

ผลของการเติมของเสียอินทรีย์ที่มีต่อลักษณะการชะละลายจากดินที่ปนเปื้อนตะกั่วในระดับสูง

Organic Waste Amendments Effect on Leaching Characteristics from Highly Pb-Contaminated Soil

ธิพา พานิช และสุกเกียรติ ศรีพนมธนากร

Tipa Panis and Suppakiet Sripanomtanakorn

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก จ.กรุงเทพมหานคร 10530

E-mail: aimsuwan@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของการเติมของเสียอินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ มูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักขยะชุมชน ที่มีต่อลักษณะการชะละลาย และองค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่ว ในดินที่ปนเปื้อนตะกั่วในระดับสูงได้ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ทดสอบการชะละลายในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีการผสมของเสียอินทรีย์ต่างๆ ในอัตราร้อยละ 1, 3, 5 และ 10 ในดิน ที่ไม่มีและมีการเติมสารอีดีทีเอในอัตรา 5 มิลลิโมล/กก.ดิน ผลการศึกษาการทดสอบการชะละลายเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า การเติมของเสียอินทรีย์เหล่านี้ในดินมีผลทำให้ทั้งความเข้มข้น และปริมาณตะกั่วทั้งหมดจากน้ำชะละลายลดลง การเติมอีดีทีเอในดินมีผลทำให้ค่าความเข้มข้นของซีโอไซด์และตะกั่วในน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นอย่างมาก การสกัดตามลำดับของดินที่ผ่านการทดสอบการชะละลายมาแล้วแสดงให้เห็นว่าการเติมของเสียอินทรีย์ดังกล่าวในดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่วในระดับสูงมีผลทำให้สัดส่วนรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินถูกเปลี่ยนจากรูปแบบที่เคลื่อนที่ได้ง่ายไปยังรูปแบบที่เคลื่อนที่ได้ยากกว่าซึ่งมีศักยภาพในการช่วยลดการเคลื่อนที่ของตะกั่วในชั้นดิน

Abstract

A laboratory leaching column experiment was conducted to study the effects of three organic waste types (i.e., cow manure, sewage sludge and municipal solid waste compost) on the leaching characteristics and distribution of Pb among soil fractions from highly Pb-contaminated soil. The organic wastes were applied to the soil at the rates of 1%, 3%, 5%

and 10% (dry weight basis) in the presence and absence of EDTA at 5 mmol kg⁻¹. The results from 8-week leaching column study indicated that the application of the organic wastes decreased in both the concentration and total amount of Pb from leachates. The COD and Pb concentrations in the leachates were markedly enhanced by addition of EDTA. Sequential fractionations of leached soil showed that addition of these organic wastes on the highly Pb-contaminated soil can redistribute Pb from more to less mobile fractions, and potentially decrease the mobility in soil profiles.

1. บทนำ

สาเหตุการปนเปื้อนตะกั่วในดินส่วนใหญ่เป็นผลมาจากทางภาคอุตสาหกรรม ซึ่งบริเวณใดมีปริมาณตะกั่วในดินในระดับสูงอาจส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในดินและพืชรวมถึงอาจมีการแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมอื่นๆ โดยเฉพาะการแพร่สู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือน้ำผิวดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนและบริเวณ โดยรอบ ดังนั้น บริเวณที่มีการปนเปื้อนเหล่านี้จำเป็นต้องมีการจัดการเพื่อลดและป้องกันปัญหาดังกล่าวซึ่งมีอยู่หลายๆ วิธี การลดการเคลื่อนตัวของตะกั่วในดินจากการชะละลายของน้ำอาจทำได้โดยใช้วัสดุหลายประเภท เช่น สารอินทรีย์ฟอสเฟต วัสดุปูน ซีโอไลท์ และสารอินทรีย์ต่างๆ [1] เป็นต้น การบำบัดโดยอาศัยพืชในการดูดดึงตะกั่วจากดิน

(Phytoextraction) ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้สารคีเลต (Chelate) เช่นสารอีดีทีเอ (Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA) และสารดีทีพีเอ (Diethylenediaminepentacetic acid, DTPA) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารอีดีทีเอมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการเพิ่มปริมาณตะกั่วในรูปที่เป็นประโยชน์ และเพิ่มปริมาณการสะสมตะกั่วในพืชได้สูง [2-3] แต่อย่างไรก็ตามการที่ตะกั่วสามารถที่จะละลายในดินได้มากขึ้นอาจมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการเคลื่อนตัวของตะกั่วลงสู่ดินชั้นล่างและอาจทำให้เกิดการชะละลายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินเมื่อมีการนำไปใช้ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เป็นจริง [4]

ของเสียอินทรีย์มีคุณสมบัติหลายประการในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน รวมถึงการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชการที่ของเสียอินทรีย์มีองค์ประกอบของปริมาณคอลลิคัล อินทรีย์วัตถุ และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่สูงอาจช่วยลดปริมาณการเคลื่อนย้ายตะกั่วในดินได้ ในทางตรงกันข้ามสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปละลายได้อาจทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับตะกั่วส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณการเคลื่อนตัวของตะกั่วในชั้นดิน [5] ทั้งนี้ความสามารถในการลดหรือการเพิ่มการเคลื่อนย้ายตะกั่วในดินของสารอินทรีย์ จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและประเภทของสารอินทรีย์ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน [6] ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงผลการเติมของเสียอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีต่อปริมาณการชะละลายของตะกั่ว รวมถึงองค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดิน จะทำให้ทราบถึงศักยภาพของการใช้ของเสียดังกล่าวในการลดปริมาณการเคลื่อนย้ายตะกั่วในดินรวมถึงเข้าใจถึงผลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางเคมีของตะกั่ว หลังจากการเติมของเสียอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในดิน

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ตัวอย่างดินและของเสียอินทรีย์ที่ใช้ศึกษา

ดินที่นำมาศึกษา เป็นดินที่นำมาจากบริเวณรอบปล่องควันของโรงงานหลอมตะกั่วจากแบดเตอรีเก่า จังหวัดระยอง เก็บที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ผึ่งให้แห้ง และร่อนผ่านตะแกรง

