อภินันทนาการ

การแพร่กระจายโลหะหนักในพื้นที่นาข้าวรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน กรณีศึกษา ตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

วาสนา แนมบาง
วิจิตรา เมาเตจา

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 5 มี.ค. 2560
เลขทะเบียน 1711917190
เลขเรียกหนังสือ ปร. วิจ ว
3557

โครงงานวิจัย เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ธันวาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

อาจารย์ที่ปรึกษาและหัวหน้าภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้พิจารณาโครงงานวิจัยเรื่อง **“การแพร่กระจายโลหะหนักในพื้นที่นาข้าวรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน กรณีศึกษาตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก”** เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยนเรศวร

.....

(ผศ.ดร. วภากร ศิริวงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภิรมย์ อ่อนเส็ง)
หัวหน้าภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ธันวาคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.วภากร ศิริวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนโครงงานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ได้ คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของโครงงานวิจัยตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณนางสาว นฤมล สิงห์กวาง และ นาง หนึ่งฤทัย เทียนทอง นักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ให้ผู้วิจัยเกิดประสบการณ์ใหม่และได้ข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วน

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดของผู้วิจัยที่คอยสั่งสอนให้เห็นคุณค่าของการศึกษา เป็นกำลังใจและสนับสนุนในทุกๆด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานวิจัยฉบับนี้คณะผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเกี่ยวกับการการแพร่กระจายโลหะหนักในพื้นที่นาข้าว บริเวณรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชนต่อผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วาสนา แนมบาง
วิจิตรา เมาเตจา

ชื่อเรื่อง การแพร่กระจายโลหะหนักในพื้นที่นาข้าวรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน กรณีศึกษา ตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
ผู้ศึกษาวิจัย วาสนา แนมบาง และ วิจิตรา เมาเตจา
ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วภากร ศิริวงศ์
ประเภทสารนิพนธ์ โครงงานวิจัย วท.บ. สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2557
คำสำคัญ โลหะหนัก ขยะชุมชน นาข้าวดิน การปนเปื้อน การแพร่กระจาย

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในดิน น้ำ และต้นข้าวบริเวณพื้นที่ที่มีการทำนาและใกล้เคียงกับบ่อฝังกลบขยะในตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และเพื่อศึกษาปัจจัยด้านระยะทาง ความสูงของพื้นที่ และคุณสมบัติของดินที่มีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของโลหะหนักในดิน น้ำและต้นข้าว โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 29 จุด ในพื้นที่ศึกษา สำหรับตัวอย่างดินเก็บที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรแล้วนำมาตรวจสอบปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) แมงกานีส(Mn) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างดิน น้ำ และต้นข้าว ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของโลหะหนักด้วยการหาค่าสหสัมพันธ์ Pearson's Correlation Analysis ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโลหะหนักที่พบในดินที่ระดับความลึก 0-15และ15-30 เซนติเมตร ประกอบด้วยสังกะสี (Zn) ปริมาณ 51.3-86.7 และ 51.5-87.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แคดเมียม (Cd)ปริมาณ 10.3-11.2 และ 9.8-11.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ทองแดง ปริมาณ 8.6-24.5 และ7.7-24.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ แมงกานีส ปริมาณ 8.1-47.5 และ12.8-45.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โลหะหนักในน้ำประกอบด้วย ทองแดง (Cu) ความเข้มข้น 0.0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สังกะสี (Zn) ความเข้มข้น 0.2-0.4 มิลลิกรัม/ลิตร แคดเมียม (Cd) ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร และแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้น 0.2-0.4 มิลลิกรัม/ลิตร และโลหะหนักที่พบในต้นข้าวประกอบด้วย ทองแดง (Cu) ปริมาณ0.3-5.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสี (Zn) ปริมาณ 34.9-56.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม (Cd) ปริมาณ10.2-11.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแมงกานีส (Mn) ปริมาณ 8.8-49.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ส่วนปริมาณโครเมียม (Cr) ไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกจุดและปริมาณตะกั่ว (Pb) ยังไม่ได้ตรวจวัดเนื่องจากเกิดการขัดข้องทางระบบ ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์กับระยะทาง ได้แก่ ปริมาณแมงกานีส (Mn) และปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่ระดับความลึก 0-15 และ15-30 เซนติเมตรโดยพบว่าเมื่อระยะทางจากบ่อขยะเพิ่มมากขึ้นปริมาณโลหะหนักเหล่านี้จะลดลง ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์ในทิศตรงข้าม คือ เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้นปริมาณโลหะหนักเหล่านี้จะลดลง

ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น

สารบัญ

บทที่		หน้า
	หน้าอนุมัติ	ก
	กิตติกรรมประกาศ	ข
	บทคัดย่อ	ค
	สารบัญ	จ
	สารบัญตาราง	ช
	สารบัญภาพ	ซ
1 บทนำ		1
	ที่มาและความสำคัญ	1
	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	ขอบเขตของงานวิจัย	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		4
	พื้นที่ปนเปื้อนสารพิษในประเทศไทย	4
	โลหะหนัก	6
	ประเภทของขยะมูลฝอย	11
	สถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทย	12
	รูปและการละลายของโลหะตามระดับกรดด่าง	16
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
ขอบเขตพื้นที่ศึกษาวิจัย	21
วิธีการเก็บตัวอย่าง	22
จำนวนจุดเก็บตัวอย่าง	24
การเก็บและเตรียมตัวอย่าง	25
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	26
การวิเคราะห์ทางสถิติ	26
4 ผลการวิจัย	27
สภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ของจุดเก็บตัวอย่าง	27
คุณสมบัติของดิน	29
ปริมาณโลหะหนักในดิน	33
ปริมาณโลหะหนักในน้ำ	37
ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าว	41
การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินโซนต่างๆ	44
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับคุณสมบัติต่างๆของดินและระยะทาง	46
5 สรุปและอภิปรายผล	50
สรุปผลและอภิปรายผลวิจัย	50
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก ก.	55
ภาคผนวก ข.	65
ภาคผนวก ค.	70
ภาคผนวก ง.	76
ภาคผนวก จ.	86
ประวัติผู้วิจัย	90

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน	7
2	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	7
3	ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนและค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก	8
4	การคำนวณขนาดตัวอย่างที่จำเป็นในการในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับระดับความสำคัญ	24
5	ลักษณะพื้นที่ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	28
6	ลักษณะของดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา	29
7	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินจุดต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร	31
8	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร	32
9	ปริมาณโลหะหนักในดินจุดต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร	34
10	ปริมาณโลหะหนักในน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ	38
11	ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ	41
12	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แต่ละโซน	44
13	ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 15-30 ซนติเมตร แต่ละโซน	44
14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับระยะทาง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตi	46
15	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ และ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตi	46

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	พื้นที่ปนเปื้อนสารพิษในประเทศไทย	6
2	อัตราการเกิดขยะมูลฝอย	13
3	อัตราการการจัดขยะมูลฝอยและการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ เปรียบเทียบกับเป้าหมายตามแผนจัดการมลพิษ 2555 – 2559	14
4	ปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศปี 2556	15
5	แสดงการละลายของทองแดงในระดับกรด-ด่างต่างๆ	16
6	แสดงการละลายของสังกะสีในระดับกรด-ด่างต่างๆ	17
7	แสดงการละลายของแมงกานีสในระดับกรด-ด่างต่างๆ	18
8	แสดงการละลายของแคดเมียมในระดับกรด-ด่างต่างๆ	19
9	พื้นที่ศึกษาวิจัย ตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก	21
10	จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone 1	22
11	จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone 2	23
12	จุดเก็บตัวอย่างZone-Outs Bound	24
13	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด	27
14	ปริมาณสังกะสีในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm.	35
15	ปริมาณแคดเมียมในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm.	36
16	ปริมาณทองแดงในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm	36
17	ปริมาณแมงกานีสในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm	37
18	ปริมาณสังกะสีในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ	39
19	ปริมาณแคดเมียมในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ	39
20	ปริมาณทองแดงในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ	40
21	ปริมาณแมงกานีสในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ	40
22	ปริมาณสังกะสีในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ	42
23	ปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ	42
24	ปริมาณทองแดงในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ	43
25	ปริมาณแมงกานีสในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ	43

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ		หน้า
26	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. กับระยะทาง	47
27	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. กับระยะทาง	48
28	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง	48
29	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง	49

