9759	1.9766	1.9745	1.1618	1.2033	1.1722	1.2759
37	B3u-1	1.9759	1.9770	1.9763	1.9743	1.2033	1.1515	1.1826	1.2863
38	B3u-2	1.9763	1.9766	1.9763	1.9751	1.1826	1.1722	1.1826	1.2448
39	B3u-3	1.9770	1.9761	1.9759	1.9747	1.1515	1.1929	1.2033	1.2656
40	B3L-1	1.9770	1.9770	1.9759	1.9743	1.1515	1.1515	1.2033	1.2863
41	B3L-2	1.9759	1.9770	1.9759	1.9743	1.2033	1.1515	1.2033	1.2863
42	B3L-3	1.9759	1.9770	1.9759	1.9743	1.2033	1.1515	1.2033	1.2863
43	B4u-1	1.9761	1.9770	1.9759	1.9755	1.1929	1.1515	1.2033	1.2241
44	B4u-2	1.9766	1.9768	1.9768	1.9745	1.1722	1.1618	1.1618	1.2759
45	B4u-3	1.9770	1.9770	1.9770	1.9749	1.1515	1.1515	1.1515	1.2552
46	B4L-1	1.9770	1.9755	1.9759	1.9749	1.1515	1.2241	1.2033	1.2552
47	B4L-2	1.9770	1.9759	1.9759	1.9755	1.1515	1.2033	1.2033	1.2241
48	B4L-3	1.9755	1.9766	1.9761	1.9749	1.2241	1.1722	1.1929	1.2552
49	C1u-1	1.9774	1.9772	1.9761	1.9753	1.1307	1.1411	1.1929	1.2344
50	C1u-2	1.9776	1.9772	1.9763	1.9755	1.1203	1.1411	1.1826	1.2241
51	C1u-3	1.9774	1.9776	1.9766	1.9753	1.1307	1.1203	1.1722	1.2344
52	C1L-1	1.9776	1.9780	1.9761	1.9753	1.1203	1.0996	1.1929	1.2344
53	C1L-2	1.9774	1.9772	1.9761	1.9753	1.1307	1.1411	1.1929	1.2344
54	C1L-3	1.9774	1.9772	1.9761	1.9766	1.1307	1.1411	1.1929	1.1722
55	C2u-1	1.9780	1.9772	1.9763	1.9766	1.0996	1.1411	1.1826	1.1722
56	C2u-2	1.9774	1.9774	1.9761	1.9763	1.1307	1.1307	1.1929	1.1826
57	C2u-3	1.9774	1.9772	1.9761	1.9753	1.1307	1.1411	1.1929	1.2344
58	C2L-1	1.9774	1.9772	1.9753	1.9753	1.1307	1.1411	1.2344	1.2344
59	C2L-2	1.9776	1.9772	1.9761	1.9753	1.1203	1.1411	1.1929	1.2344



ตารางภาคผนวก ข1 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
60	C2L-3	1.9780	1.9772	1.9761	1.9753	1.0996	1.1411	1.1929	1.2344
61	C3u-1	1.9774	1.9772	1.9761	1.9753	1.1307	1.1411	1.1929	1.2344
62	C3u-2	1.9774	1.9780	1.9759	1.9753	1.1307	1.0996	1.2033	1.2344
63	C3u-3	1.9774	1.9780	1.9761	1.9759	1.1307	1.0996	1.1929	1.2033
64	C3L-1	1.9780	1.9772	1.9761	1.9755	1.0996	1.1411	1.1929	1.2241
65	C3L-2	1.9776	1.9776	1.9766	1.9753	1.1203	1.1203	1.1722	1.2344
66	C3L-3	1.9774	1.9772	1.9761	1.9751	1.1307	1.1411	1.1929	1.2448
67	C4u-1	1.9774	1.9772	1.9776	1.9749	1.1307	1.1411	1.1203	1.2552
68	C4u-2	1.9774	1.9772	1.9761	1.9753	1.1307	1.1411	1.1929	1.2344
69	C4u-3	1.9776	1.9780	1.9761	1.9753	1.1203	1.0996	1.1929	1.2344
70	C4L-1	1.9774	1.9772	1.9749	1.9755	1.1307	1.1411	1.2552	1.2241
71	C4L-2	1.9784	1.9776	1.9761	1.9755	1.0788	1.1203	1.1929	1.2241
72	C4L-3	1.9790	1.9772	1.9761	1.9753	1.0477	1.1411	1.1929	1.2344
73	D1u-1	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
74	D1u-2	1.9780	1.9780	1.9772	1.9759	1.0996	1.0996	1.1411	1.2033
75	D1u-3	1.9780	1.9784	1.9770	1.9759	1.0996	1.0788	1.1515	1.2033
76	D1L-1	1.9784	1.9780	1.9753	1.9749	1.0788	1.0996	1.2344	1.2552
77	D1L-2	1.9780	1.9772	1.9770	1.9759	1.0996	1.1411	1.1515	1.2033
78	D1L-3	1.9780	1.9770	1.9770	1.9757	1.0996	1.1515	1.1515	1.2137
79	D2u-1	1.9780	1.9780	1.9770	1.9757	1.0996	1.0996	1.1515	1.2137
80	D2u-2	1.9790	1.9776	1.9797	1.9759	1.0477	1.1203	1.0166	1.2033
81	D2u-3	1.9784	1.9780	1.9770	1.9759	1.0788	1.0996	1.1515	1.2033
82	D2L-1	1.9786	1.9780	1.9770	1.9766	1.0685	1.0996	1.1515	1.1722
83	D2L-2	1.9788	1.9780	1.9770	1.9759	1.0581	1.0996	1.1515	1.2033
84	D2L-3	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
85	D3u-1	1.9780	1.9780	1.9753	1.9759	1.0996	1.0996	1.2344	1.2033
86	D3u-2	1.9780	1.9747	1.9755	1.9811	1.0996	1.2656	1.2241	0.9440
87	D3u-3	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
88	D3L-1	1.9772	1.9790	1.9770	1.9759	1.1411	1.0477	1.1515	1.2033
89	D3L-2	1.9790	1.9793	1.9770	1.9776	1.0477	1.0373	1.1515	1.1203



ตารางภาคผนวก ข1 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
89	D3L-2	1.9790	1.9793	1.9770	1.9776	1.0477	1.0373	1.1515	1.1203
90	D3L-3	1.9790	1.9780	1.9770	1.9759	1.0477	1.0996	1.1515	1.2033
91	D4u-1	1.9780	1.9780	1.9772	1.9763	1.0996	1.0996	1.1411	1.1826
92	D4u-2	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
93	D4u-3	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
94	D4L-1	1.9776	1.9776	1.9776	1.9759	1.1203	1.1203	1.1203	1.2033
95	D4L-2	1.9780	1.9780	1.9770	1.9759	1.0996	1.0996	1.1515	1.2033
96	D4L-3	1.9780	1.9782	1.9770	1.9759	1.0996	1.0892	1.1515	1.2033

ตารางภาคผนวก ข2 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	3.9780	3.9770	3.9751	3.9749	0.550	0.576	0.622	0.628
2	A1u-2	3.9774	3.9770	3.9749	3.9747	0.565	0.576	0.628	0.633
3	A1u-3	3.9780	3.9770	3.9755	3.9749	0.550	0.576	0.612	0.628
4	A1L-1	3.9780	3.9768	3.9755	3.9749	0.550	0.581	0.612	0.628
5	A1L-2	3.9780	3.9766	3.9755	3.9751	0.550	0.586	0.612	0.622
6	A1L-3	3.9780	3.9770	3.9751	3.9755	0.550	0.576	0.622	0.612
7	A2u-1	3.9788	3.9755	3.9747	3.9749	0.529	0.612	0.633	0.628
8	A2u-2	3.9790	3.9766	3.9745	3.9739	0.524	0.586	0.638	0.654
9	A2u-3	3.9786	3.9766	3.9747	3.9734	0.534	0.586	0.633	0.664
10	A2L-1	3.9780	3.9770	3.9751	3.9749	0.550	0.576	0.622	0.628
11	A2L-2	3.9780	3.9770	3.9747	3.9749	0.550	0.576	0.633	0.628
12	A2L-3	3.9782	3.9770	3.9749	3.9749	0.545	0.576	0.628	0.628
13	A3u-1	3.9780	3.9772	3.9759	3.9747	0.550	0.571	0.602	0.633
14	A3u-2	3.9780	3.9770	3.9751	3.9749	0.550	0.576	0.622	0.628
15	A3u-3	3.9780	3.9772	3.9755	3.9749	0.550	0.571	0.612	0.628



ตารางภาคผนวก ข2 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
16	A3L-1	3.9782	3.9770	3.9755	3.9747	0.545	0.576	0.612	0.633
17	A3L-2	3.9784	3.9759	3.9759	3.9747	0.539	0.602	0.602	0.633
18	A3L-3	3.9786	3.9763	3.9759	3.9747	0.534	0.591	0.602	0.633
19	A4u-1	3.9780	3.9770	3.9768	3.9747	0.550	0.576	0.581	0.633
20	A4u-2	3.9790	3.9770	3.9763	3.9749	0.524	0.576	0.591	0.628
21	A4u-3	3.9780	3.9770	3.9751	3.9747	0.550	0.576	0.622	0.633
22	A4L-1	3.9784	3.9768	3.9751	3.9749	0.539	0.581	0.622	0.628
23	A4L-2	3.9782	3.9770	3.9751	3.9749	0.545	0.576	0.622	0.628
24	A4L-3	3.9780	3.9759	3.9755	3.9749	0.550	0.602	0.612	0.628
25	B1u-1	3.9801	3.9780	3.9759	3.9749	0.4979	0.5498	0.6017	0.6276
26	B1u-2	3.9801	3.9784	3.9755	3.9749	0.4979	0.5394	0.6120	0.6276
27	B1u-3	3.9805	3.9790	3.9763	3.9749	0.4876	0.5239	0.5913	0.6276
28	B1L-1	3.9801	3.9780	3.9768	3.9739	0.4979	0.5498	0.5809	0.6535
29	B1L-2	3.9801	3.9780	3.9763	3.9747	0.4979	0.5498	0.5913	0.6328
30	B1L-3	3.9801	3.9780	3.9763	3.9743	0.4979	0.5498	0.5913	0.6432
31	B2u-1	3.9809	3.9784	3.9749	3.9749	0.4772	0.5394	0.6276	0.6276
32	B2u-2	3.9801	3.9786	3.9747	3.9749	0.4979	0.5342	0.6328	0.6276
33	B2u-3	3.9801	3.9776	3.9749	3.9749	0.4979	0.5602	0.6276	0.6276
34	B2L-1	3.9780	3.9788	3.9759	3.9751	0.5498	0.5290	0.6017	0.6224
35	B2L-2	3.9801	3.9780	3.9759	3.9755	0.4979	0.5498	0.6017	0.6120
36	B2L-3	3.9801	3.9780	3.9763	3.9749	0.4979	0.5498	0.5913	0.6276
37	B3u-1	3.9801	3.9784	3.9766	3.9749	0.4979	0.5394	0.5861	0.6276
38	B3u-2	3.9809	3.9784	3.9768	3.9747	0.4772	0.5394	0.5809	0.6328
39	B3u-3	3.9805	3.9788	3.9766	3.9739	0.4876	0.5290	0.5861	0.6535
40	B3L-1	3.9807	3.9780	3.9770	3.9749	0.4824	0.5498	0.5757	0.6276
41	B3L-2	3.9807	3.9780	3.9759	3.9749	0.4824	0.5498	0.6017	0.6276
42	B3L-3	3.9801	3.9780	3.9770	3.9749	0.4979	0.5498	0.5757	0.6276
43	B4u-1	3.9801	3.9784	3.9770	3.9745	0.4979	0.5394	0.5757	0.6380
44	B4u-2	3.9801	3.9784	3.9759	3.9747	0.4979	0.5394	0.6017	0.6328
45	B4u-3	3.9801	3.9780	3.9770	3.9739	0.4979	0.5498	0.5757	0.6535



ตารางภาคผนวก ข2 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
46	B4L-1	3.9805	3.9776	3.9768	3.9749	0.4876	0.5602	0.5809	0.6276
47	B4L-2	3.9807	3.9780	3.9768	3.9745	0.4824	0.5498	0.5809	0.6380
48	B4L-3	3.9811	3.9780	3.9763	3.9749	0.4720	0.5498	0.5913	0.6276
49	C1u-1	3.9774	3.9772	3.9747	3.9743	0.5654	0.5705	0.6328	0.6432
50	C1u-2	3.9786	3.9770	3.9751	3.9747	0.5342	0.5757	0.6224	0.6328
51	C1u-3	3.9780	3.9770	3.9747	3.9743	0.5498	0.5757	0.6328	0.6432
52	C1L-1	3.9776	3.9772	3.9768	3.9743	0.5602	0.5705	0.5809	0.6432
53	C1L-2	3.9774	3.9772	3.9759	3.9753	0.5654	0.5705	0.6017	0.6172
54	C1L-3	3.9774	3.9772	3.9770	3.9759	0.5654	0.5705	0.5757	0.6017
55	C2u-1	3.9788	3.9770	3.9753	3.9751	0.5290	0.5757	0.6172	0.6224
56	C2u-2	3.9790	3.9770	3.9753	3.9751	0.5239	0.5757	0.6172	0.6224
57	C2u-3	3.9786	3.9772	3.9755	3.9751	0.5342	0.5705	0.6120	0.6224
58	C2L-1	3.9776	3.9772	3.9768	3.9749	0.5602	0.5705	0.5809	0.6276
59	C2L-2	3.9774	3.9776	3.9763	3.9751	0.5654	0.5602	0.5913	0.6224
60	C2L-3	3.9774	3.9780	3.9768	3.9749	0.5654	0.5498	0.5809	0.6276
61	C3u-1	3.9774	3.9772	3.9751	3.9743	0.5654	0.5705	0.6224	0.6432
62	C3u-2	3.9774	3.9780	3.9755	3.9747	0.5654	0.5498	0.6120	0.6328
63	C3u-3	3.9774	3.9780	3.9755	3.9747	0.5654	0.5498	0.6120	0.6328
64	C3L-1	3.9747	3.9772	3.9763	3.9755	0.6328	0.5705	0.5913	0.6120
65	C3L-2	3.9790	3.9770	3.9766	3.9753	0.5239	0.5757	0.5861	0.6172
66	C3L-3	3.9776	3.9770	3.9766	3.9753	0.5602	0.5757	0.5861	0.6172
67	C4u-1	3.9774	3.9770	3.9749	3.9743	0.5654	0.5757	0.6276	0.6432
68	C4u-2	3.9774	3.9772	3.9747	3.9743	0.5654	0.5705	0.6328	0.6432
69	C4u-3	3.9774	3.9770	3.9749	3.9745	0.5654	0.5757	0.6276	0.6380
70	C4L-1	3.9788	3.9772	3.9759	3.9749	0.5290	0.5705	0.6017	0.6276
71	C4L-2	3.9786	3.9772	3.9755	3.9749	0.5342	0.5705	0.6120	0.6276
72	C4L-3	3.9788	3.9770	3.9755	3.9743	0.5290	0.5757	0.6120	0.6432
73	D1u-1	3.9790	3.9780	3.9749	3.9747	0.5239	0.5498	0.6276	0.6328
74	D1u-2	3.9790	3.9780	3.9751	3.9743	0.5239	0.5498	0.6224	0.6432
75	D1u-3	3.9790	3.9790	3.9751	3.9743	0.5239	0.5239	0.6224	0.6432