ขนาด 2 มม. ส่วนของเสียอินทรีย์ที่ใช้ศึกษาได้แก่ มูลวัวสดคั้นน้ำเสียชุมชน และปุ๋ยหมักขยะชุมชน โดยมูลวัวที่นำมาใช้ในการศึกษาเก็บจากโรงเรือนเลี้ยงวัว สำหรับสดคั้นน้ำเสียเป็นสัจคที่ผ่านการย่อยสลายแบบไร้อากาศแล้วเก็บจากลานตากสัจคของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำหนองแขมกรุงเทพฯ ส่วนปุ๋ยหมักขยะชุมชนเป็นปุ๋ยหมักที่ผลิตขายจากโรงหมักปุ๋ยขยะอ่อนนุช กรุงเทพฯ ตัวอย่างทั้งหมดได้ถูกผึ่งให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. เพื่อที่จะนำมาใช้ในการทดลองต่อไป

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาและวิธีการทดสอบการชะละลาย

คอลัมน์ดินทดสอบการชะละลายทำด้วยท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 ซม. สูง 15 ซม. ปิดด้วยจุกยางเจาะรูพร้อมสอดท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ซม. ขึ้นถัดขึ้นไปรองด้วยใยแก้ว และแผ่นใยสังเคราะห์ ก่อนการบรรจุดิน ปิดทับหน้าด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ปรับความชื้นให้ประมาณเท่ากับร้อยละ 60 ของความชื้นสนาม บ่มเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 14 วัน การเตรียมตัวอย่างทดสอบทำได้โดยใช้ดิน 70 กรัมผสมกับมูลวัว หรือสัจคคั้นน้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในอัตราร้อยละ 1, 3, 5 และ 10 โดยมีชุดการทดลองที่ใช้ดินอย่างเดียวนั้นชุดควบคุม ชะละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนที่ถูกปรับพีเอชเท่ากับ 5.0 ± 0.1 ด้วย H_2SO_4 : HNO_3 ที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก แบ่งการให้น้ำออกเป็นสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 50 มล. คอลัมน์ที่ถูกเตรียมขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดแรกเติมน้ำเพียงอย่างเดียว ขณะที่ชุดที่สองมีการเติมอีดีทีเอในอัตรา 5 มิลลิโมล/กก.ดิน ที่ผิวหน้าดินในคอลัมน์หลังจากทดสอบการชะละลายแล้วเป็นเวลา 14 วัน และทำการทดสอบการชะละลายต่อไปจนปริมาณตะกั่วในน้ำชะละลายมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับที่ค่อนข้างคงที่รวมเป็นระยะเวลา 52 วัน นำตัวอย่างดินในคอลัมน์ที่มีอัตราการเติมของเสียอินทรีย์ร้อยละ 0 และ 5 มาวิเคราะห์องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินโดยใช้วิธีการสกัดตามลำดับ

2.3 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์

ค่าพีเอชวัดด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช (อัตราส่วนดินต่อน้ำ= 1:1 ส่วนของเสียอินทรีย์ใช้อัตราส่วน=1:2.5) สารอินทรีย์คาร์บอนวิเคราะห์โดยวิธี Walkley-Black [7] ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดวิเคราะห์ด้วยวิธี Micro-Kjeldahl [8] ส่วนวิธีสกัดตามลำดับใช้วิธีของ Tessier et al. [9] สกัดรูปต่างๆทางเคมีของตะกั่วจากตัวอย่างดินประกอบไปด้วยรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable, EXCH) รูปคาร์บอเนต (Carbonate Bound, CARB) รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส (Fe-Mn Oxide Bound, Fe-Mn OXB) รูปสารอินทรีย์ (Organically Bound, ORGB) และรูปที่คงเหลือ (Residual, RESD) ส่วนการวิเคราะห์ตะกั่วในรูปทั้งหมด และรูปที่คงเหลือใช้การย่อยตัวอย่างโดยใช้เครื่องย่อยไมโครเวฟ และวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ลักษณะสมบัติของดิน มูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักขยะชุมชน

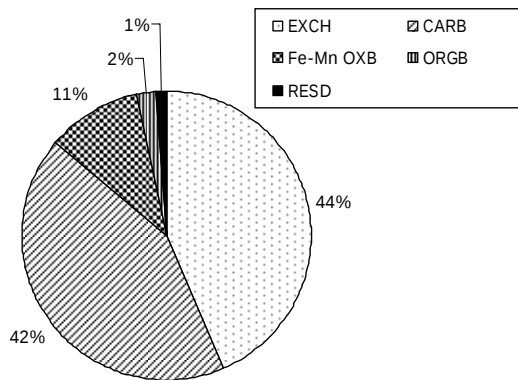
พิจารณาจากตารางที่ 1 แสดงลักษณะสมบัติของดิน มูลวัว สลัดจ์น้ำเสีย และปุ๋ยหมักที่ใช้ในการศึกษา พบว่าตัวอย่างดินมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.14 ซึ่งมีลักษณะเป็นดินกรด มีปริมาณ

สารอินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.52, 0.09 และ 0.16 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินจัดว่าเป็นดินทรายมีองค์ประกอบของ อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว เท่ากับร้อยละ 64, 11 และ 25 ตามลำดับ โดยมีปริมาณตะกั่วในรูปทั้งหมดปนเปื้อนในปริมาณสูงมากถึง 17,128 มก./กก.ดิน ซึ่งผลการวิเคราะห์องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่ารูปทางเคมีของตะกั่วในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายถึงร้อยละ 44 ขณะที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส รูปสารอินทรีย์ และรูปที่คงเหลือเท่ากับร้อยละ 42, 11, 2 และ 1 ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่ารูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย หรือสามารถเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งมีความเสี่ยงสูง ที่จะเกิดการชะละลายตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดิน เมื่อมีฝนตก หรือการไหลบ่าของน้ำ

ในส่วนของคุณสมบัติตัวอย่างของเสียอินทรีย์ที่ใช้ศึกษา พบว่า มูลวัว มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.82 ซึ่งมีลักษณะเป็นด่างและมีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของปุ๋ยหมักและสลัดจ์น้ำเสียคือ 7.48 และ 6.12 ตามลำดับ สำหรับปริมาณธาตุอาหาร ในรูปไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่าในสลัดจ์น้ำเสียมีค่า