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่การปนเปื้อนของสารพิษอยู่ทั่วประทศ นับเป็นปัญหาที่สำคัญและแก้ไขได้ยากต้องใช้เวลานานในการแก้ไข ซึ่งพื้นที่การปนเปื้อนของประเทศไทยกระจายอยู่ทั่วไป เช่น การปนเปื้อนแคดเมียมที่ ตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก การลักลอบทิ้งขยะติดเชื้อ อำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ การปนเปื้อนสารเอเย่นต์ ออเร้นจ์ ที่สนามบินบ่อฝ้าย จังหวัดนครศรีธรรมราช และพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนส่วนใหญ่มีสาเหตุเกิดจากการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรม (ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไก การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ, 2556) การปนเปื้อนสารมลพิษเกิดจากสาเหตุหลักๆคือ อุตสาหกรรม ซึ่งส่วนมากเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตแล้วมีการจัดการของเสียไม่ถูกหลักจึงส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การทำเหมืองแร่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเกิดจากผลกระทบที่เกิดจากตัวแร่และการดำเนินการ ปกติแร่ธาตุต่างๆ ที่นำมาใช้ประโยชน์จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เมื่อมีการทำเหมืองแร่เพื่อนำแร่ธาตุต่างๆ มาใช้ในสายแร่บางชนิด เช่น ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) มังกานีส (Mn) และโครเมี่ยม (Cr) ช่วงที่ทำการขุดแร่เหล่านี้อาจปะปนลงในดินก่อให้เกิดเป็นมลพิษทางดินขึ้น การปนเปื้อนพื้นที่ทางการเกษตรโดยส่วนใหญ่เกิดจากการใส่ปุ๋ยเคมี หรือการฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งจะทำให้สารเคมีเหล่านี้เกิดการตกค้างในดินเมื่อสะสมเป็นเวลานานและในปริมาณมากๆจะทำให้เกิดเป็นมลพิษทางดินได้เช่นกัน และอีกสาเหตุที่สำคัญคือ การกำจัดขยะที่ไม่ถูกวิธี โดยเฉพาะการกำจัดขยะที่ไม่ถูกวิธีมีโอกาสพบการปนเปื้อนสารมลพิษในพื้นที่การเกษตรได้โดยทั่วไป

ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศในปี 2556 จำนวน 26.77 ล้านตัน ปริมาณขยะเพิ่มเฉลี่ย 1-1.5 กิโลกรัม/คน/วัน โดยปริมาณขยะเฉลี่ย 1 วันของประเทศไทยเพิ่มขึ้น 65 ล้านกิโลกรัม ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยอยู่ทั้งหมด 2,490 แห่ง ในจำนวนนี้เป็นสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยไม่แบบถูกต้อง เช่น การเทกองกลางแจ้ง การเผาในที่โล่ง เป็นต้น อยู่มากถึง 81 % จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยสะสมตกค้างเพิ่มขึ้นสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2556) ซึ่งขยะที่ถูกนำมาทิ้งนี้ส่วนใหญ่มาจากชุมชนเป็นหลัก ซึ่งเกิดจากกิจกรรมภายในชุมชน เช่น ร้านค้า ตลาด และขยะภายในครัวเรือน เป็นต้น

ขยะชุมชน หมายถึง เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ ซากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น รวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษ หรืออันตรายจากชุมชนหรือครัวเรือน ยกเว้นมูลฝอยที่มีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานของสำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย ซึ่งส่วนที่เป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักลงสู่สิ่งแวดล้อมก็มาจากส่วนที่เป็นขยะอันตราย (hazardous waste) ขยะที่มี

องค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสี หรือสารเคมี เป็นต้น (สำนักงานวิชาการ สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 2557) กลไกการปนเปื้อนของโลหะหนักจากบ่อขยะลงสู่สิ่งแวดล้อมมีหลายปัจจัย เช่น เกิดการชะล้างเมื่อมีฝนตกแล้วมีน้ำเป็นตัวนำพาลงสู่สิ่งแวดล้อม และกิจกรรมการคุ้ยขยะของมนุษย์หรือสัตว์ เป็นต้น