ตารางภาคผนวก ข2 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
76	D1L-1	3.9793	3.9780	3.9768	3.9757	0.5187	0.5498	0.5809	0.6068
77	D1L-2	3.9801	3.9776	3.9768	3.9757	0.4979	0.5602	0.5809	0.6068
78	D1L-3	3.9793	3.9780	3.9770	3.9759	0.5187	0.5498	0.5757	0.6017
79	D2u-1	3.9790	3.9780	3.9755	3.9749	0.5239	0.5498	0.6120	0.6276
80	D2u-2	3.9790	3.9786	3.9759	3.9751	0.5239	0.5342	0.6017	0.6224
81	D2u-3	3.9780	3.9780	3.9759	3.9751	0.5498	0.5498	0.6017	0.6224
82	D2L-1	3.9790	3.9784	3.9770	3.9763	0.5239	0.5394	0.5757	0.5913
83	D2L-2	3.9786	3.9772	3.9770	3.9759	0.5342	0.5705	0.5757	0.6017
84	D2L-3	3.9780	3.9759	3.9770	3.9763	0.5498	0.6017	0.5757	0.5913
85	D3u-1	3.9784	3.9790	3.9755	3.9749	0.5394	0.5239	0.6120	0.6276
86	D3u-2	3.9782	3.9780	3.9749	3.9743	0.5446	0.5498	0.6276	0.6432
87	D3u-3	3.9790	3.9780	3.9759	3.9749	0.5239	0.5498	0.6017	0.6276
88	D3L-1	3.9780	3.9780	3.9763	3.9755	0.5498	0.5498	0.5913	0.6120
89	D3L-2	3.9790	3.9780	3.9763	3.9755	0.5239	0.5498	0.5913	0.6120
90	D3L-3	3.9790	3.9780	3.9768	3.9759	0.5239	0.5498	0.5809	0.6017
91	D4u-1	3.9790	3.9749	3.9755	3.9751	0.5239	0.6276	0.6120	0.6224
92	D4u-2	3.9790	3.9753	3.9751	3.9743	0.5239	0.6172	0.6224	0.6432
93	D4u-3	3.9790	3.9759	3.9751	3.9743	0.5239	0.6017	0.6224	0.6432
94	D4L-1	3.9770	3.9780	3.9755	3.9751	0.5757	0.5498	0.6120	0.6224
95	D4L-2	3.9772	3.9780	3.9759	3.9751	0.5705	0.5498	0.6017	0.6224
96	D4L-3	3.9780	3.9780	3.9759	3.9751	0.5498	0.5498	0.6017	0.6224



ตารางภาคผนวก ข3 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลื่ออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	5.9863	5.9853	5.9790	5.9788	0.2282	0.2455	0.3492	0.3527
2	A1u-2	5.9865	5.9851	5.9801	5.9780	0.2248	0.2490	0.3320	0.3665
3	A1u-3	5.9863	5.9853	5.9809	5.9784	0.2282	0.2455	0.3181	0.3596
4	A1L-1	5.9863	5.9826	5.9801	5.9790	0.2282	0.2905	0.3320	0.3492
5	A1L-2	5.9863	5.9836	5.9801	5.9780	0.2282	0.2732	0.3320	0.3665
6	A1L-3	5.9863	5.9842	5.9809	5.9780	0.2282	0.2628	0.3181	0.3665
7	A2u-1	5.9865	5.9853	5.9793	5.9790	0.2248	0.2455	0.3458	0.3492
8	A2u-2	5.9871	5.9853	5.9788	5.9788	0.2144	0.2455	0.3527	0.3527
9	A2u-3	5.9865	5.9853	5.9784	5.9790	0.2248	0.2455	0.3596	0.3492
10	A2L-1	5.9863	5.9853	5.9793	5.9774	0.2282	0.2455	0.3458	0.3769
11	A2L-2	5.9863	5.9855	5.9805	5.9774	0.2282	0.2420	0.3250	0.3769
12	A2L-3	5.9863	5.9859	5.9797	5.9780	0.2282	0.2351	0.3389	0.3665
13	A3u-1	5.9863	5.9842	5.9811	5.9780	0.2282	0.2628	0.3147	0.3665
14	A3u-2	5.9863	5.9846	5.9809	5.9780	0.2282	0.2559	0.3181	0.3665
15	A3u-3	5.9855	5.9846	5.9801	5.9780	0.2420	0.2559	0.3320	0.3665
16	A3L-1	5.9863	5.9853	5.9793	5.9793	0.2282	0.2455	0.3458	0.3458
17	A3L-2	5.9867	5.9853	5.9805	5.9786	0.2213	0.2455	0.3250	0.3562
18	A3L-3	5.9865	5.9851	5.9803	5.9784	0.2248	0.2490	0.3285	0.3596
19	A4u-1	5.9863	5.9853	5.9801	5.9790	0.2282	0.2455	0.3320	0.3492
20	A4u-2	5.9863	5.9851	5.9797	5.9788	0.2282	0.2490	0.3389	0.3527
21	A4u-3	5.9871	5.9851	5.9805	5.9780	0.2144	0.2490	0.3250	0.3665
22	A4L-1	5.9869	5.9853	5.9790	5.9776	0.2178	0.2455	0.3492	0.3734
23	A4L-2	5.9867	5.9853	5.9788	5.9780	0.2213	0.2455	0.3527	0.3665
24	A4L-3	5.9865	5.9853	5.9788	5.9780	0.2248	0.2455	0.3527	0.3665
25	B1u-1	5.9884	5.9853	5.9790	5.9780	0.1936	0.2455	0.3492	0.3665
26	B1u-2	5.9884	5.9853	5.9790	5.9780	0.1936	0.2455	0.3492	0.3665
27	B1u-3	5.9884	5.9853	5.9793	5.9784	0.1936	0.2455	0.3458	0.3596
28	B1L-1	5.9890	5.9853	5.9797	5.9788	0.1833	0.2455	0.3389	0.3527
29	B1L-2	5.9892	5.9863	5.9811	5.9786	0.1798	0.2282	0.3147	0.3562



ตารางภาคผนวก ข3 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
30	B1L-3	5.9884	5.9859	5.9807	5.9788	0.1936	0.2351	0.3216	0.3527
31	B2u-1	5.9884	5.9857	5.9790	5.9774	0.1936	0.2386	0.3492	0.3769
32	B2u-2	5.9888	5.9857	5.9784	5.9747	0.1867	0.2386	0.3596	0.4219
33	B2u-3	5.9884	5.9871	5.9790	5.9780	0.1936	0.2144	0.3492	0.3665
34	B2L-1	5.9884	5.9853	5.9801	5.9786	0.1936	0.2455	0.3320	0.3562
35	B2L-2	5.9886	5.9842	5.9799	5.9784	0.1902	0.2628	0.3354	0.3596
36	B2L-3	5.9880	5.9842	5.9799	5.9786	0.2006	0.2628	0.3354	0.3562
37	B3u-1	5.9884	5.9853	5.9786	5.9776	0.1936	0.2455	0.3562	0.3734
38	B3u-2	5.9884	5.9853	5.9784	5.9780	0.1936	0.2455	0.3596	0.3665
39	B3u-3	5.9884	5.9853	5.9788	5.9780	0.1936	0.2455	0.3527	0.3665
40	B3L-1	5.9892	5.9838	5.9790	5.9786	0.1798	0.2697	0.3492	0.3562
41	B3L-2	5.9892	5.9836	5.9801	5.9788	0.1798	0.2732	0.3320	0.3527
42	B3L-3	5.9890	5.9842	5.9805	5.9784	0.1833	0.2628	0.3250	0.3596
43	B4u-1	5.9884	5.9853	5.9784	5.9780	0.1936	0.2455	0.3596	0.3665
44	B4u-2	5.9886	5.9853	5.9786	5.9780	0.1902	0.2455	0.3562	0.3665
45	B4u-3	5.9884	5.9853	5.9786	5.9788	0.1936	0.2455	0.3562	0.3527
46	B4L-1	5.9884	5.9859	5.9811	5.9776	0.1936	0.2351	0.3147	0.3734
47	B4L-2	5.9888	5.9853	5.9801	5.9784	0.1867	0.2455	0.3320	0.3596
48	B4L-3	5.9878	5.9855	5.9801	5.9784	0.2040	0.2420	0.3320	0.3596
49	C1u-1	5.9863	5.9853	5.9790	5.9782	0.2282	0.2455	0.3492	0.3631
50	C1u-2	5.9859	5.9853	5.9790	5.9776	0.2351	0.2455	0.3492	0.3734
51	C1u-3	5.9863	5.9853	5.9784	5.9788	0.2282	0.2455	0.3596	0.3527
52	C1L-1	5.9853	5.9853	5.9790	5.9780	0.2455	0.2455	0.3492	0.3665
53	C1L-2	5.9863	5.9853	5.9801	5.9780	0.2282	0.2455	0.3320	0.3665
54	C1L-3	5.9873	5.9853	5.9801	5.9786	0.2109	0.2455	0.3320	0.3562
55	C2u-1	5.9873	5.9830	5.9788	5.9776	0.2109	0.2835	0.3527	0.3734
56	C2u-2	5.9869	5.9836	5.9795	5.9776	0.2178	0.2732	0.3423	0.3734
57	C2u-3	5.9871	5.9849	5.9790	5.9790	0.2144	0.2524	0.3492	0.3492
58	C2L-1	5.9863	5.9853	5.9801	5.9788	0.2282	0.2455	0.3320	0.3527
59	C2L-2	5.9863	5.9855	5.9801	5.9788	0.2282	0.2420	0.3320	0.3527



ตารางภาคผนวก ข3 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
60	C2L-3	5.9863	5.9849	5.9801	5.9788	0.2282	0.2524	0.3320	0.3527
61	C3u-1	5.9851	5.9838	5.9803	5.9774	0.2490	0.2697	0.3285	0.3769
62	C3u-2	5.9849	5.9842	5.9811	5.9780	0.2524	0.2628	0.3147	0.3665
63	C3u-3	5.9863	5.9853	5.9811	5.9780	0.2282	0.2455	0.3147	0.3665
64	C3L-1	5.9863	5.9849	5.9807	5.9788	0.2282	0.2524	0.3216	0.3527
65	C3L-2	5.9865	5.9849	5.9811	5.9788	0.2248	0.2524	0.3147	0.3527
66	C3L-3	5.9865	5.9849	5.9807	5.9784	0.2248	0.2524	0.3216	0.3596
67	C4u-1	5.9863	5.9851	5.9807	5.9786	0.2282	0.2490	0.3216	0.3562
68	C4u-2	5.9863	5.9855	5.9807	5.9784	0.2282	0.2420	0.3216	0.3596
69	C4u-3	5.9863	5.9857	5.9801	5.9780	0.2282	0.2386	0.3320	0.3665
70	C4L-1	5.9873	5.9853	5.9811	5.9786	0.2109	0.2455	0.3147	0.3562
71	C4L-2	5.9873	5.9853	5.9797	5.9788	0.2109	0.2455	0.3389	0.3527
72	C4L-3	5.9867	5.9855	5.9805	5.9788	0.2213	0.2420	0.3250	0.3527
73	D1u-1	5.9884	5.9853	5.9793	5.9776	0.1936	0.2455	0.3458	0.3734
74	D1u-2	5.9894	5.9853	5.9801	5.9780	0.1763	0.2455	0.3320	0.3665
75	D1u-3	5.9890	5.9830	5.9795	5.9780	0.1833	0.2835	0.3423	0.3665
76	D1L-1	5.9890	5.9855	5.9813	5.9793	0.1833	0.2420	0.3112	0.3458
77	D1L-2	5.9890	5.9842	5.9813	5.9774	0.1833	0.2628	0.3112	0.3769
78	D1L-3	5.9884	5.9853	5.9809	5.9780	0.1936	0.2455	0.3181	0.3665
79	D2u-1	5.9842	5.9853	5.9784	5.9784	0.2628	0.2455	0.3596	0.3596
80	D2u-2	5.9884	5.9851	5.9793	5.9782	0.1936	0.2490	0.3458	0.3631
81	D2u-3	5.9884	5.9851	5.9788	5.9782	0.1936	0.2490	0.3527	0.3631
82	D2L-1	5.9890	5.9855	5.9807	5.9776	0.1833	0.2420	0.3216	0.3734
83	D2L-2	5.9892	5.9857	5.9805	5.9776	0.1798	0.2386	0.3250	0.3734
84	D2L-3	5.9890	5.9863	5.9811	5.9774	0.1833	0.2282	0.3147	0.3769
85	D3u-1	5.9884	5.9853	5.9790	5.9790	0.1936	0.2455	0.3492	0.3492
86	D3u-2	5.9884	5.9851	5.9790	5.9780	0.1936	0.2490	0.3492	0.3665
87	D3u-3	5.9884	5.9851	5.9788	5.9780	0.1936	0.2490	0.3527	0.3665
88	D3L-1	5.9894	5.9832	5.9809	5.9790	0.1763	0.2801	0.3181	0.3492
89	D3L-2	5.9884	5.9842	5.9805	5.9790	0.1936	0.2628	0.3250	0.3492