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติของตัวอย่างดินและของเสียอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	ดิน	ของเสียอินทรีย์		
		มูลวัว	สลัดจ์น้ำเสีย	ปุ๋ยหมัก
พีเอช	5.14	8.82	6.12	7.48
สารอินทรีย์คาร์บอน (%)	0.52	19.00	12.72	30.66
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.09	1.96	2.87	1.97
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.16	1.43	1.97	1.69
คาร์บอน:ไนโตรเจน	5.65	9.69	4.43	15.56
ตะกั่วทั้งหมด (มก./กก.)	17,128	29	208	244
ทราย (%)	64	-	-	-
ทรายแป้ง (%)	11	-	-	-
ดินเหนียว (%)	25	-	-	-



รูปที่ 1 องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดิน

เท่ากับร้อยละ 2.87 และ 1.97 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าในปุ๋ยหมัก และมูลวัว ส่วนปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยหมักมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.66 คิดเป็นค่าอัตราส่วน C:N ได้เท่ากับ 15.56 ซึ่งสูงกว่าที่พบในมูลวัวและสลัดจ์น้ำเสียที่มีค่าเท่ากับ 9.69 และ 4.43 ตามลำดับ ค่า C:N ที่สูงแสดงถึงการที่สารอินทรีย์ในของเสียนั้นยังไม่ถูกย่อยสลายได้โดยสมบูรณ์ สำหรับปริมาณตะกั่วในปุ๋ยหมัก สลัดจ์น้ำเสีย และ มูลวัวมีค่าเท่ากับ 244, 208 และ 29 มก./กก. ตามลำดับ

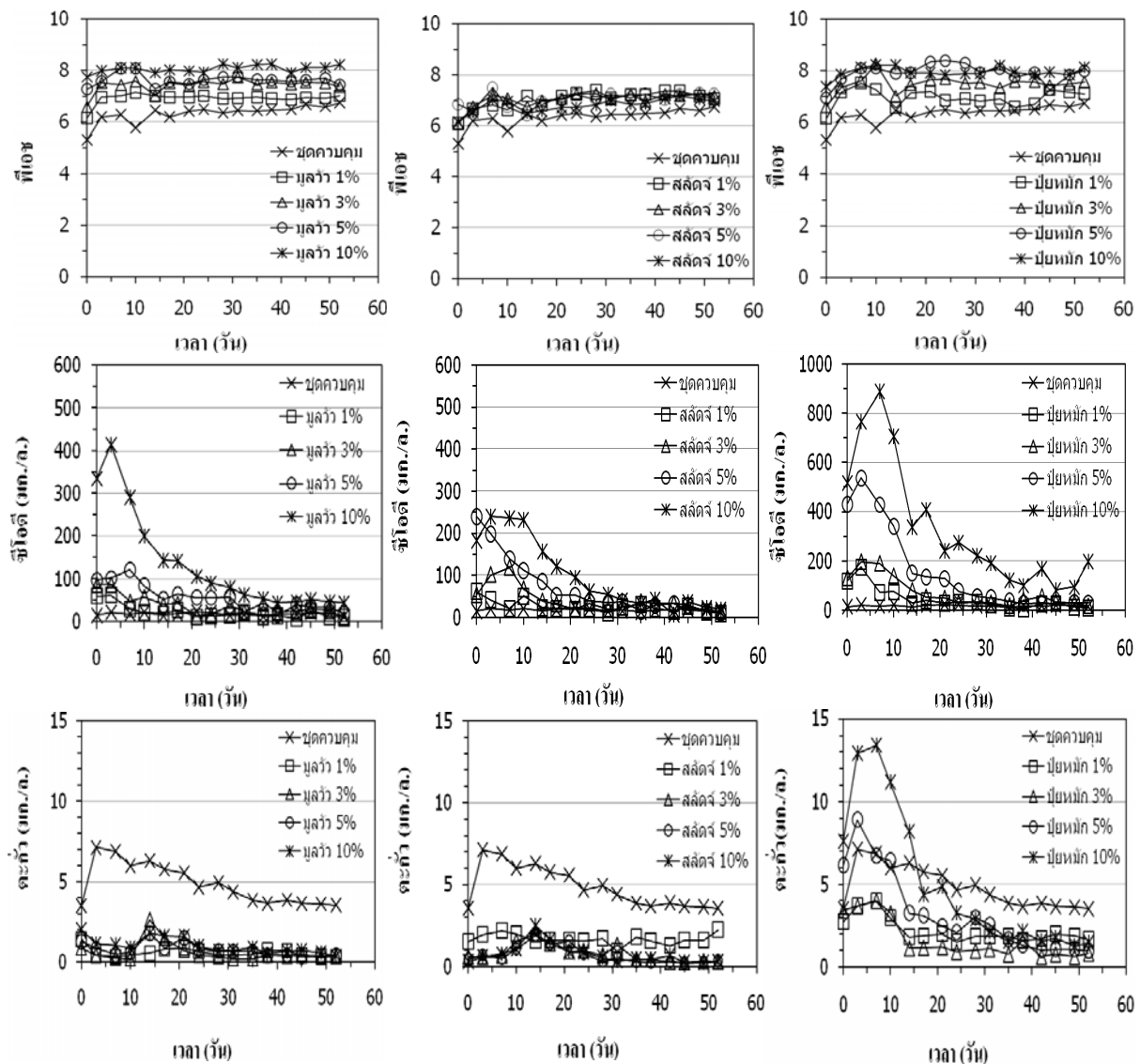
3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอกสัตว์ดิน

พิจารณาจากกราฟรูปที่ 2 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอกสัตว์ดินของชุดการทดลองที่มีการผสมของเสียอินทรีย์ในอัตราร้อยละ 1, 3, 5 และ 10 พบว่าการเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมัก ทำให้ค่าพีเอชของน้ำชะละลายสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายจากชุดควบคุมที่มีดินเพียงอย่างเดียว โดยในชุดการทดลองที่มีการเติมมูลวัว และปุ๋ยหมัก ค่าพีเอชของน้ำชะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเติมที่มากขึ้น ขณะที่อัตราการเติมสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้นไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช นัก ทั้งนี้ค่าพีเอชของน้ำชะละลายของทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่หลังจากการชะละลายในครั้งที่ 2 (วันที่ 3) เป็นต้นไป ตลอดการดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 52 วัน สำหรับค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) พบว่าค่าซีโอดีของน้ำชะละลายในดินที่มีการเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมัก มีค่าสูงกว่าค่าที่พบในชุดควบคุม โดยอัตรา

การเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าซีโอดีในน้ำชะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าซีโอดีในน้ำชะระหว่างชุดการทดลองที่มีอัตราการเติมของเสียอินทรีย์ที่เท่ากันพบว่าโดยรวมแล้วค่าซีโอดีในน้ำชะจากชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมักมีค่าสูงกว่าจากชุดการทดลองที่มีการเติมมูลวัว และเติมสลัดจ์น้ำเสียตามลำดับ ทั้งนี้ค่าซีโอดีสูงสุดที่อัตราการเติมปุ๋ยหมัก มูลวัว และสลัดจ์น้ำเสียร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 889, 414 และ 240 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนตะกั่วพบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายจากชุดการทดลองควบคุมในช่วง 3.5-7.0 มก./ล. การเติมของเสียอินทรีย์ทุกประเภทมีผลทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายน้อยลง ยกเว้นชุดการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยหมักในอัตราร้อยละ 5 และ 10 ที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว ในน้ำชะละลายสูงกว่า ที่พบในชุดควบคุมในช่วง 2 สัปดาห์แรก

3.3 ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลาย จากคอกสัตว์ดิน ที่มีการเติมสารอินทรีย์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอกสัตว์ดินที่มีการเติมสารอินทรีย์ (รูปที่ 3) และลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอกสัตว์ดินเดิม (รูปที่ 2) พบว่าโดยรวมแล้วค่าพีเอชของน้ำชะละลายจากคอกสัตว์ดินที่มีการเติมอินทรีย์ในชุดควบคุมมีค่ามากกว่าที่พบจากคอกสัตว์ดินเดิมเล็กน้อย และไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนของค่าพีเอชในชุดการทดลองที่มีการเติมของเสียอินทรีย์ประเภทเดียวกัน ส่วนค่าซีโอดี และตะกั่วที่ตรวจพบว่ามีปริมาณที่สูงกว่าคอกสัตว์ดินเดิมทุกรูปแบบการทดลอง พิจารณาจากรูปที่ 3 การเติมของเสียอินทรีย์ในคอกสัตว์ดินที่มีการเติมสารอินทรีย์มีผลทำให้ค่าพีเอชของน้ำชะละลายสูงขึ้นโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเติมที่มากขึ้น ยกเว้นการเติมสลัดจ์น้ำเสียที่การเพิ่มของอัตราการเติมไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช นัก ทั้งนี้ค่าพีเอชของน้ำชะละลายของทุกชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างคงที่หลังจากการชะละลายในครั้งที่ 2 เป็นต้นไป สำหรับค่าซีโอดีพบว่าการเติมของเสียอินทรีย์



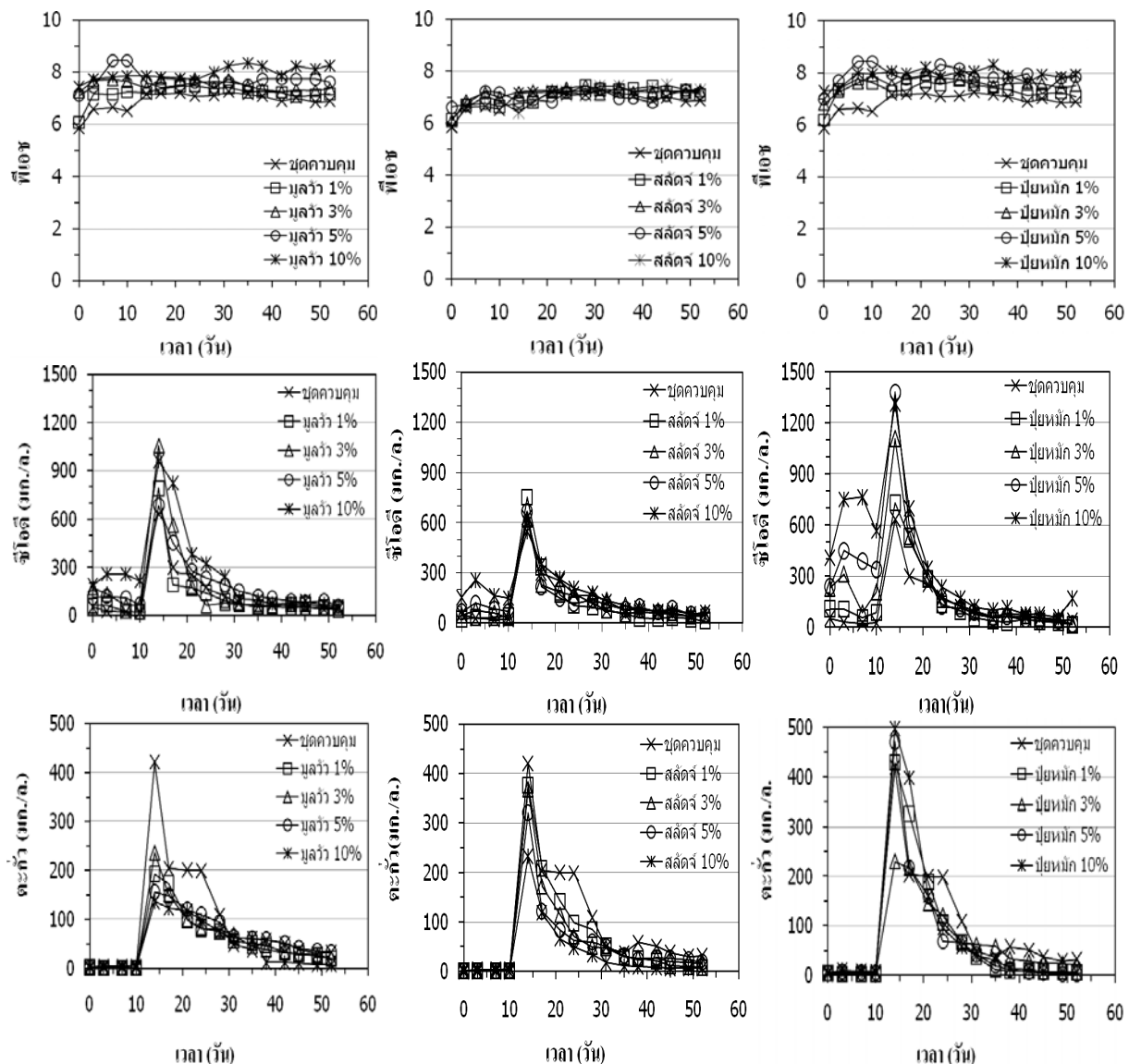
รูปที่ 2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอลัมน์ดินของชุดการทดลองต่างๆตามเวลา