ตารางภาคผนวก ข3 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
90	D3L-3	5.9884	5.9836	5.9805	5.9790	0.1936	0.2732	0.3250	0.3492
91	D4u-1	5.9892	5.9853	5.9784	5.9776	0.1798	0.2455	0.3596	0.3734
92	D4u-2	5.9890	5.9853	5.9780	5.9778	0.1833	0.2455	0.3665	0.3700
93	D4u-3	5.9892	5.9853	5.9780	5.9776	0.1798	0.2455	0.3665	0.3734
94	D4L-1	5.9884	5.9894	5.9793	5.9780	0.1936	0.1763	0.3458	0.3665
95	D4L-2	5.9884	5.9857	5.9801	5.9786	0.1936	0.2386	0.3320	0.3562
96	D4L-3	5.9884	5.9855	5.9809	5.9786	0.1936	0.2420	0.3181	0.3562

ตารางภาคผนวก ข4 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	7.9865	7.9842	7.9770	7.9739	0.1686	0.1971	0.2879	0.3268
2	A1u-2	7.9865	7.9853	7.9772	7.9745	0.1686	0.1841	0.2853	0.3190
3	A1u-3	7.9863	7.9838	7.9770	7.9734	0.1712	0.2023	0.2879	0.3320
4	A1L-1	7.9863	7.9844	7.9774	7.9739	0.1712	0.1945	0.2827	0.3268
5	A1L-2	7.9863	7.9846	7.9772	7.9737	0.1712	0.1919	0.2853	0.3294
6	A1L-3	7.9859	7.9842	7.9772	7.9737	0.1763	0.1971	0.2853	0.3294
7	A2u-1	7.9861	7.9846	7.9774	7.9734	0.1738	0.1919	0.2827	0.3320
8	A2u-2	7.9863	7.9846	7.9772	7.9734	0.1712	0.1919	0.2853	0.3320
9	A2u-3	7.9861	7.9846	7.9749	7.9734	0.1738	0.1919	0.3138	0.3320
10	A2L-1	7.9859	7.9849	7.9770	7.9739	0.1763	0.1893	0.2879	0.3268
11	A2L-2	7.9859	7.9846	7.9772	7.9739	0.1763	0.1919	0.2853	0.3268
12	A2L-3	7.9873	7.9844	7.9772	7.9741	0.1582	0.1945	0.2853	0.3242
13	A3u-1	7.9863	7.9844	7.9770	7.9730	0.1712	0.1945	0.2879	0.3371
14	A3u-2	7.9853	7.9846	7.9770	7.9770	0.1841	0.1919	0.2879	0.2879
15	A3u-3	7.9865	7.9846	7.9766	7.9732	0.1686	0.1919	0.2930	0.3345
16	A3L-1	7.9859	7.9846	7.9770	7.9739	0.1763	0.1919	0.2879	0.3268



ตารางภาคผนวก ข4 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
17	A3L-2	7.9861	7.9846	7.9772	7.9737	0.1738	0.1919	0.2853	0.3294
18	A3L-3	7.9859	7.9849	7.9776	7.9737	0.1763	0.1893	0.2801	0.3294
19	A4u-1	7.9859	7.9846	7.9770	7.9734	0.1763	0.1919	0.2879	0.3320
20	A4u-2	7.9859	7.9811	7.9770	7.9732	0.1763	0.2360	0.2879	0.3345
21	A4u-3	7.9859	7.9849	7.9770	7.9737	0.1763	0.1893	0.2879	0.3294
22	A4L-1	7.9861	7.9846	7.9772	7.9741	0.1738	0.1919	0.2853	0.3242
23	A4L-2	7.9863	7.9844	7.9774	7.9741	0.1712	0.1945	0.2827	0.3242
24	A4L-3	7.9863	7.9846	7.9776	7.9741	0.1712	0.1919	0.2801	0.3242
25	B1u-1	7.9880	7.9855	7.9772	7.9732	0.1504	0.1815	0.2853	0.3345
26	B1u-2	7.9878	7.9844	7.9776	7.9734	0.1530	0.1945	0.2801	0.3320
27	B1u-3	7.9876	7.9844	7.9770	7.9734	0.1556	0.1945	0.2879	0.3320
28	B1L-1	7.9876	7.9842	7.9772	7.9739	0.1556	0.1971	0.2853	0.3268
29	B1L-2	7.9880	7.9838	7.9772	7.9741	0.1504	0.2023	0.2853	0.3242
30	B1L-3	7.9873	7.9842	7.9772	7.9741	0.1582	0.1971	0.2853	0.3242
31	B2u-1	7.9880	7.9844	7.9768	7.9747	0.1504	0.1945	0.2905	0.3164
32	B2u-2	7.9878	7.9842	7.9768	7.9739	0.1530	0.1971	0.2905	0.3268
33	B2u-3	7.9878	7.9842	7.9770	7.9741	0.1530	0.1971	0.2879	0.3242
34	B2L-1	7.9873	7.9836	7.9774	7.9747	0.1582	0.2049	0.2827	0.3164
35	B2L-2	7.9873	7.9832	7.9774	7.9741	0.1582	0.2101	0.2827	0.3242
36	B2L-3	7.9880	7.9853	7.9772	7.9741	0.1504	0.1841	0.2853	0.3242
37	B3u-1	7.9863	7.9836	7.9770	7.9734	0.1712	0.2049	0.2879	0.3320
38	B3u-2	7.9876	7.9838	7.9770	7.9732	0.1556	0.2023	0.2879	0.3345
39	B3u-3	7.9873	7.9838	7.9770	7.9732	0.1582	0.2023	0.2879	0.3345
40	B3L-1	7.9873	7.9840	7.9772	7.9734	0.1582	0.1997	0.2853	0.3320
41	B3L-2	7.9873	7.9842	7.9772	7.9739	0.1582	0.1971	0.2853	0.3268
42	B3L-3	7.9876	7.9840	7.9768	7.9739	0.1556	0.1997	0.2905	0.3268
43	B4u-1	7.9876	7.9838	7.9759	7.9734	0.1556	0.2023	0.3008	0.3320
44	B4u-2	7.9876	7.9836	7.9763	7.9732	0.1556	0.2049	0.2956	0.3345
45	B4u-3	7.9876	7.9836	7.9768	7.9734	0.1556	0.2049	0.2905	0.3320
46	B4L-1	7.9876	7.9853	7.9772	7.9739	0.1556	0.1841	0.2853	0.3268



ตารางภาคผนวก ข4 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
47	B4L-2	7.9878	7.9836	7.9768	7.9739	0.1530	0.2049	0.2905	0.3268
48	B4L-3	7.9876	7.9838	7.9772	7.9741	0.1556	0.2023	0.2853	0.3242
49	C1u-1	7.9863	7.9853	7.9772	7.9739	0.1712	0.1841	0.2853	0.3268
50	C1u-2	7.9859	7.9853	7.9774	7.9734	0.1763	0.1841	0.2827	0.3320
51	C1u-3	7.9857	7.9853	7.9772	7.9734	0.1789	0.1841	0.2853	0.3320
52	C1L-1	7.9859	7.9842	7.9768	7.9741	0.1763	0.1971	0.2905	0.3242
53	C1L-2	7.9859	7.9853	7.9772	7.9743	0.1763	0.1841	0.2853	0.3216
54	C1L-3	7.9863	7.9853	7.9772	7.9743	0.1712	0.1841	0.2853	0.3216
55	C2u-1	7.9865	7.9853	7.9772	7.9739	0.1686	0.1841	0.2853	0.3268
56	C2u-2	7.9859	7.9838	7.9772	7.9734	0.1763	0.2023	0.2853	0.3320
57	C2u-3	7.9859	7.9838	7.9770	7.9732	0.1763	0.2023	0.2879	0.3345
58	C2L-1	7.9863	7.9849	7.9768	7.9745	0.1712	0.1893	0.2905	0.3190
59	C2L-2	7.9863	7.9846	7.9772	7.9745	0.1712	0.1919	0.2853	0.3190
60	C2L-3	7.9863	7.9846	7.9772	7.9745	0.1712	0.1919	0.2853	0.3190
61	C3u-1	7.9859	7.9846	7.9766	7.9732	0.1763	0.1919	0.2930	0.3345
62	C3u-2	7.9859	7.9846	7.9768	7.9737	0.1763	0.1919	0.2905	0.3294
63	C3u-3	7.9873	7.9846	7.9768	7.9737	0.1582	0.1919	0.2905	0.3294
64	C3L-1	7.9873	7.9851	7.9772	7.9737	0.1582	0.1867	0.2853	0.3294
65	C3L-2	7.9873	7.9846	7.9772	7.9739	0.1582	0.1919	0.2853	0.3268
66	C3L-3	7.9836	7.9846	7.9772	7.9741	0.2049	0.1919	0.2853	0.3242
67	C4u-1	7.9863	7.9849	7.9763	7.9734	0.1712	0.1893	0.2956	0.3320
68	C4u-2	7.9863	7.9846	7.9766	7.9732	0.1712	0.1919	0.2930	0.3345
69	C4u-3	7.9865	7.9846	7.9766	7.9732	0.1686	0.1919	0.2930	0.3345
70	C4L-1	7.9865	7.9842	7.9770	7.9739	0.1686	0.1971	0.2879	0.3268
71	C4L-2	7.9863	7.9853	7.9772	7.9745	0.1712	0.1841	0.2853	0.3190
72	C4L-3	7.9863	7.9842	7.9772	7.9745	0.1712	0.1971	0.2853	0.3190
73	D1u-1	7.9876	7.9853	7.9774	7.9732	0.1556	0.1841	0.2827	0.3345
74	D1u-2	7.9880	7.9838	7.9770	7.9734	0.1504	0.2023	0.2879	0.3320
75	D1u-3	7.9876	7.9842	7.9763	7.9734	0.1556	0.1971	0.2956	0.3320
76	D1L-1	7.9876	7.9842	7.9766	7.9751	0.1556	0.1971	0.2930	0.3112



ตารางภาคผนวก ข4 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
77	D1L-2	7.9873	7.9842	7.9772	7.9743	0.1582	0.1971	0.2853	0.3216
78	D1L-3	7.9876	7.9842	7.9774	7.9743	0.1556	0.1971	0.2827	0.3216
79	D2u-1	7.9878	7.9849	7.9763	7.9734	0.1530	0.1893	0.2956	0.3320
80	D2u-2	7.9880	7.9846	7.9766	7.9737	0.1504	0.1919	0.2930	0.3294
81	D2u-3	7.9880	7.9846	7.9766	7.9734	0.1504	0.1919	0.2930	0.3320
82	D2L-1	7.9876	7.9842	7.9772	7.9743	0.1556	0.1971	0.2853	0.3216
83	D2L-2	7.9876	7.9842	7.9772	7.9743	0.1556	0.1971	0.2853	0.3216
84	D2L-3	7.9894	7.9846	7.9759	7.9743	0.1323	0.1919	0.3008	0.3216
85	D3u-1	7.9880	7.9846	7.9763	7.9730	0.1504	0.1919	0.2956	0.3371
86	D3u-2	7.9876	7.9846	7.9763	7.9732	0.1556	0.1919	0.2956	0.3345
87	D3u-3	7.9876	7.9846	7.9766	7.9732	0.1556	0.1919	0.2930	0.3345
88	D3L-1	7.9884	7.9846	7.9774	7.9739	0.1452	0.1919	0.2827	0.3268
89	D3L-2	7.9880	7.9788	7.9772	7.9741	0.1504	0.2645	0.2853	0.3242
90	D3L-3	7.9878	7.9846	7.9772	7.9739	0.1530	0.1919	0.2853	0.3268
91	D4u-1	7.9880	7.9849	7.9759	7.9734	0.1504	0.1893	0.3008	0.3320
92	D4u-2	7.9878	7.9846	7.9766	7.9732	0.1530	0.1919	0.2930	0.3345
93	D4u-3	7.9878	7.9851	7.9768	7.9732	0.1530	0.1867	0.2905	0.3345
94	D4L-1	7.9878	7.9851	7.9774	7.9741	0.1530	0.1867	0.2827	0.3242
95	D4L-2	7.9880	7.9846	7.9774	7.9741	0.1504	0.1919	0.2827	0.3242
96	D4L-3	7.9878	7.9842	7.9774	7.9743	0.1530	0.1971	0.2827	0.3216



ตารางภาคผนวก ข5 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 30 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลื่ออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	9.9873	9.9849	9.9811	9.9755	0.1266	0.1515	0.1888	0.2448
2	A1u-2	9.9861	9.9849	9.9811	9.9763	0.1390	0.1515	0.1888	0.2365
3	A1u-3	9.9871	9.9840	9.9815	9.9766	0.1286	0.1598	0.1846	0.2344
4	A1L-1	9.9863	9.9842	9.9813	9.9759	0.1369	0.1577	0.1867	0.2407
5	A1L-2	9.9863	9.9846	9.9815	9.9755	0.1369	0.1535	0.1846	0.2448
6	A1L-3	9.9855	9.9842	9.9815	9.9757	0.1452	0.1577	0.1846	0.2427
7	A2u-1	9.9861	9.9834	9.9813	9.9757	0.1390	0.1660	0.1867	0.2427
8	A2u-2	9.9871	9.9846	9.9815	9.9755	0.1286	0.1535	0.1846	0.2448
9	A2u-3	9.9861	9.9849	9.9809	9.9759	0.1390	0.1515	0.1909	0.2407
10	A2L-1	9.9869	9.9844	9.9809	9.9759	0.1307	0.1556	0.1909	0.2407
11	A2L-2	9.9859	9.9842	9.9822	9.9759	0.1411	0.1577	0.1784	0.2407
12	A2L-3	9.9863	9.9844	9.9826	9.9763	0.1369	0.1556	0.1743	0.2365
13	A3u-1	9.9863	9.9855	9.9826	9.9755	0.1369	0.1452	0.1743	0.2448
14	A3u-2	9.9863	9.9846	9.9813	9.9753	0.1369	0.1535	0.1867	0.2469
15	A3u-3	9.9865	9.9842	9.9813	9.9768	0.1349	0.1577	0.1867	0.2324
16	A3L-1	9.9869	9.9846	9.9822	9.9759	0.1307	0.1535	0.1784	0.2407
17	A3L-2	9.9861	9.9840	9.9822	9.9757	0.1390	0.1598	0.1784	0.2427
18	A3L-3	9.9859	9.9834	9.9820	9.9759	0.1411	0.1660	0.1805	0.2407
19	A4u-1	9.9859	9.9849	9.9813	9.9759	0.1411	0.1515	0.1867	0.2407
20	A4u-2	9.9869	9.9830	9.9811	9.9768	0.1307	0.1701	0.1888	0.2324
21	A4u-3	9.9863	9.9822	9.9811	9.9757	0.1369	0.1784	0.1888	0.2427
22	A4L-1	9.9867	9.9834	9.9822	9.9761	0.1328	0.1660	0.1784	0.2386
23	A4L-2	9.9863	9.9842	9.9815	9.9759	0.1369	0.1577	0.1846	0.2407
24	A4L-3	9.9863	9.9846	9.9822	9.9768	0.1369	0.1535	0.1784	0.2324
25	B1u-1	9.9880	9.9855	9.9809	9.9768	0.1203	0.1452	0.1909	0.2324
26	B1u-2	9.9884	9.9853	9.9813	9.9755	0.1162	0.1473	0.1867	0.2448
27	B1u-3	9.9876	9.9844	9.9815	9.9759	0.1245	0.1556	0.1846	0.2407
28	B1L-1	9.9884	9.9842	9.9813	9.9759	0.1162	0.1577	0.1867	0.2407
29	B1L-2	9.9880	9.9846	9.9815	9.9763	0.1203	0.1535	0.1846	0.2365



ตารางภาคผนวก ข5 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
30	B1L-3	9.9876	9.9851	9.9822	9.9761	0.1245	0.1494	0.1784	0.2386
31	B2u-1	9.9880	9.9844	9.9809	9.9768	0.1203	0.1556	0.1909	0.2324
32	B2u-2	9.9884	9.9849	9.9813	9.9757	0.1162	0.1515	0.1867	0.2427
33	B2u-3	9.9878	9.9846	9.9805	9.9761	0.1224	0.1535	0.1950	0.2386
34	B2L-1	9.9876	9.9836	9.9805	9.9768	0.1245	0.1639	0.1950	0.2324
35	B2L-2	9.9873	9.9834	9.9813	9.9757	0.1266	0.1660	0.1867	0.2427
36	B2L-3	9.9863	9.9853	9.9813	9.9761	0.1369	0.1473	0.1867	0.2386
37	B3u-1	9.9863	9.9842	9.9822	9.9755	0.1369	0.1577	0.1784	0.2448
38	B3u-2	9.9884	9.9838	9.9811	9.9759	0.1162	0.1618	0.1888	0.2407
39	B3u-3	9.9876	9.9849	9.9807	9.9753	0.1245	0.1515	0.1929	0.2469
40	B3L-1	9.9878	9.9840	9.9822	9.9755	0.1224	0.1598	0.1784	0.2448
41	B3L-2	9.9884	9.9842	9.9815	9.9755	0.1162	0.1577	0.1846	0.2448
42	B3L-3	9.9873	9.9840	9.9815	9.9759	0.1266	0.1598	0.1846	0.2407
43	B4u-1	9.9873	9.9846	9.9805	9.9759	0.1266	0.1535	0.1950	0.2407
44	B4u-2	9.9873	9.9836	9.9805	9.9753	0.1266	0.1639	0.1950	0.2469
45	B4u-3	9.9876	9.9842	9.9809	9.9759	0.1245	0.1577	0.1909	0.2407
46	B4L-1	9.9884	9.9853	9.9815	9.9759	0.1162	0.1473	0.1846	0.2407
47	B4L-2	9.9878	9.9842	9.9813	9.9768	0.1224	0.1577	0.1867	0.2324
48	B4L-3	9.9876	9.9838	9.9813	9.9761	0.1245	0.1618	0.1867	0.2386
49	C1u-1	9.9861	9.9863	9.9822	9.9761	0.1390	0.1369	0.1784	0.2386
50	C1u-2	9.9863	9.9855	9.9815	9.9757	0.1369	0.1452	0.1846	0.2427
51	C1u-3	9.9861	9.9853	9.9822	9.9755	0.1390	0.1473	0.1784	0.2448
52	C1L-1	9.9859	9.9842	9.9834	9.9761	0.1411	0.1577	0.1660	0.2386
53	C1L-2	9.9884	9.9853	9.9830	9.9759	0.1162	0.1473	0.1701	0.2407
54	C1L-3	9.9876	9.9863	9.9834	9.9763	0.1245	0.1369	0.1660	0.2365
55	C2u-1	9.9865	9.9853	9.9822	9.9757	0.1349	0.1473	0.1784	0.2427
56	C2u-2	9.9855	9.9834	9.9813	9.9755	0.1452	0.1660	0.1867	0.2448
57	C2u-3	9.9859	9.9838	9.9813	9.9763	0.1411	0.1618	0.1867	0.2365
58	C2L-1	9.9863	9.9849	9.9838	9.9766	0.1369	0.1515	0.1618	0.2344
59	C2L-2	9.9859	9.9836	9.9826	9.9766	0.1411	0.1639	0.1743	0.2344



ตารางภาคผนวก ข5

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
60	C2L-3	9.9863	9.9846	9.9830	9.9766	0.1369	0.1535	0.1701	0.2344
61	C3u-1	9.9863	9.9842	9.9805	9.9761	0.1369	0.1577	0.1950	0.2386
62	C3u-2	9.9859	9.9851	9.9805	9.9757	0.1411	0.1494	0.1950	0.2427
63	C3u-3	9.9863	9.9842	9.9809	9.9759	0.1369	0.1577	0.1909	0.2407
64	C3L-1	9.9873	9.9851	9.9834	9.9757	0.1266	0.1494	0.1660	0.2427
65	C3L-2	9.9871	9.9838	9.9830	9.9768	0.1286	0.1618	0.1701	0.2324
66	C3L-3	9.9863	9.9840	9.9830	9.9763	0.1369	0.1598	0.1701	0.2365
67	C4u-1	9.9861	9.9842	9.9813	9.9755	0.1390	0.1577	0.1867	0.2448
68	C4u-2	9.9863	9.9846	9.9809	9.9753	0.1369	0.1535	0.1909	0.2469
69	C4u-3	9.9867	9.9838	9.9809	9.9753	0.1328	0.1618	0.1909	0.2469
70	C4L-1	9.9865	9.9842	9.9836	9.9759	0.1349	0.1577	0.1639	0.2407
71	C4L-2	9.9867	9.9846	9.9836	9.9766	0.1328	0.1535	0.1639	0.2344
72	C4L-3	9.9863	9.9853	9.9832	9.9755	0.1369	0.1473	0.1680	0.2448
73	D1u-1	9.9871	9.9834	9.9797	9.9770	0.1286	0.1660	0.2033	0.2303
74	D1u-2	9.9876	9.9838	9.9797	9.9755	0.1245	0.1618	0.2033	0.2448
75	D1u-3	9.9873	9.9842	9.9807	9.9768	0.1266	0.1577	0.1929	0.2324
76	D1L-1	9.9871	9.9851	9.9811	9.9772	0.1286	0.1494	0.1888	0.2282
77	D1L-2	9.9876	9.9842	9.9811	9.9763	0.1245	0.1577	0.1888	0.2365
78	D1L-3	9.9871	9.9840	9.9805	9.9772	0.1286	0.1598	0.1950	0.2282
79	D2u-1	9.9878	9.9849	9.9797	9.9755	0.1224	0.1515	0.2033	0.2448
80	D2u-2	9.9873	9.9840	9.9799	9.9757	0.1266	0.1598	0.2012	0.2427
81	D2u-3	9.9880	9.9846	9.9799	9.9753	0.1203	0.1535	0.2012	0.2469
82	D2L-1	9.9871	9.9842	9.9809	9.9763	0.1286	0.1577	0.1909	0.2365
83	D2L-2	9.9876	9.9842	9.9803	9.9757	0.1245	0.1577	0.1971	0.2427
84	D2L-3	9.9884	9.9836	9.9803	9.9763	0.1162	0.1639	0.1971	0.2365
85	D3u-1	9.9880	9.9873	9.9801	9.9751	0.1203	0.1266	0.1992	0.2490
86	D3u-2	9.9884	9.9878	9.9801	9.9755	0.1162	0.1224	0.1992	0.2448
87	D3u-3	9.9876	9.9855	9.9805	9.9753	0.1245	0.1452	0.1950	0.2469
88	D3L-1	9.9884	9.9851	9.9805	9.9753	0.1162	0.1494	0.1950	0.2469
89	D3L-2	9.9882	9.9869	9.9805	9.9757	0.1183	0.1307	0.1950	0.2427



ตารางภาคผนวก ข5

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
90	D3L-3	9.9878	9.9846	9.9811	9.9759	0.1224	0.1535	0.1888	0.2407
91	D4u-1	9.9888	9.9849	9.9797	9.9755	0.1120	0.1515	0.2033	0.2448
92	D4u-2	9.9878	9.9844	9.9797	9.9753	0.1224	0.1556	0.2033	0.2469
93	D4u-3	9.9888	9.9851	9.9799	9.9768	0.1120	0.1494	0.2012	0.2324
94	D4L-1	9.9878	9.9853	9.9799	9.9761	0.1224	0.1473	0.2012	0.2386
95	D4L-2	9.9876	9.9846	9.9805	9.9757	0.1245	0.1535	0.1950	0.2427
96	D4L-3	9.9878	9.9840	9.9805	9.9763	0.1224	0.1598	0.1950	0.2365

ตารางภาคผนวก ข6 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	1.9784	1.9770	1.9759	1.9749	1.0788	1.1515	1.2033	1.2552
2	A1u-2	1.9784	1.9770	1.9759	1.9751	1.0788	1.1515	1.2033	1.2448
3	A1u-3	1.9780	1.9770	1.9759	1.9749	1.0996	1.1515	1.2033	1.2552
4	A1L-1	1.9788	1.9772	1.9766	1.9749	1.0581	1.1411	1.1722	1.2552
5	A1L-2	1.9793	1.9772	1.9763	1.9749	1.0373	1.1411	1.1826	1.2552
6	A1L-3	1.9790	1.9772	1.9763	1.9751	1.0477	1.1411	1.1826	1.2448
7	A2u-1	1.9776	1.9763	1.9755	1.9747	1.1203	1.1826	1.2241	1.2656
8	A2u-2	1.9786	1.9763	1.9759	1.9755	1.0685	1.1826	1.2033	1.2241
9	A2u-3	1.9784	1.9768	1.9759	1.9755	1.0788	1.1618	1.2033	1.2241
10	A2L-1	1.9795	1.9780	1.9770	1.9759	1.0270	1.0996	1.1515	1.2033
11	A2L-2	1.9790	1.9776	1.9766	1.9747	1.0477	1.1203	1.1722	1.2656
12	A2L-3	1.9790	1.9776	1.9766	1.9745	1.0477	1.1203	1.1722	1.2759
13	A3u-1	1.9780	1.9770	1.9759	1.9743	1.0996	1.1515	1.2033	1.2863
14	A3u-2	1.9780	1.9770	1.9759	1.9751	1.0996	1.1515	1.2033	1.2448
15	A3u-3	1.9782	1.9772	1.9761	1.9747	1.0892	1.1411	1.1929	1.2656
16	A3L-1	1.9793	1.9780	1.9770	1.9743	1.0373	1.0996	1.1515	1.2863