ในดินมีผลทำให้ค่าซีโอดีของน้ำชะละลายมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่ไม่แสดงความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับอัตราการเดิม โดยค่าซีโอดีสูงสุดในน้ำชะละลายหลังจากมีการเดิมอีดีทีเอในวันที่ 14 ของการทดลองจากคอลัมน์ดินที่มีการเดิมปุ๋ยหมัก หรือมูลวัว หรือสลดจ์น้ำเสียมีค่าเท่ากับ 1379, 1056 และ 756 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนตะกั่วพบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายจากชุดการทดลองควบคุมในช่วง 2.6-420.7 มก./ล. ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เดิมอีดีทีเอ การเดิมของเสียอินทรีย์มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นตะกั่วในน้ำชะละลายน้อยลง

3.4 ปริมาณการชะละลายตะกั่วและซีโอดีสะสมทั้งหมด

ผลการศึกษากากราฟรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละอัตราการเดิมของเสียอินทรีย์ กับปริมาณตะกั่วสะสมทั้งหมดจากน้ำชะละลายเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ไม่มีและมีการเดิมอีดีทีเอในอัตรา 5 มิลลิโมล/กก.ดิน พบว่าการเดิมอีดีทีเอในดินมีผลทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดจากน้ำชะสูงกว่าที่พบจากชุดการทดลองที่ไม่มีการเดิมอีดีทีเอ การเดิมมูลวัว หรือสลดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมัก มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่ถูกชะจากดินมาพร้อมกับน้ำชะมีค่าน้อยลง

พิจารณากราฟรูปที่ 4 (ก) พบว่าปริมาณ



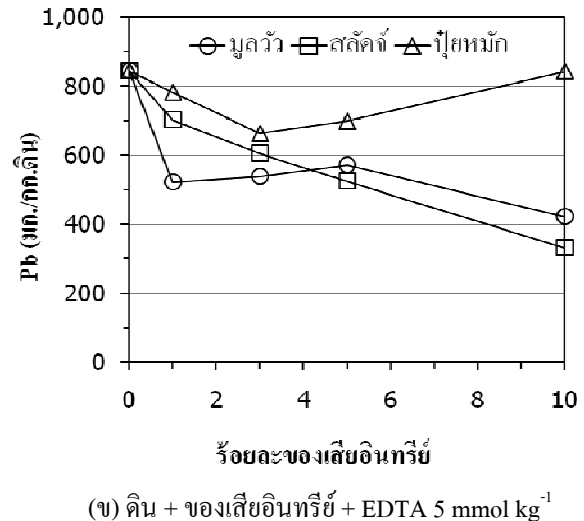
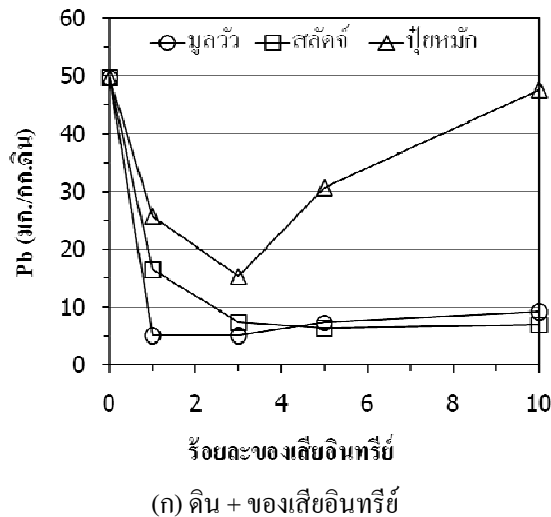
รูปที่ 3 ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายจากคอลัมน์ดินที่มีการเติมอัตราของชุดการทดลองต่างๆตามเวลา

ตะกั่วทั้งหมดที่ถูกชะจากดินจากชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 49.8 มก./กก.ดิน การเติมมูลวัวตั้งแต่อัตราร้อยละ 1 สามารถลดปริมาณการชะละลายตะกั่วจากดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัตราการเติมที่มากขึ้นไม่ส่งผลต่อการลดปริมาณการชะละลายตะกั่วที่มากขึ้น สำหรับการเติมสลัดจ์ให้ผลที่คล้ายกัน โดยปริมาณตะกั่วลดลงอย่างมากเมื่อมีการเติมสลัดจ์ในอัตรา ร้อยละ 3 หลังจากนั้นอัตราการเติมที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อ ปริมาณตะกั่ว ขณะที่การเติมปุ๋ยหมักให้ผลที่แตกต่างโดย

ปริมาณตะกั่วในน้ำชะละลายจะลดลงอย่างมากที่มีการเติมปุ๋ย หมักในอัตราร้อยละ 3 หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีกอย่างเห็นได้ ชัดตามอัตราการเติมที่เพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 5-10 สำหรับ คอลัมน์ดินที่มีการเติมอัตราที่พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่ ถูกชะจากดินของชุดควบคุมมีค่าถึง 844.6 มก./กก.ดิน การ เติมน้ำของเสียอินทรีย์ให้ผลที่คล้ายคลึงกับชุดการทดลอง คอลัมน์ดินเดิมทำให้ปริมาณตะกั่วที่ถูกชะมีปริมาณที่น้อยลง การเพิ่มอัตราการเติมมูลวัวและสลัดจ์น้ำเสียมีแนวโน้มให้

การลดปริมาณตะกั่วที่มากขึ้น ทั้งนี้การเติมมูลวัว หรือสัลดจ์ น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในดินในอัตราร้อยละ 1-10 มีผลในการลดปริมาณการชะละลายตะกั่วจากดินในอัตราร้อยละ 81.3-89.7, 66.8-87.1 และ 4.2-69.1 ตามลำดับ สำหรับดินที่มีการ

เติมอีดีทีเอ การเติมมูลวัว หรือสัลดจ์ น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในดินในอัตราเดียวกันให้ผลต่อการลดปริมาณการชะละลายตะกั่วจากดินที่ต่ำกว่า โดยคิดเป็นอัตราร้อยละ 32.4-50.0, 16.8-60.6 และ 0.2-21.4 ตามลำดับ

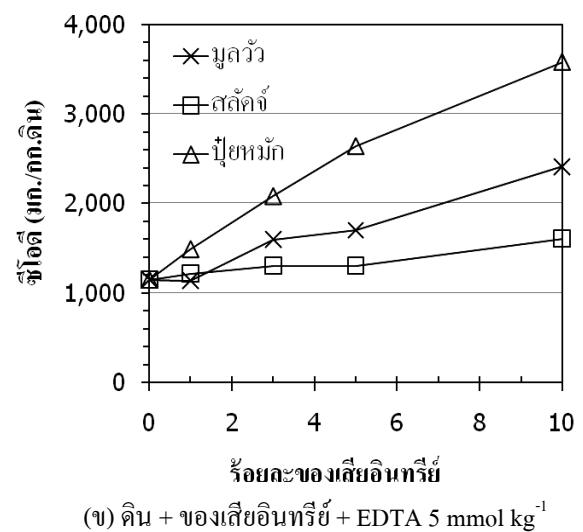
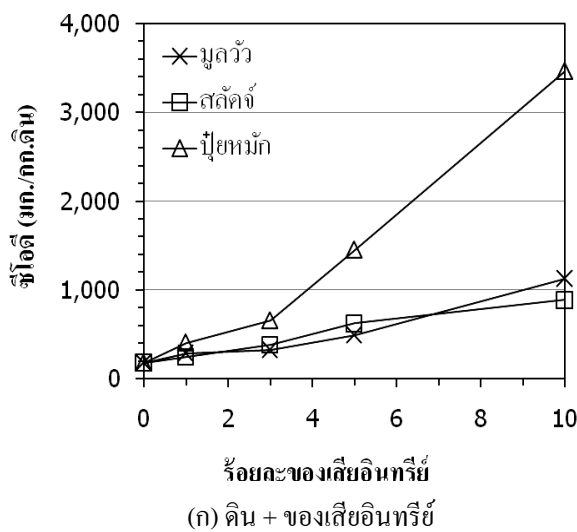


รูปที่ 4 ปริมาณตะกั่วสะสมทั้งหมดจากน้ำชะละลายเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีและไม่มีการเติม EDTA ที่อัตราการเติมของเสียนทรีย์ที่แตกต่างกัน (ก) ดิน + ของเสียนทรีย์ (ข) ดิน + ของเสียนทรีย์ + EDTA 5 mmol kg⁻¹

การเติมของเสียนทรีย์ทุกอัตราการเติมส่งผลต่อปริมาณตะกั่วในดินที่ถูกชะละลายได้มีปริมาณน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Alvarenga et al. [10] ที่พบว่าการเติมสัลดจ์ น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักขยะเทศบาล หรือปุ๋ยหมักขยะสวนสาธารณะที่อัตรา 25, 50 และ 100 ตัน/เฮกตาร์ ส่งผลให้ตะกั่วในดินมีความเสถียรขึ้นเคลื่อนตัวได้น้อยลง การเติมอีดีทีเอส่งผลต่อปริมาณการชะละลายตะกั่วจากดินเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen et al. [11] ที่พบว่าการเติมอีดีทีเอ 5 มิลลิโมล/กก.ดิน ทำให้ปริมาณตะกั่วสะสมทั้งหมดในน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นมากกว่า 73 เท่า และยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Shen et al. [12] ที่พบว่าอีดีทีเอ 1.5 มิลลิโมล/กก.ดิน ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายดินเพิ่มขึ้นมากกว่า 42 เท่า

ผลการศึกษาปริมาณการชะละลายสารอินทรีย์จากดินแสดงในรูปค่าซีไอดีสะสมจากน้ำชะละลาย ดังรูปที่ 5 พบว่า

การเติมอีดีทีเอทำให้ปริมาณซีไอดีทั้งหมดของน้ำชะสูงกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมอีดีทีเอทุกชุดการทดลอง พิจารณาจากชุดควบคุมของคอลัมน์ดินเดิม มีปริมาณซีไอดีทั้งหมดเท่ากับ 174.5 มก./กก.ดิน ขณะที่ชุดควบคุมที่มีการเติมอีดีทีเอ มีค่าสูงถึง 1143.9 มก./กก.ดิน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากชุดควบคุมของคอลัมน์ดินเดิมมากกว่า 6.5 เท่าโดยมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Wu et al. [13] ที่พบว่าการเติมอีดีทีเอ 3 มิลลิโมล/กก.ดิน ทำให้ค่าความเข้มข้นของทีโอซี (Total organic carbon, TOC) ในน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นมากกว่า 7.4 เท่า การเติมมูลวัว หรือสัลดจ์ น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมัก ทำให้ปริมาณซีไอดีทั้งหมดของน้ำชะสูงขึ้นตามอัตราการเติมที่มากขึ้น โดยที่ร้อยละอัตราการเติมของเสียนทรีย์ที่เท่ากัน การเติมปุ๋ยหมักมีผลทำให้มีปริมาณซีไอดีทั้งหมดในน้ำชะสูงสุด รองมาได้แก่มูลวัวและสัลดจ์ น้ำเสีย ตามลำดับ



รูปที่ 5 ปริมาณการชะละลายซีโอดีสะสมทั้งหมดเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีและไม่มีการเติม EDTA ที่อัตราการเติมของเสียอินทรีย์ที่แตกต่างกัน (ก) ดิน + ของเสียอินทรีย์ (ข) ดิน + ของเสียอินทรีย์ + EDTA 5 mmol kg⁻¹