ตารางภาคผนวก ข6 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
17	A3L-2	1.9793	1.9778	1.9770	1.9743	1.0373	1.1100	1.1515	1.2863
18	A3L-3	1.9797	1.9776	1.9772	1.9743	1.0166	1.1203	1.1411	1.2863
19	A4u-1	1.9784	1.9770	1.9759	1.9755	1.0788	1.1515	1.2033	1.2241
20	A4u-2	1.9784	1.9768	1.9759	1.9745	1.0788	1.1618	1.2033	1.2759
21	A4u-3	1.9778	1.9768	1.9763	1.9749	1.1100	1.1618	1.1826	1.2552
22	A4L-1	1.9793	1.9776	1.9759	1.9749	1.0373	1.1203	1.2033	1.2552
23	A4L-2	1.9788	1.9774	1.9759	1.9751	1.0581	1.1307	1.2033	1.2448
24	A4L-3	1.9788	1.9776	1.9768	1.9751	1.0581	1.1203	1.1618	1.2448
25	B1u-1	1.9770	1.9770	1.9763	1.9749	1.1515	1.1515	1.1826	1.2552
26	B1u-2	1.9755	1.9770	1.9763	1.9749	1.2241	1.1515	1.1826	1.2552
27	B1u-3	1.9766	1.9763	1.9761	1.9743	1.1722	1.1826	1.1929	1.2863
28	B1L-1	1.9766	1.9763	1.9766	1.9749	1.1722	1.1826	1.1722	1.2552
29	B1L-2	1.9763	1.9766	1.9759	1.9749	1.1826	1.1722	1.2033	1.2552
30	B1L-3	1.9770	1.9770	1.9763	1.9749	1.1515	1.1515	1.1826	1.2552
31	B2u-1	1.9770	1.9770	1.9759	1.9749	1.1515	1.1515	1.2033	1.2552
32	B2u-2	1.9768	1.9755	1.9755	1.9743	1.1618	1.2241	1.2241	1.2863
33	B2u-3	1.9770	1.9770	1.9759	1.9743	1.1515	1.1515	1.2033	1.2863
34	B2L-1	1.9770	1.9759	1.9768	1.9747	1.1515	1.2033	1.1618	1.2656
35	B2L-2	1.9770	1.9759	1.9766	1.9747	1.1515	1.2033	1.1722	1.2656
36	B2L-3	1.9768	1.9759	1.9772	1.9749	1.1618	1.2033	1.1411	1.2552
37	B3u-1	1.9759	1.9770	1.9759	1.9749	1.2033	1.1515	1.2033	1.2552
38	B3u-2	1.9763	1.9766	1.9759	1.9749	1.1826	1.1722	1.2033	1.2552
39	B3u-3	1.9770	1.9761	1.9761	1.9743	1.1515	1.1929	1.1929	1.2863
40	B3L-1	1.9770	1.9770	1.9770	1.9743	1.1515	1.1515	1.1515	1.2863
41	B3L-2	1.9759	1.9770	1.9770	1.9749	1.2033	1.1515	1.1515	1.2552
42	B3L-3	1.9759	1.9770	1.9772	1.9743	1.2033	1.1515	1.1411	1.2863
43	B4u-1	1.9761	1.9770	1.9759	1.9749	1.1929	1.1515	1.2033	1.2552
44	B4u-2	1.9766	1.9768	1.9759	1.9749	1.1722	1.1618	1.2033	1.2552
45	B4u-3	1.9770	1.9770	1.9763	1.9749	1.1515	1.1515	1.1826	1.2552
46	B4L-1	1.9770	1.9755	1.9772	1.9745	1.1515	1.2241	1.1411	1.2759



ตารางภาคผนวก ข6 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
47	B4L-2	1.9770	1.9759	1.9772	1.9749	1.1515	1.2033	1.1411	1.2552
48	B4L-3	1.9755	1.9766	1.9776	1.9745	1.2241	1.1722	1.1203	1.2759
49	C1u-1	1.9774	1.9772	1.9763	1.9753	1.1307	1.1411	1.1826	1.2344
50	C1u-2	1.9776	1.9772	1.9763	1.9755	1.1203	1.1411	1.1826	1.2241
51	C1u-3	1.9774	1.9776	1.9763	1.9753	1.1307	1.1203	1.1826	1.2344
52	C1L-1	1.9776	1.9780	1.9766	1.9753	1.1203	1.0996	1.1722	1.2344
53	C1L-2	1.9774	1.9772	1.9768	1.9753	1.1307	1.1411	1.1618	1.2344
54	C1L-3	1.9774	1.9772	1.9768	1.9766	1.1307	1.1411	1.1618	1.1722
55	C2u-1	1.9780	1.9772	1.9763	1.9766	1.0996	1.1411	1.1826	1.1722
56	C2u-2	1.9774	1.9774	1.9755	1.9763	1.1307	1.1307	1.2241	1.1826
57	C2u-3	1.9774	1.9772	1.9763	1.9753	1.1307	1.1411	1.1826	1.2344
58	C2L-1	1.9774	1.9772	1.9768	1.9753	1.1307	1.1411	1.1618	1.2344
59	C2L-2	1.9776	1.9772	1.9768	1.9753	1.1203	1.1411	1.1618	1.2344
60	C2L-3	1.9780	1.9772	1.9772	1.9753	1.0996	1.1411	1.1411	1.2344
61	C3u-1	1.9774	1.9772	1.9759	1.9753	1.1307	1.1411	1.2033	1.2344
62	C3u-2	1.9774	1.9780	1.9761	1.9753	1.1307	1.0996	1.1929	1.2344
63	C3u-3	1.9774	1.9780	1.9761	1.9759	1.1307	1.0996	1.1929	1.2033
64	C3L-1	1.9780	1.9772	1.9770	1.9755	1.0996	1.1411	1.1515	1.2241
65	C3L-2	1.9776	1.9776	1.9772	1.9753	1.1203	1.1203	1.1411	1.2344
66	C3L-3	1.9774	1.9772	1.9772	1.9751	1.1307	1.1411	1.1411	1.2448
67	C4u-1	1.9774	1.9772	1.9755	1.9749	1.1307	1.1411	1.2241	1.2552
68	C4u-2	1.9774	1.9772	1.9755	1.9753	1.1307	1.1411	1.2241	1.2344
69	C4u-3	1.9776	1.9780	1.9757	1.9753	1.1203	1.0996	1.2137	1.2344
70	C4L-1	1.9774	1.9772	1.9772	1.9755	1.1307	1.1411	1.1411	1.2241
71	C4L-2	1.9784	1.9776	1.9772	1.9755	1.0788	1.1203	1.1411	1.2241
72	C4L-3	1.9790	1.9772	1.9772	1.9753	1.0477	1.1411	1.1411	1.2344
73	D1u-1	1.9780	1.9780	1.9759	1.9759	1.0996	1.0996	1.2033	1.2033
74	D1u-2	1.9780	1.9780	1.9768	1.9759	1.0996	1.0996	1.1618	1.2033
75	D1u-3	1.9780	1.9784	1.9768	1.9759	1.0996	1.0788	1.1618	1.2033
76	D1L-1	1.9784	1.9780	1.9770	1.9749	1.0788	1.0996	1.1515	1.2552



ตารางภาคผนวก ข6 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
77	D1L-2	1.9780	1.9772	1.9770	1.9759	1.0996	1.1411	1.1515	1.2033
78	D1L-3	1.9780	1.9770	1.9763	1.9757	1.0996	1.1515	1.1826	1.2137
79	D2u-1	1.9780	1.9780	1.9755	1.9757	1.0996	1.0996	1.2241	1.2137
80	D2u-2	1.9790	1.9776	1.9755	1.9759	1.0477	1.1203	1.2241	1.2033
81	D2u-3	1.9784	1.9780	1.9759	1.9759	1.0788	1.0996	1.2033	1.2033
82	D2L-1	1.9786	1.9780	1.9772	1.9766	1.0685	1.0996	1.1411	1.1722
83	D2L-2	1.9788	1.9780	1.9772	1.9759	1.0581	1.0996	1.1411	1.2033
84	D2L-3	1.9780	1.9780	1.9776	1.9759	1.0996	1.0996	1.1203	1.2033
85	D3u-1	1.9780	1.9780	1.9759	1.9759	1.0996	1.0996	1.2033	1.2033
86	D3u-2	1.9780	1.9747	1.9759	1.9811	1.0996	1.2656	1.2033	0.9440
87	D3u-3	1.9780	1.9780	1.9759	1.9759	1.0996	1.0996	1.2033	1.2033
88	D3L-1	1.9772	1.9790	1.9770	1.9759	1.1411	1.0477	1.1515	1.2033
89	D3L-2	1.9790	1.9793	1.9772	1.9776	1.0477	1.0373	1.1411	1.1203
90	D3L-3	1.9790	1.9780	1.9776	1.9759	1.0477	1.0996	1.1203	1.2033
91	D4u-1	1.9780	1.9780	1.9759	1.9763	1.0996	1.0996	1.2033	1.1826
92	D4u-2	1.9780	1.9780	1.9763	1.9759	1.0996	1.0996	1.1826	1.2033
93	D4u-3	1.9780	1.9780	1.9763	1.9759	1.0996	1.0996	1.1826	1.2033
94	D4L-1	1.9776	1.9776	1.9768	1.9759	1.1203	1.1203	1.1618	1.2033
95	D4L-2	1.9780	1.9780	1.9768	1.9759	1.0996	1.0996	1.1618	1.2033
96	D4L-3	1.9780	1.9782	1.9776	1.9759	1.0996	1.0892	1.1203	1.2033



ตารางภาคผนวก ข7 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลื่ออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	3.9817	3.9795	3.9780	3.9763	0.4564	0.5135	0.5498	0.5913
2	A1u-2	3.9817	3.9799	3.9774	3.9763	0.4564	0.5031	0.5654	0.5913
3	A1u-3	3.9817	3.9803	3.9780	3.9768	0.4564	0.4927	0.5498	0.5809
4	A1L-1	3.9832	3.9797	3.9780	3.9770	0.4201	0.5083	0.5498	0.5757
5	A1L-2	3.9832	3.9805	3.9780	3.9770	0.4201	0.4876	0.5498	0.5757
6	A1L-3	3.9822	3.9793	3.9780	3.9768	0.4461	0.5187	0.5498	0.5809
7	A2u-1	3.9813	3.9799	3.9788	3.9753	0.4668	0.5031	0.5290	0.6172
8	A2u-2	3.9822	3.9793	3.9790	3.9763	0.4461	0.5187	0.5239	0.5913
9	A2u-3	3.9813	3.9801	3.9786	3.9755	0.4668	0.4979	0.5342	0.6120
10	A2L-1	3.9822	3.9801	3.9780	3.9763	0.4461	0.4979	0.5498	0.5913
11	A2L-2	3.9826	3.9805	3.9780	3.9772	0.4357	0.4876	0.5498	0.5705
12	A2L-3	3.9826	3.9799	3.9782	3.9768	0.4357	0.5031	0.5446	0.5809
13	A3u-1	3.9817	3.9799	3.9780	3.9763	0.4564	0.5031	0.5498	0.5913
14	A3u-2	3.9817	3.9793	3.9780	3.9759	0.4564	0.5187	0.5498	0.6017
15	A3u-3	3.9824	3.9803	3.9780	3.9759	0.4409	0.4927	0.5498	0.6017
16	A3L-1	3.9826	3.9803	3.9782	3.9770	0.4357	0.4927	0.5446	0.5757
17	A3L-2	3.9820	3.9803	3.9784	3.9770	0.4512	0.4927	0.5394	0.5757
18	A3L-3	3.9820	3.9801	3.9786	3.9772	0.4512	0.4979	0.5342	0.5705
19	A4u-1	3.9822	3.9795	3.9780	3.9751	0.4461	0.5135	0.5498	0.6224
20	A4u-2	3.9817	3.9795	3.9790	3.9759	0.4564	0.5135	0.5239	0.6017
21	A4u-3	3.9817	3.9799	3.9780	3.9751	0.4564	0.5031	0.5498	0.6224
22	A4L-1	3.9826	3.9805	3.9784	3.9770	0.4357	0.4876	0.5394	0.5757
23	A4L-2	3.9826	3.9805	3.9782	3.9770	0.4357	0.4876	0.5446	0.5757
24	A4L-3	3.9828	3.9807	3.9780	3.9770	0.4305	0.4824	0.5498	0.5757
25	B1u-1	3.9828	3.9801	3.9780	3.9763	0.4305	0.4979	0.5498	0.5913
26	B1u-2	3.9826	3.9801	3.9776	3.9759	0.4357	0.4979	0.5602	0.6017
27	B1u-3	3.9828	3.9805	3.9776	3.9759	0.4305	0.4876	0.5602	0.6017
28	B1L-1	3.9832	3.9801	3.9790	3.9770	0.4201	0.4979	0.5239	0.5757
29	B1L-2	3.9832	3.9801	3.9784	3.9770	0.4201	0.4979	0.5394	0.5757



ตารางภาคผนวก ข7 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
30	B1L-3	3.9822	3.9801	3.9784	3.9763	0.4461	0.4979	0.5394	0.5913
31	B2u-1	3.9813	3.9809	3.9780	3.9753	0.4668	0.4772	0.5498	0.6172
32	B2u-2	3.9813	3.9801	3.9784	3.9753	0.4668	0.4979	0.5394	0.6172
33	B2u-3	3.9822	3.9801	3.9780	3.9761	0.4461	0.4979	0.5498	0.5965
34	B2L-1	3.9826	3.9780	3.9788	3.9770	0.4357	0.5498	0.5290	0.5757
35	B2L-2	3.9820	3.9801	3.9790	3.9770	0.4512	0.4979	0.5239	0.5757
36	B2L-3	3.9826	3.9801	3.9790	3.9759	0.4357	0.4979	0.5239	0.6017
37	B3u-1	3.9813	3.9801	3.9784	3.9759	0.4668	0.4979	0.5394	0.6017
38	B3u-2	3.9822	3.9809	3.9784	3.9759	0.4461	0.4772	0.5394	0.6017
39	B3u-3	3.9822	3.9805	3.9788	3.9751	0.4461	0.4876	0.5290	0.6224
40	B3L-1	3.9824	3.9807	3.9784	3.9763	0.4409	0.4824	0.5394	0.5913
41	B3L-2	3.9830	3.9807	3.9784	3.9759	0.4253	0.4824	0.5394	0.6017
42	B3L-3	3.9830	3.9801	3.9780	3.9759	0.4253	0.4979	0.5498	0.6017
43	B4u-1	3.9817	3.9801	3.9776	3.9749	0.4564	0.4979	0.5602	0.6276
44	B4u-2	3.9817	3.9801	3.9776	3.9755	0.4564	0.4979	0.5602	0.6120
45	B4u-3	3.9828	3.9801	3.9780	3.9755	0.4305	0.4979	0.5498	0.6120
46	B4L-1	3.9822	3.9805	3.9784	3.9761	0.4461	0.4876	0.5394	0.5965
47	B4L-2	3.9822	3.9807	3.9784	3.9755	0.4461	0.4824	0.5394	0.6120
48	B4L-3	3.9828	3.9811	3.9780	3.9761	0.4305	0.4720	0.5498	0.5965
49	C1u-1	3.9828	3.9790	3.9774	3.9751	0.4305	0.5239	0.5654	0.6224
50	C1u-2	3.9813	3.9795	3.9786	3.9770	0.4668	0.5135	0.5342	0.5757
51	C1u-3	3.9820	3.9795	3.9780	3.9763	0.4512	0.5135	0.5498	0.5913
52	C1L-1	3.9822	3.9805	3.9776	3.9763	0.4461	0.4876	0.5602	0.5913
53	C1L-2	3.9832	3.9805	3.9774	3.9759	0.4201	0.4876	0.5654	0.6017
54	C1L-3	3.9832	3.9801	3.9774	3.9763	0.4201	0.4979	0.5654	0.5913
55	C2u-1	3.9826	3.9790	3.9788	3.9751	0.4357	0.5239	0.5290	0.6224
56	C2u-2	3.9826	3.9793	3.9790	3.9751	0.4357	0.5187	0.5239	0.6224
57	C2u-3	3.9822	3.9793	3.9786	3.9751	0.4461	0.5187	0.5342	0.6224
58	C2L-1	3.9832	3.9799	3.9776	3.9749	0.4201	0.5031	0.5602	0.6276
59	C2L-2	3.9832	3.9799	3.9774	3.9751	0.4201	0.5031	0.5654	0.6224