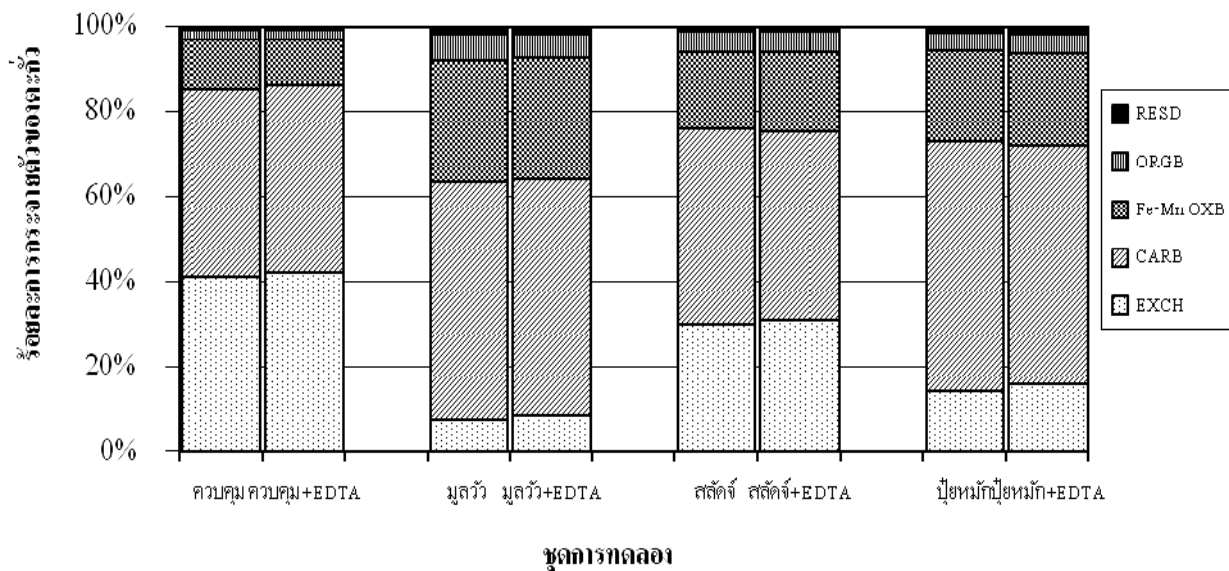
3.5 องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินหลังการทดสอบการชะละลาย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบรูปแบบทางเคมีของตะกั่วในดินจากชุดการทดลองต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 พบว่ามีผลรวมปริมาณตะกั่วทั้งหมดของแต่ละรูปแบบที่สกัดได้ในช่วง 15,524 ถึง 18,110 มก./กก. เทียบเป็นร้อยละคืนกลับในช่วง 91.3-105.7 โดยพบว่าการเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในดินมีผลทำให้ปริมาณตะกั่วในดินถูกชะออกมาได้น้อยลง ทั้งนี้ชุดการทดลองที่มีการเติมอีดีทีเอทั้งหมดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่เหลือน้อยกว่าที่พบในดินของชุดการทดลองที่ไม่เติมอีดีทีเอ การเติมของเสียอินทรีย์ประเภทต่างๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกั่วในแต่ละรูปแบบในดินอย่างชัดเจน พิจารณารูปที่ 6 แสดงร้อยละการกระจายตัวของตะกั่วในรูปแบบต่างๆ ในดิน พบว่าการเติมของเสียอินทรีย์มีผลทำให้สัดส่วนตะกั่วในรูปแบบเคลื่อนย้ายได้ในดินมีค่าลดลงอย่างชัดเจน จากร้อยละ 37.7 (ชุดควบคุม) เป็นร้อยละ 7.8, 14.6 และ 30.5 ในดินจากชุดการทดลองที่มีการเติมมูลวัว ปุ๋ยหมัก และสลัดจ์น้ำเสีย ตามลำดับ ขณะที่สัดส่วนตะกั่วในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ รูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และรูปสารอินทรีย์ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนสัดส่วนตะกั่วในรูปแบบที่

คงเหลือจากการสกัดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ Berti et al. [14] ที่พบว่า การเติมปุ๋ยหมักขะในดินที่อัตราร้อยละ 10 สามารถลดตะกั่วในรูปแบบที่แลกเปลี่ยนได้จากร้อยละ 60 เหลือร้อยละ 20 และขณะที่ตะกั่วในรูปแบบอื่นๆ เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างร้อยละของตะกั่วในรูปแบบต่างๆ ระหว่างชุดการทดลองที่มีและไม่มีการเติมสารอีดีทีเอในดิน พบว่าสัดส่วนตะกั่วในรูปแบบที่เคลื่อนย้ายได้ในดินที่มีการเติมอีดีทีเอมีค่าสูงกว่าในดินที่ไม่มีการเติม ในขณะที่สัดส่วนตะกั่วในรูปแบบอื่นๆ คือ รูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส รูปสารอินทรีย์ มีแนวโน้มว่าจะเหลืออยู่น้อยกว่าในดินที่ไม่มีการเติมอีดีทีเออย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นรูปที่คงเหลือซึ่งไม่ชัดเจน โดยมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cooper et al. [15] ที่พบว่า การเติมสารคีเลตชนิดดีทีพีเอทำให้ตะกั่วในรูปแบบที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนตะกั่วในรูปแบบคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส รูปสารอินทรีย์ เหลืออยู่น้อยกว่าในดินที่ไม่มีการเติมดีทีพีเออย่างเห็นได้ชัด โดยการเพิ่มขึ้นของตะกั่วในรูปแบบที่แลกเปลี่ยนได้เกิดจากสารอีดีทีเอที่เหลือน้อยกว่าในดิน ค้ำครองตะกั่วไว้ไม่ให้ตกตะกอนหรือไปจับกับแร่ธาตุหรือส่วนประกอบอื่นของดิน [16]

ตารางที่ 2 รูปแบบเคมีของตะกั่วในดินหลังการทดสอบการชะละลายที่อัตราการเติมของเสียอินทรีย์ร้อยละ 0 และ 5