ตารางภาคผนวก ข7 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
60	C2L-3	3.9822	3.9799	3.9774	3.9749	0.4461	0.5031	0.5654	0.6276
61	C3u-1	3.9813	3.9793	3.9774	3.9757	0.4668	0.5187	0.5654	0.6068
62	C3u-2	3.9817	3.9780	3.9774	3.9753	0.4564	0.5498	0.5654	0.6172
63	C3u-3	3.9817	3.9790	3.9774	3.9757	0.4564	0.5239	0.5654	0.6068
64	C3L-1	3.9822	3.9809	3.9747	3.9753	0.4461	0.4772	0.6328	0.6172
65	C3L-2	3.9832	3.9805	3.9790	3.9770	0.4201	0.4876	0.5239	0.5757
66	C3L-3	3.9832	3.9801	3.9776	3.9759	0.4201	0.4979	0.5602	0.6017
67	C4u-1	3.9813	3.9790	3.9774	3.9751	0.4668	0.5239	0.5654	0.6224
68	C4u-2	3.9822	3.9793	3.9774	3.9749	0.4461	0.5187	0.5654	0.6276
69	C4u-3	3.9826	3.9793	3.9774	3.9759	0.4357	0.5187	0.5654	0.6017
70	C4L-1	3.9832	3.9809	3.9788	3.9770	0.4201	0.4772	0.5290	0.5757
71	C4L-2	3.9824	3.9809	3.9786	3.9757	0.4409	0.4772	0.5342	0.6068
72	C4L-3	3.9832	3.9805	3.9788	3.9759	0.4201	0.4876	0.5290	0.6017
73	D1u-1	3.9826	3.9803	3.9790	3.9768	0.4357	0.4927	0.5239	0.5809
74	D1u-2	3.9822	3.9803	3.9790	3.9763	0.4461	0.4927	0.5239	0.5913
75	D1u-3	3.9822	3.9809	3.9790	3.9763	0.4461	0.4772	0.5239	0.5913
76	D1L-1	3.9832	3.9811	3.9793	3.9774	0.4201	0.4720	0.5187	0.5654
77	D1L-2	3.9832	3.9811	3.9801	3.9770	0.4201	0.4720	0.4979	0.5757
78	D1L-3	3.9832	3.9811	3.9793	3.9770	0.4201	0.4720	0.5187	0.5757
79	D2u-1	3.9826	3.9805	3.9790	3.9759	0.4357	0.4876	0.5239	0.6017
80	D2u-2	3.9826	3.9805	3.9790	3.9751	0.4357	0.4876	0.5239	0.6224
81	D2u-3	3.9820	3.9805	3.9780	3.9759	0.4512	0.4876	0.5498	0.6017
82	D2L-1	3.9832	3.9805	3.9790	3.9770	0.4201	0.4876	0.5239	0.5757
83	D2L-2	3.9834	3.9801	3.9786	3.9770	0.4149	0.4979	0.5342	0.5757
84	D2L-3	3.9826	3.9797	3.9780	3.9759	0.4357	0.5083	0.5498	0.6017
85	D3u-1	3.9820	3.9809	3.9784	3.9757	0.4512	0.4772	0.5394	0.6068
86	D3u-2	3.9813	3.9803	3.9782	3.9751	0.4668	0.4927	0.5446	0.6224
87	D3u-3	3.9811	3.9809	3.9790	3.9761	0.4720	0.4772	0.5239	0.5965
88	D3L-1	3.9822	3.9811	3.9780	3.9763	0.4461	0.4720	0.5498	0.5913
89	D3L-2	3.9826	3.9811	3.9790	3.9759	0.4357	0.4720	0.5239	0.6017



ตารางภาคผนวก ข7 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
90	D3L-3	3.9822	3.9805	3.9790	3.9759	0.4461	0.4876	0.5239	0.6017
91	D4u-1	3.9813	3.9801	3.9790	3.9751	0.4668	0.4979	0.5239	0.6224
92	D4u-2	3.9815	3.9801	3.9790	3.9755	0.4616	0.4979	0.5239	0.6120
93	D4u-3	3.9815	3.9805	3.9790	3.9755	0.4616	0.4876	0.5239	0.6120
94	D4L-1	3.9824	3.9811	3.9770	3.9770	0.4409	0.4720	0.5757	0.5757
95	D4L-2	3.9824	3.9811	3.9772	3.9770	0.4409	0.4720	0.5705	0.5757
96	D4L-3	3.9822	3.9807	3.9780	3.9763	0.4461	0.4824	0.5498	0.5913

ตารางภาคผนวก ข8 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	5.9894	5.9873	5.9859	5.9830	0.1763	0.2109	0.2351	0.2835
2	A1u-2	5.9894	5.9873	5.9865	5.9822	0.1763	0.2109	0.2248	0.2974
3	A1u-3	5.9894	5.9867	5.9859	5.9822	0.1763	0.2213	0.2351	0.2974
4	A1L-1	5.9894	5.9873	5.9863	5.9832	0.1763	0.2109	0.2282	0.2801
5	A1L-2	5.9900	5.9873	5.9863	5.9832	0.1660	0.2109	0.2282	0.2801
6	A1L-3	5.9894	5.9873	5.9863	5.9832	0.1763	0.2109	0.2282	0.2801
7	A2u-1	5.9888	5.9863	5.9855	5.9826	0.1867	0.2282	0.2420	0.2905
8	A2u-2	5.9888	5.9865	5.9846	5.9826	0.1867	0.2248	0.2559	0.2905
9	A2u-3	5.9884	5.9865	5.9853	5.9822	0.1936	0.2248	0.2455	0.2974
10	A2L-1	5.9894	5.9876	5.9863	5.9832	0.1763	0.2075	0.2282	0.2801
11	A2L-2	5.9894	5.9873	5.9863	5.9826	0.1763	0.2109	0.2282	0.2905
12	A2L-3	5.9894	5.9873	5.9863	5.9826	0.1763	0.2109	0.2282	0.2905
13	A3u-1	5.9880	5.9863	5.9851	5.9813	0.2006	0.2282	0.2490	0.3112
14	A3u-2	5.9876	5.9863	5.9851	5.9822	0.2075	0.2282	0.2490	0.2974
15	A3u-3	5.9876	5.9863	5.9851	5.9822	0.2075	0.2282	0.2490	0.2974
16	A3L-1	5.9888	5.9873	5.9863	5.9826	0.1867	0.2109	0.2282	0.2905



ตารางภาคผนวก ข8 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
17	A3L-2	5.9894	5.9873	5.9867	5.9832	0.1763	0.2109	0.2213	0.2801
18	A3L-3	5.9884	5.9873	5.9863	5.9834	0.1936	0.2109	0.2282	0.2766
19	A4u-1	5.9888	5.9871	5.9846	5.9832	0.1867	0.2144	0.2559	0.2801
20	A4u-2	5.9884	5.9867	5.9855	5.9813	0.1936	0.2213	0.2420	0.3112
21	A4u-3	5.9884	5.9871	5.9846	5.9813	0.1936	0.2144	0.2559	0.3112
22	A4L-1	5.9894	5.9880	5.9863	5.9840	0.1763	0.2006	0.2282	0.2663
23	A4L-2	5.9894	5.9876	5.9863	5.9836	0.1763	0.2075	0.2282	0.2732
24	A4L-3	5.9894	5.9876	5.9865	5.9836	0.1763	0.2075	0.2248	0.2732
25	B1u-1	5.9884	5.9876	5.9853	5.9822	0.1936	0.2075	0.2455	0.2974
26	B1u-2	5.9884	5.9865	5.9853	5.9822	0.1936	0.2248	0.2455	0.2974
27	B1u-3	5.9884	5.9865	5.9853	5.9826	0.1936	0.2248	0.2455	0.2905
28	B1L-1	5.9890	5.9873	5.9863	5.9830	0.1833	0.2109	0.2282	0.2835
29	B1L-2	5.9892	5.9873	5.9863	5.9830	0.1798	0.2109	0.2282	0.2835
30	B1L-3	5.9884	5.9873	5.9859	5.9830	0.1936	0.2109	0.2351	0.2835
31	B2u-1	5.9884	5.9865	5.9857	5.9824	0.1936	0.2248	0.2386	0.2939
32	B2u-2	5.9888	5.9865	5.9857	5.9809	0.1867	0.2248	0.2386	0.3181
33	B2u-3	5.9884	5.9871	5.9861	5.9817	0.1936	0.2144	0.2317	0.3043
34	B2L-1	5.9884	5.9871	5.9863	5.9822	0.1936	0.2144	0.2282	0.2974
35	B2L-2	5.9886	5.9876	5.9867	5.9817	0.1902	0.2075	0.2213	0.3043
36	B2L-3	5.9880	5.9876	5.9867	5.9822	0.2006	0.2075	0.2213	0.2974
37	B3u-1	5.9884	5.9867	5.9853	5.9801	0.1936	0.2213	0.2455	0.3320
38	B3u-2	5.9884	5.9867	5.9853	5.9805	0.1936	0.2213	0.2455	0.3250
39	B3u-3	5.9884	5.9863	5.9853	5.9801	0.1936	0.2282	0.2455	0.3320
40	B3L-1	5.9892	5.9876	5.9859	5.9822	0.1798	0.2075	0.2351	0.2974
41	B3L-2	5.9892	5.9876	5.9857	5.9809	0.1798	0.2075	0.2386	0.3181
42	B3L-3	5.9890	5.9878	5.9863	5.9805	0.1833	0.2040	0.2282	0.3250
43	B4u-1	5.9884	5.9861	5.9849	5.9822	0.1936	0.2317	0.2524	0.2974
44	B4u-2	5.9886	5.9861	5.9842	5.9822	0.1902	0.2317	0.2628	0.2974
45	B4u-3	5.9884	5.9863	5.9853	5.9830	0.1936	0.2282	0.2455	0.2835
46	B4L-1	5.9884	5.9867	5.9859	5.9817	0.1936	0.2213	0.2351	0.3043



ตารางภาคผนวก ข8 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
47	B4L-2	5.9888	5.9873	5.9859	5.9826	0.1867	0.2109	0.2351	0.2905
48	B4L-3	5.9878	5.9873	5.9855	5.9826	0.2040	0.2109	0.2420	0.2905
49	C1u-1	5.9884	5.9863	5.9853	5.9824	0.1936	0.2282	0.2455	0.2939
50	C1u-2	5.9880	5.9876	5.9859	5.9817	0.2006	0.2075	0.2351	0.3043
51	C1u-3	5.9884	5.9876	5.9863	5.9817	0.1936	0.2075	0.2282	0.3043
52	C1L-1	5.9894	5.9880	5.9865	5.9832	0.1763	0.2006	0.2248	0.2801
53	C1L-2	5.9884	5.9880	5.9867	5.9770	0.1936	0.2006	0.2213	0.3838
54	C1L-3	5.9894	5.9880	5.9867	5.9822	0.1763	0.2006	0.2213	0.2974
55	C2u-1	5.9894	5.9867	5.9851	5.9817	0.1763	0.2213	0.2490	0.3043
56	C2u-2	5.9890	5.9880	5.9863	5.9817	0.1833	0.2006	0.2282	0.3043
57	C2u-3	5.9892	5.9859	5.9863	5.9811	0.1798	0.2351	0.2282	0.3147
58	C2L-1	5.9884	5.9876	5.9871	5.9830	0.1936	0.2075	0.2144	0.2835
59	C2L-2	5.9884	5.9876	5.9871	5.9830	0.1936	0.2075	0.2144	0.2835
60	C2L-3	5.9884	5.9876	5.9867	5.9830	0.1936	0.2075	0.2213	0.2835
61	C3u-1	5.9892	5.9867	5.9851	5.9815	0.1798	0.2213	0.2490	0.3077
62	C3u-2	5.9849	5.9859	5.9849	5.9822	0.2524	0.2351	0.2524	0.2974
63	C3u-3	5.9876	5.9867	5.9842	5.9822	0.2075	0.2213	0.2628	0.2974
64	C3L-1	5.9880	5.9873	5.9863	5.9830	0.2006	0.2109	0.2282	0.2835
65	C3L-2	5.9886	5.9873	5.9865	5.9830	0.1902	0.2109	0.2248	0.2835
66	C3L-3	5.9886	5.9873	5.9865	5.9826	0.1902	0.2109	0.2248	0.2905
67	C4u-1	5.9884	5.9867	5.9842	5.9807	0.1936	0.2213	0.2628	0.3216
68	C4u-2	5.9884	5.9859	5.9842	5.9811	0.1936	0.2351	0.2628	0.3147
69	C4u-3	5.9884	5.9859	5.9849	5.9811	0.1936	0.2351	0.2524	0.3147
70	C4L-1	5.9894	5.9880	5.9873	5.9828	0.1763	0.2006	0.2109	0.2870
71	C4L-2	5.9888	5.9880	5.9867	5.9822	0.1867	0.2006	0.2213	0.2974
72	C4L-3	5.9888	5.9876	5.9867	5.9822	0.1867	0.2075	0.2213	0.2974
73	D1u-1	5.9884	5.9865	5.9853	5.9817	0.1936	0.2248	0.2455	0.3043
74	D1u-2	5.9894	5.9865	5.9846	5.9822	0.1763	0.2248	0.2559	0.2974
75	D1u-3	5.9890	5.9873	5.9842	5.9822	0.1833	0.2109	0.2628	0.2974
76	D1L-1	5.9890	5.9873	5.9855	5.9832	0.1833	0.2109	0.2420	0.2801