ชุดการทดลอง	รูปแบบเคมีของตะกั่วในดินหลังการทดสอบการชะละลาย (มก./กก.ดิน)				
	EXCH	CARB	Fe-Mn OXB	ORGB	RESD
ควบคุม	6,457	6,864	1,837	367	111
ควบคุม + EDTA	6,459	6,819	1,689	364	103
มูลวัว	1,343	10,169	5,183	1,147	268
มูลวัว + EDTA	1,405	8,883	4,546	916	246
สลัดจ์	5,216	7,997	3,141	857	178
สลัดจ์+ EDTA	5,219	7,445	3,116	816	174
ปุ๋ยหมัก	2,496	10,372	3,799	718	241
ปุ๋ยหมัก + EDTA	2,502	8,884	3,434	704	257



รูปที่ 6 ร้อยละการกระจายตัวของตะกั่วในดินหลังการทดสอบการชะละลายที่อัตราการเติมของเสียอินทรีย์ร้อยละ 0 และ 5

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาที่แสดงรายละเอียดดังกล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้คือ

1. การเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมัก มีผลทำให้ค่าพีเอช และค่าซีไอดีของน้ำชะละลายจากดินมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ขณะที่ผลโดยรวมทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะละลายน้อยลง ทั้งนี้การเติมอินทรีย์เอนดินไม่ส่งผลที่เห็นชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำชะละลาย ขณะที่

ส่งผลให้ค่าซีไอดี และปริมาณตะกั่วสูงขึ้นในทุกรูปแบบการทดลอง

2. การเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในอัตราร้อยละ 1-10 มีผลทำให้ปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่ถูกชะจากดินมีค่าลดลงในอัตราร้อยละ 81.3-89.7, 66.8-87.1 และ 4.2-69.1 ตามลำดับ สำหรับดินที่มีการเติมอินทรีย์เอนการเติมมูลวัว หรือสลัดจ์น้ำเสีย หรือปุ๋ยหมักในดินในอัตราเดียวกันให้ผลต่อการลดปริมาณการชะละลายตะกั่วจากดินที่ต่ำกว่า โดย

คิดเป็นอัตราร้อยละ 32.4-50.0, 16.8-60.6 และ 0.2-21.4 ตามลำดับ

3. ค่าสัดส่วนตะกั่วในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าลดลงจากร้อยละ 37.7 (ชุดควบคุม) เป็นร้อยละ 7.8, 14.6 และ 30.5 ในดินที่มีการเติมมูลวัว ปุ๋ยหมัก และสัลดจ์น้ำเสีย ตามลำดับ ขณะที่สัดส่วนตะกั่วในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ รูปคาร์บอเนต รูปออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และรูปสารอินทรีย์ มีค่าเพิ่มขึ้น การเติมอิทธิพลในดินมีผลให้ตะกั่วในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าสัดส่วนที่สูงกว่า ขณะที่ตะกั่วในรูปแบบอื่นๆ มีแนวโน้มมีค่าสัดส่วนที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการเติมอิทธิพล

5. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Jurate, L. Anders and M. Christian, "Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments A review", Waste Management, Vol. 28, 2008, pp. 215-225.

[2] J.W. Huang, J. Chen, W.R. Berti and S.D. Cunningham, "Phytoremediation of lead-contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction", Environmental Science and Technology, Vol. 31, 1997, pp. 800-805.

[3] M.J. Blaylock, D.E. Salt, S. Dushenkov, O. Zakharova, C. Gussman, Y. Kapulnik, B.D. Ensley and I. Raskin, "Enhanced accumulation of lead in Indian mustard by soil applied chelating agents", Environmental Science and Technology, Vol. 31, 1997, pp. 860-865.

[4] C.W.A. Nasimento, D. Amarasingwardena and B. Xing, "Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil", Environmental Pollution, Vol. 140, 2006, pp. 114-123.

[5] A. Ruttens, J.V. Colpaert, M. Mench, J. Boisson, R. Carleer and J. Vangronsveld, "Phytostabilization of a metal contaminated sandy soil: Influence of compost and/or inorganic metal immobilizing soil amendments on metal

leaching", Environmental Pollution, Vol. 144, 2006, pp. 533-539.

[6] R. van Herwijnen, T.R. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A.J. Moffat, M.L. Johns and S.K. Ouki, "Remediation of a metal contaminated soil with mineral-amended composts", Environmental Pollution, Vol. 150, 2007, pp. 347-354.

[7] D.W. Nelson and L.E. Sommers, Total carbon, organic carbon and organic matter, In: Methods of soils analysis, A.L. Page et al. (ed), part 2, 2nd, 1982, Agronomy 9: pp. 539-579.

[8] J.M. Bremner and C.S. Mulvaney, Nitrogen-total, In: Methods of soils analysis., A.L. Page et al. (ed), part 2, 2nd, 1982, Agronomy 9: pp. 595-624.

[9] A. Tessier, P.G.C. Cambell and M. Bisson, "Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals", Analytical Chemistry, Vol. 51, 1979, pp. 844-851.

[10] P. Alvarenga, A.P. Goncalves, R.M. Fernandes, A. de Varennes, G. Vallini, E. Duarte and A.G. Cunha-Queda, "Organic residues as immobilizing agents in aided phytostabilization : effects on soil chemical characteristics", Chemosphere, Vol. 74, 2009, pp. 1292-1300.

[11] Y. Chen, X. Li and Z. Shen, "Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process", Chemosphere, Vol. 57, 2004, pp. 187-196.

[12] Z.G. Shen, X.D. Li, C.C. Wang, H.M. Chen and H. Chua, "Lead phytoextraction from contaminated soil with high biomass plant species", Journal of Environmental Quality, Vol. 31, 2002, pp. 1893-1900.

[13] L.H. Wu, Y.M. Luo, X.R. Xing and P. Christie, "EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk", Agriculture Ecosystems & Environment, Vol. 102, 2004, pp. 307-318.

- [14] W.R. Berti and S.D. Cunningham, "In place inactivation of Pb in Pb contaminated soils", *Environmental Science and Technology*, Vol. 31, 1997, pp. 1359-1364.
- [15] E.M. Cooper, J.T. Sims, S.D. Cunningham, J.W. Huang and W. R. Berti, "Chelate-assisted phytoextraction of lead from contaminated soils", *Journal of Environmental Quality*, Vol. 28, 1999, pp. 1709-1719.
- [16] B. Sun, F.J. Zhao, E. Lombi and S.P. McGrath, "Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA", *Environmental Pollution*, Vol. 113, 2001, pp. 111-120.