ตารางภาคผนวก ข8 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
77	D1L-2	5.9890	5.9873	5.9846	5.9815	0.1833	0.2109	0.2559	0.3077
78	D1L-3	5.9884	5.9873	5.9855	5.9780	0.1936	0.2109	0.2420	0.3665
79	D2u-1	5.9842	5.9855	5.9842	5.9813	0.2628	0.2420	0.2628	0.3112
80	D2u-2	5.9884	5.9855	5.9838	5.9811	0.1936	0.2420	0.2697	0.3147
81	D2u-3	5.9884	5.9855	5.9838	5.9811	0.1936	0.2420	0.2697	0.3147
82	D2L-1	5.9890	5.9873	5.9855	5.9817	0.1833	0.2109	0.2420	0.3043
83	D2L-2	5.9892	5.9863	5.9857	5.9817	0.1798	0.2282	0.2386	0.3043
84	D2L-3	5.9890	5.9873	5.9855	5.9826	0.1833	0.2109	0.2420	0.2905
85	D3u-1	5.9884	5.9865	5.9838	5.9805	0.1936	0.2248	0.2697	0.3250
86	D3u-2	5.9884	5.9857	5.9838	5.9822	0.1936	0.2386	0.2697	0.2974
87	D3u-3	5.9884	5.9865	5.9851	5.9822	0.1936	0.2248	0.2490	0.2974
88	D3L-1	5.9894	5.9873	5.9853	5.9832	0.1763	0.2109	0.2455	0.2801
89	D3L-2	5.9884	5.9863	5.9849	5.9832	0.1936	0.2282	0.2524	0.2801
90	D3L-3	5.9884	5.9863	5.9849	5.9832	0.1936	0.2282	0.2524	0.2801
91	D4u-1	5.9892	5.9855	5.9840	5.9820	0.1798	0.2420	0.2663	0.3008
92	D4u-2	5.9890	5.9855	5.9836	5.9820	0.1833	0.2420	0.2732	0.3008
93	D4u-3	5.9892	5.9853	5.9836	5.9817	0.1798	0.2455	0.2732	0.3043
94	D4L-1	5.9884	5.9867	5.9855	5.9822	0.1936	0.2213	0.2420	0.2974
95	D4L-2	5.9884	5.9873	5.9857	5.9828	0.1936	0.2109	0.2386	0.2870
96	D4L-3	5.9884	5.9873	5.9855	5.9828	0.1936	0.2109	0.2420	0.2870



ตารางภาคผนวก ข9 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลื่ออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลื่ออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	7.9894	7.9867	7.9842	7.9822	0.1323	0.1660	0.1971	0.2230
2	A1u-2	7.9884	7.9863	7.9844	7.9828	0.1452	0.1712	0.1945	0.2152
3	A1u-3	7.9894	7.9863	7.9844	7.9828	0.1323	0.1712	0.1945	0.2152
4	A1L-1	7.9894	7.9880	7.9863	7.9832	0.1323	0.1504	0.1712	0.2101
5	A1L-2	7.9894	7.9873	7.9863	7.9820	0.1323	0.1582	0.1712	0.2256
6	A1L-3	7.9894	7.9880	7.9873	7.9832	0.1323	0.1504	0.1582	0.2101
7	A2u-1	7.9888	7.9873	7.9861	7.9817	0.1400	0.1582	0.1738	0.2282
8	A2u-2	7.9888	7.9873	7.9863	7.9817	0.1400	0.1582	0.1712	0.2282
9	A2u-3	7.9884	7.9873	7.9861	7.9817	0.1452	0.1582	0.1738	0.2282
10	A2L-1	7.9894	7.9884	7.9867	7.9822	0.1323	0.1452	0.1660	0.2230
11	A2L-2	7.9888	7.9884	7.9867	7.9822	0.1400	0.1452	0.1660	0.2230
12	A2L-3	7.9894	7.9880	7.9873	7.9832	0.1323	0.1504	0.1582	0.2101
13	A3u-1	7.9884	7.9861	7.9855	7.9813	0.1452	0.1738	0.1815	0.2334
14	A3u-2	7.9894	7.9861	7.9853	7.9830	0.1323	0.1738	0.1841	0.2127
15	A3u-3	7.9884	7.9865	7.9855	7.9813	0.1452	0.1686	0.1815	0.2334
16	A3L-1	7.9884	7.9873	7.9859	7.9832	0.1452	0.1582	0.1763	0.2101
17	A3L-2	7.9890	7.9873	7.9861	7.9832	0.1374	0.1582	0.1738	0.2101
18	A3L-3	7.9890	7.9867	7.9859	7.9820	0.1374	0.1660	0.1763	0.2256
19	A4u-1	7.9880	7.9861	7.9842	7.9826	0.1504	0.1738	0.1971	0.2178
20	A4u-2	7.9888	7.9861	7.9844	7.9822	0.1400	0.1738	0.1945	0.2230
21	A4u-3	7.9888	7.9861	7.9844	7.9820	0.1400	0.1738	0.1945	0.2256
22	A4L-1	7.9894	7.9880	7.9861	7.9832	0.1323	0.1504	0.1738	0.2101
23	A4L-2	7.9894	7.9880	7.9863	7.9824	0.1323	0.1504	0.1712	0.2204
24	A4L-3	7.9894	7.9876	7.9863	7.9824	0.1323	0.1556	0.1712	0.2204
25	B1u-1	7.9880	7.9863	7.9855	7.9815	0.1504	0.1712	0.1815	0.2308
26	B1u-2	7.9878	7.9863	7.9844	7.9817	0.1530	0.1712	0.1945	0.2282
27	B1u-3	7.9876	7.9863	7.9844	7.9817	0.1556	0.1712	0.1945	0.2282
28	B1L-1	7.9876	7.9869	7.9863	7.9822	0.1556	0.1634	0.1712	0.2230
29	B1L-2	7.9880	7.9871	7.9859	7.9824	0.1504	0.1608	0.1763	0.2204



ตารางภาคผนวก ข9 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
30	B1L-3	7.9873	7.9863	7.9859	7.9824	0.1582	0.1712	0.1763	0.2204
31	B2u-1	7.9880	7.9859	7.9844	7.9822	0.1504	0.1763	0.1945	0.2230
32	B2u-2	7.9878	7.9859	7.9842	7.9822	0.1530	0.1763	0.1971	0.2230
33	B2u-3	7.9878	7.9855	7.9842	7.9811	0.1530	0.1815	0.1971	0.2360
34	B2L-1	7.9873	7.9865	7.9857	7.9832	0.1582	0.1686	0.1789	0.2101
35	B2L-2	7.9880	7.9873	7.9867	7.9824	0.1504	0.1582	0.1660	0.2204
36	B2L-3	7.9880	7.9873	7.9867	7.9824	0.1504	0.1582	0.1660	0.2204
37	B3u-1	7.9876	7.9851	7.9836	7.9832	0.1556	0.1867	0.2049	0.2101
38	B3u-2	7.9876	7.9851	7.9838	7.9790	0.1556	0.1867	0.2023	0.2619
39	B3u-3	7.9884	7.9851	7.9838	7.9815	0.1452	0.1867	0.2023	0.2308
40	B3L-1	7.9880	7.9873	7.9861	7.9817	0.1504	0.1582	0.1738	0.2282
41	B3L-2	7.9880	7.9873	7.9861	7.9822	0.1504	0.1582	0.1738	0.2230
42	B3L-3	7.9876	7.9867	7.9855	7.9822	0.1556	0.1660	0.1815	0.2230
43	B4u-1	7.9876	7.9863	7.9838	7.9817	0.1556	0.1712	0.2023	0.2282
44	B4u-2	7.9876	7.9863	7.9836	7.9815	0.1556	0.1712	0.2049	0.2308
45	B4u-3	7.9876	7.9863	7.9836	7.9817	0.1556	0.1712	0.2049	0.2282
46	B4L-1	7.9876	7.9871	7.9853	7.9822	0.1556	0.1608	0.1841	0.2230
47	B4L-2	7.9878	7.9873	7.9857	7.9822	0.1530	0.1582	0.1789	0.2230
48	B4L-3	7.9876	7.9873	7.9863	7.9824	0.1556	0.1582	0.1712	0.2204
49	C1u-1	7.9888	7.9873	7.9863	7.9822	0.1400	0.1582	0.1712	0.2230
50	C1u-2	7.9888	7.9873	7.9859	7.9817	0.1400	0.1582	0.1763	0.2282
51	C1u-3	7.9884	7.9873	7.9857	7.9817	0.1452	0.1582	0.1789	0.2282
52	C1L-1	7.9894	7.9880	7.9867	7.9824	0.1323	0.1504	0.1660	0.2204
53	C1L-2	7.9894	7.9876	7.9863	7.9826	0.1323	0.1556	0.1712	0.2178
54	C1L-3	7.9900	7.9876	7.9863	7.9826	0.1245	0.1556	0.1712	0.2178
55	C2u-1	7.9890	7.9869	7.9844	7.9822	0.1374	0.1634	0.1945	0.2230
56	C2u-2	7.9890	7.9863	7.9838	7.9817	0.1374	0.1712	0.2023	0.2282
57	C2u-3	7.9884	7.9863	7.9838	7.9815	0.1452	0.1712	0.2023	0.2308
58	C2L-1	7.9894	7.9873	7.9863	7.9828	0.1323	0.1582	0.1712	0.2152
59	C2L-2	7.9894	7.9873	7.9863	7.9828	0.1323	0.1582	0.1712	0.2152



ตารางภาคผนวก ข9 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
60	C2L-3	7.9894	7.9873	7.9863	7.9828	0.1323	0.1582	0.1712	0.2152
61	C3u-1	7.9886	7.9867	7.9840	7.9815	0.1426	0.1660	0.1997	0.2308
62	C3u-2	7.9886	7.9867	7.9836	7.9820	0.1426	0.1660	0.2049	0.2256
63	C3u-3	7.9876	7.9867	7.9836	7.9820	0.1556	0.1660	0.2049	0.2256
64	C3L-1	7.9900	7.9876	7.9867	7.9820	0.1245	0.1556	0.1660	0.2256
65	C3L-2	7.9888	7.9873	7.9867	7.9822	0.1400	0.1582	0.1660	0.2230
66	C3L-3	7.9888	7.9867	7.9857	7.9824	0.1400	0.1660	0.1789	0.2204
67	C4u-1	7.9884	7.9869	7.9842	7.9817	0.1452	0.1634	0.1971	0.2282
68	C4u-2	7.9884	7.9867	7.9836	7.9815	0.1452	0.1660	0.2049	0.2308
69	C4u-3	7.9890	7.9867	7.9842	7.9807	0.1374	0.1660	0.1971	0.2412
70	C4L-1	7.9894	7.9873	7.9865	7.9822	0.1323	0.1582	0.1686	0.2230
71	C4L-2	7.9886	7.9873	7.9863	7.9828	0.1426	0.1582	0.1712	0.2152
72	C4L-3	7.9886	7.9873	7.9863	7.9828	0.1426	0.1582	0.1712	0.2152
73	D1u-1	7.9876	7.9867	7.9853	7.9813	0.1556	0.1660	0.1841	0.2334
74	D1u-2	7.9880	7.9863	7.9838	7.9817	0.1504	0.1712	0.2023	0.2282
75	D1u-3	7.9876	7.9867	7.9842	7.9817	0.1556	0.1660	0.1971	0.2282
76	D1L-1	7.9876	7.9867	7.9849	7.9813	0.1556	0.1660	0.1893	0.2334
77	D1L-2	7.9873	7.9863	7.9846	7.9826	0.1582	0.1712	0.1919	0.2178
78	D1L-3	7.9876	7.9867	7.9842	7.9826	0.1556	0.1660	0.1971	0.2178
79	D2u-1	7.9878	7.9857	7.9838	7.9817	0.1530	0.1789	0.2023	0.2282
80	D2u-2	7.9880	7.9863	7.9846	7.9807	0.1504	0.1712	0.1919	0.2412
81	D2u-3	7.9880	7.9863	7.9846	7.9817	0.1504	0.1712	0.1919	0.2282
82	D2L-1	7.9876	7.9867	7.9849	7.9826	0.1556	0.1660	0.1893	0.2178
83	D2L-2	7.9876	7.9865	7.9855	7.9826	0.1556	0.1686	0.1815	0.2178
84	D2L-3	7.9894	7.9865	7.9846	7.9822	0.1323	0.1686	0.1919	0.2230
85	D3u-1	7.9880	7.9855	7.9838	7.9807	0.1504	0.1815	0.2023	0.2412
86	D3u-2	7.9876	7.9855	7.9846	7.9815	0.1556	0.1815	0.1919	0.2308
87	D3u-3	7.9876	7.9863	7.9846	7.9815	0.1556	0.1712	0.1919	0.2308
88	D3L-1	7.9884	7.9867	7.9855	7.9822	0.1452	0.1660	0.1815	0.2230
89	D3L-2	7.9880	7.9871	7.9855	7.9824	0.1504	0.1608	0.1815	0.2204



ตารางภาคผนวก ข9 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
90	D3L-3	7.9878	7.9867	7.9851	7.9822	0.1530	0.1660	0.1867	0.2230
91	D4u-1	7.9880	7.9867	7.9849	7.9817	0.1504	0.1660	0.1893	0.2282
92	D4u-2	7.9878	7.9867	7.9836	7.9815	0.1530	0.1660	0.2049	0.2308
93	D4u-3	7.9878	7.9871	7.9836	7.9815	0.1530	0.1608	0.2049	0.2308
94	D4L-1	7.9878	7.9871	7.9851	7.9824	0.1530	0.1608	0.1867	0.2204
95	D4L-2	7.9880	7.9863	7.9846	7.9824	0.1504	0.1712	0.1919	0.2204
96	D4L-3	7.9878	7.9867	7.9842	7.9826	0.1530	0.1660	0.1971	0.2178

ตารางภาคผนวก ข10 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่ในสารละลายและร้อยละการดูดซับ
ตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม ระยะเวลาที่สัมผัส 60 นาที

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
1	A1u-1	9.9894	9.9882	9.9853	9.9797	0.1058	0.1183	0.1473	0.2033
2	A1u-2	9.9894	9.9890	9.9840	9.9801	0.1058	0.1100	0.1598	0.1992
3	A1u-3	9.9894	9.9882	9.9851	9.9790	0.1058	0.1183	0.1494	0.2095
4	A1L-1	9.9900	9.9892	9.9863	9.9813	0.0996	0.1079	0.1369	0.1867
5	A1L-2	9.9900	9.9892	9.9863	9.9813	0.0996	0.1079	0.1369	0.1867
6	A1L-3	9.9896	9.9892	9.9855	9.9830	0.1037	0.1079	0.1452	0.1701
7	A2u-1	9.9894	9.9884	9.9846	9.9801	0.1058	0.1162	0.1535	0.1992
8	A2u-2	9.9888	9.9880	9.9851	9.9809	0.1120	0.1203	0.1494	0.1909
9	A2u-3	9.9888	9.9880	9.9846	9.9809	0.1120	0.1203	0.1535	0.1909
10	A2L-1	9.9905	9.9894	9.9867	9.9813	0.0954	0.1058	0.1328	0.1867
11	A2L-2	9.9900	9.9890	9.9859	9.9822	0.0996	0.1100	0.1411	0.1784
12	A2L-3	9.9900	9.9890	9.9863	9.9822	0.0996	0.1100	0.1369	0.1784
13	A3u-1	9.9892	9.9880	9.9842	9.9805	0.1079	0.1203	0.1577	0.1950
14	A3u-2	9.9890	9.9876	9.9842	9.9805	0.1100	0.1245	0.1577	0.1950
15	A3u-3	9.9890	9.9876	9.9846	9.9797	0.1100	0.1245	0.1535	0.2033
16	A3L-1	9.9894	9.9884	9.9855	9.9820	0.1058	0.1162	0.1452	0.1805



ตารางภาคผนวก ข10 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
17	A3L-2	9.9896	9.9884	9.9851	9.9813	0.1037	0.1162	0.1494	0.1867
18	A3L-3	9.9896	9.9884	9.9851	9.9813	0.1037	0.1162	0.1494	0.1867
19	A4u-1	9.9892	9.9876	9.9838	9.9790	0.1079	0.1245	0.1618	0.2095
20	A4u-2	9.9896	9.9876	9.9842	9.9801	0.1037	0.1245	0.1577	0.1992
21	A4u-3	9.9896	9.9873	9.9842	9.9801	0.1037	0.1266	0.1577	0.1992
22	A4L-1	9.9896	9.9888	9.9857	9.9822	0.1037	0.1120	0.1432	0.1784
23	A4L-2	9.9905	9.9888	9.9857	9.9822	0.0954	0.1120	0.1432	0.1784
24	A4L-3	9.9905	9.9888	9.9863	9.9813	0.0954	0.1120	0.1369	0.1867
25	B1u-1	9.9890	9.9865	9.9846	9.9809	0.1100	0.1349	0.1535	0.1909
26	B1u-2	9.9888	9.9873	9.9842	9.9797	0.1120	0.1266	0.1577	0.2033
27	B1u-3	9.9890	9.9865	9.9846	9.9801	0.1100	0.1349	0.1535	0.1992
28	B1L-1	9.9896	9.9880	9.9863	9.9817	0.1037	0.1203	0.1369	0.1826
29	B1L-2	9.9905	9.9880	9.9859	9.9805	0.0954	0.1203	0.1411	0.1950
30	B1L-3	9.9905	9.9878	9.9859	9.9826	0.0954	0.1224	0.1411	0.1743
31	B2u-1	9.9886	9.9863	9.9851	9.9809	0.1141	0.1369	0.1494	0.1909
32	B2u-2	9.9886	9.9867	9.9849	9.9799	0.1141	0.1328	0.1515	0.2012
33	B2u-3	9.9888	9.9871	9.9855	9.9822	0.1100	0.1328	0.1515	0.1971
34	B2L-1	9.9896	9.9876	9.9859	9.9822	0.1120	0.1286	0.1452	0.1784
35	B2L-2	9.9896	9.9873	9.9859	9.9803	0.1037	0.1245	0.1411	0.1784
36	B2L-3	9.9888	9.9876	9.9863	9.9797	0.1037	0.1266	0.1411	0.1971
37	B3u-1	9.9888	9.9859	9.9846	9.9811	0.1120	0.1245	0.1369	0.2033
38	B3u-2	9.9888	9.9869	9.9846	9.9811	0.1120	0.1411	0.1535	0.1888
39	B3u-3	9.9905	9.9882	9.9857	9.9817	0.1120	0.1307	0.1535	0.1888
40	B3L-1	9.9905	9.9884	9.9863	9.9817	0.0954	0.1183	0.1432	0.1826
41	B3L-2	9.9894	9.9882	9.9863	9.9822	0.0954	0.1162	0.1369	0.1826
42	B3L-3	9.9890	9.9878	9.9853	9.9801	0.1058	0.1183	0.1369	0.1784
43	B4u-1	9.9888	9.9878	9.9857	9.9795	0.1100	0.1224	0.1473	0.1992
44	B4u-2	9.9888	9.9876	9.9855	9.9801	0.1120	0.1224	0.1432	0.2054
45	B4u-3	9.9894	9.9880	9.9863	9.9822	0.1120	0.1245	0.1452	0.1992
46	B4L-1	9.9890	9.9873	9.9857	9.9830	0.1058	0.1203	0.1369	0.1784



ตารางภาคผนวก ข10 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสีย สังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
47	B4L-2	9.9890	9.9873	9.9855	9.9824	0.1100	0.1266	0.1432	0.1701
48	B4L-3	9.9888	9.9871	9.9855	9.9822	0.1100	0.1266	0.1452	0.1763
49	C1u-1	9.9905	9.9888	9.9849	9.9803	0.0954	0.1120	0.1515	0.1971
50	C1u-2	9.9905	9.9876	9.9853	9.9799	0.0954	0.1245	0.1473	0.2012
51	C1u-3	9.9905	9.9876	9.9853	9.9803	0.0954	0.1245	0.1473	0.1971
52	C1L-1	9.9909	9.9886	9.9863	9.9824	0.0913	0.1141	0.1369	0.1763
53	C1L-2	9.9900	9.9884	9.9855	9.9822	0.0996	0.1162	0.1452	0.1784
54	C1L-3	9.9900	9.9884	9.9855	9.9822	0.0996	0.1162	0.1452	0.1784
55	C2u-1	9.9896	9.9873	9.9842	9.9799	0.1037	0.1266	0.1577	0.2012
56	C2u-2	9.9896	9.9867	9.9842	9.9805	0.1037	0.1328	0.1577	0.1950
57	C2u-3	9.9900	9.9867	9.9838	9.9805	0.0996	0.1328	0.1618	0.1950
58	C2L-1	9.9905	9.9876	9.9830	9.9828	0.0954	0.1245	0.1701	0.1722
59	C2L-2	9.9905	9.9871	9.9855	9.9828	0.0954	0.1286	0.1452	0.1722
60	C2L-3	9.9913	9.9876	9.9859	9.9828	0.0871	0.1245	0.1411	0.1722
61	C3u-1	9.9898	9.9863	9.9817	9.9803	0.1017	0.1369	0.1826	0.1971
62	C3u-2	9.9888	9.9873	9.9826	9.9799	0.1120	0.1266	0.1743	0.2012
63	C3u-3	9.9888	9.9873	9.9826	9.9799	0.1120	0.1266	0.1743	0.2012
64	C3L-1	9.9898	9.9884	9.9834	9.9820	0.1017	0.1162	0.1660	0.1805
65	C3L-2	9.9898	9.9876	9.9838	9.9830	0.1017	0.1245	0.1618	0.1701
66	C3L-3	9.9905	9.9876	9.9836	9.9826	0.0954	0.1245	0.1639	0.1743
67	C4u-1	9.9888	9.9859	9.9826	9.9817	0.1120	0.1411	0.1743	0.1826
68	C4u-2	9.9880	9.9867	9.9828	9.9815	0.1203	0.1328	0.1722	0.1846
69	C4u-3	9.9880	9.9855	9.9826	9.9811	0.1203	0.1452	0.1743	0.1888
70	C4L-1	9.9894	9.9863	9.9836	9.9822	0.1058	0.1369	0.1639	0.1784
71	C4L-2	9.9894	9.9867	9.9834	9.9828	0.1058	0.1328	0.1660	0.1722
72	C4L-3	9.9884	9.9863	9.9836	9.9817	0.1162	0.1369	0.1639	0.1826
73	D1u-1	9.9898	9.9855	9.9840	9.9811	0.1017	0.1452	0.1598	0.1888
74	D1u-2	9.9888	9.9859	9.9842	9.9797	0.1120	0.1411	0.1577	0.2033
75	D1u-3	9.9884	9.9863	9.9842	9.9811	0.1162	0.1369	0.1577	0.1888
76	D1L-1	9.9905	9.9871	9.9855	9.9813	0.0954	0.1286	0.1452	0.1867



ตารางภาคผนวก ข10 (ต่อ)

No.	Site	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ เหลืออยู่ในสารละลาย(มิลลิกรัมต่อกรัม)				ร้อยละการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)			
		0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.	0.1 g.	0.5 g.	1 g.	5 g.
77	D1L-2	9.9896	9.9873	9.9863	9.9826	0.1037	0.1266	0.1369	0.1743
78	D1L-3	9.9896	9.9867	9.9855	9.9813	0.1037	0.1328	0.1452	0.1867
79	D2u-1	9.9890	9.9869	9.9844	9.9797	0.1100	0.1307	0.1556	0.2033
80	D2u-2	9.9890	9.9861	9.9842	9.9797	0.1100	0.1390	0.1577	0.2033
81	D2u-3	9.9892	9.9867	9.9842	9.9795	0.1079	0.1328	0.1577	0.2054
82	D2L-1	9.9894	9.9884	9.9855	9.9826	0.1058	0.1162	0.1452	0.1743
83	D2L-2	9.9894	9.9884	9.9867	9.9826	0.1058	0.1162	0.1328	0.1743
84	D2L-3	9.9896	9.9878	9.9863	9.9822	0.1037	0.1224	0.1369	0.1784
85	D3u-1	9.9888	9.9873	9.9842	9.9793	0.1120	0.1266	0.1577	0.2075
86	D3u-2	9.9890	9.9878	9.9859	9.9797	0.1100	0.1224	0.1411	0.2033
87	D3u-3	9.9880	9.9855	9.9842	9.9795	0.1203	0.1452	0.1577	0.2054
88	D3L-1	9.9894	9.9884	9.9873	9.9815	0.1058	0.1162	0.1266	0.1846
89	D3L-2	9.9898	9.9880	9.9871	9.9820	0.1017	0.1203	0.1286	0.1805
90	D3L-3	9.9898	9.9880	9.9871	9.9820	0.1017	0.1203	0.1286	0.1805
91	D4u-1	9.9890	9.9884	9.9861	9.9797	0.1100	0.1162	0.1390	0.2033
92	D4u-2	9.9896	9.9884	9.9863	9.9795	0.1037	0.1162	0.1369	0.2054
93	D4u-3	9.9896	9.9890	9.9867	9.9809	0.1037	0.1100	0.1328	0.1909
94	D4L-1	9.9890	9.9873	9.9861	9.9830	0.1100	0.1266	0.1390	0.1701
95	D4L-2	9.9900	9.9888	9.9861	9.9820	0.0996	0.1120	0.1390	0.1805
96	D4L-3	9.9894	9.9882	9.9867	9.9826	0.1058	0.1183	0.1328	0.1743



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล นางสาวปิยภรณ์ วุฒิเสลา
วัน เดือน ปีเกิดวันที่ วันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2531
จังหวัดและประเทศที่เกิด จังหวัดยโสธร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2547 มัธยมตอนต้น โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง
จังหวัดอำนาจเจริญ 37000
พ.ศ. 2550 มัธยมตอนปลาย โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง
จังหวัดอำนาจเจริญ 37000
พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2557 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาชีววิทยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ เลขที่ 100 หมู่ 12 ตำบลบุงคำ อำเภอเลิงนกทา จังหวัดยโสธร 35120
รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา
ทุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 กองส่งเสริมการวิจัย
และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