พื้นที่บ่อฝังกลบขยะ ตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ถือว่าเป็นหนึ่งในสถานที่ที่มีการกำจัดแบบไม่ถูกลักษณะ โดยมีลักษณะพื้นที่เป็นที่ทิ้งขยะชุมชน เป็นขยะรวมไม่มีการคัดแยก มีการฝังกลบมาเป็นระยะเวลา 6 ปี มีผลกระทบต่อชาวบ้านเกิดการร้องเรียนจนต้องหยุดการนำขยะมาทิ้ง ไม่มีการออกแบบและจัดการที่ถูกต้อง และพื้นที่รอบๆเป็นพื้นที่เกษตรโดยเฉพาะนาข้าว จึงมีความเสี่ยงในการแพร่กระจายสารพิษ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบริเวณพื้นที่รอบบ่อฝังกลบขยะ โดยทำการวิเคราะห์ทั้งในดิน น้ำ และต้นข้าว และวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัจจัยพื้นที่ ได้แก่ ระยะทางและความสูง และปัจจัยคุณสมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ค่าความเป็นกรดด่าง และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนและหาแนวทางในการแก้ไขและป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อวิเคราะห์โลหะหนักในดิน น้ำ และต้นข้าวบริเวณพื้นที่ที่มีการทำนาใกล้เคียงกับบ่อฝังกลบขยะในตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของโลหะหนักในดิน น้ำและต้นข้าว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิเคราะห์โลหะหนักในพื้นที่นาข้าวรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน จะเป็นการศึกษาและเก็บตัวอย่างดิน น้ำ และต้นข้าว ในพื้นที่ที่เป็นเฉพาะนาข้าว ระดับความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร และมีการรวบรวมข้อมูลพื้นที่ความสูง จากแผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 เพื่อใช้ในการวางแผนกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างในภาคสนาม มีการใช้โปรแกรม QGIS ช่วยในการวางแผนกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ทำการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก วัดด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) แปลผลร่วมกับข้อมูลปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัย

พื้นที่ ได้แก่ ระยะทางและความสูง และปัจจัยคุณสมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ค่าความเป็นกรดด่าง และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ถึงการแพร่กระจายของโลหะหนัก และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการเตือนภัยให้แก่เกษตรกรได้รับรู้ ทางด้านความปลอดภัยของผลผลิต
2. เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนโลหะหนัก ในพื้นที่ที่มีลักษณะเหตุการณ์ใกล้เคียงกัน
3. เป็นข้อมูลที่ส่งผลต่อการสร้างนโยบาย แนวทางในการแก้ไขปัญหา เพื่อหาทางป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นภายในชุมชนในพื้นที่ต่อไปได้
4. เป็นข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงพื้นที่ในบริเวณที่มีการแพร่กระจายของโลหะหนัก

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

โลหะหนัก หมายถึง โลหะหนักที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม ตัวอย่างเช่น สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn)

ขยะชุมชน หมายถึง ขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชน เช่น ตลาดสด บ้านพักอาศัย ธุรกิจร้านค้า สถานประกอบการ สถานบริการ สถาบันต่างๆ รวมทั้งเศษวัสดุ ก่อสร้าง ทั้งนี้ไม่รวมของเสียอันตรายและมูลฝอยติดเชื้อ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่ปนเปื้อนสารพิษในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศไทยพบพื้นที่การปนเปื้อนสารพิษอยู่ทั่วประเทศซึ่งการปนเปื้อนสารพิษนับเป็นปัญหาที่สำคัญและเป็นปัญหาที่แก้ไขได้ยาก สาเหตุของการปนเปื้อนสารพิษมาจาก การทำอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่ การทำการเกษตร และการกำจัดขยะที่ไม่ถูกวิธี เป็นต้น ซึ่งจากสาเหตุเหล่านี้จะก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษและยังก่อให้เกิดการสะสมของสารพิษไม่ว่าจะเป็นในพืช ในดิน หรือในสิ่งมีชีวิตซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในที่นี้เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของการปนเปื้อนสารพิษว่ามีสาเหตุมาจากอะไร

การปนเปื้อนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมเกิดขึ้นจากการทำอุตสาหกรรมหลายประเภท การทำอุตสาหกรรมมุ่งเน้นเพื่อการพัฒนาและความเจริญก้าวหน้าเศรษฐกิจของประเทศ โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากการทำอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ สิ่งมีชีวิตหรือแม้กระทั่งมนุษย์ เช่น ทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม ระบบนิเวศเสียหาย หรือเกิดโรคระบาดขึ้นต่อสิ่งมีชีวิตได้ และก่อให้เกิดการปนเปื้อน ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ภาคตะวันออกในจังหวัดระยองชลบุรี สมุทรปาการ ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี รวมถึงกรุงเทพฯ มีการลักลอบนำขยะพิษน้ำเสีย และกากอุตสาหกรรมมาทิ้งเป็นจำนวนมาก และโรงงานรับรีไซเคิลกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียหลายแห่งที่ขาดการจัดการที่ได้มาตรฐานจึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังพื้นที่จุด A แสดงในภาพที่ 1 (ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไกการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ, 2556)

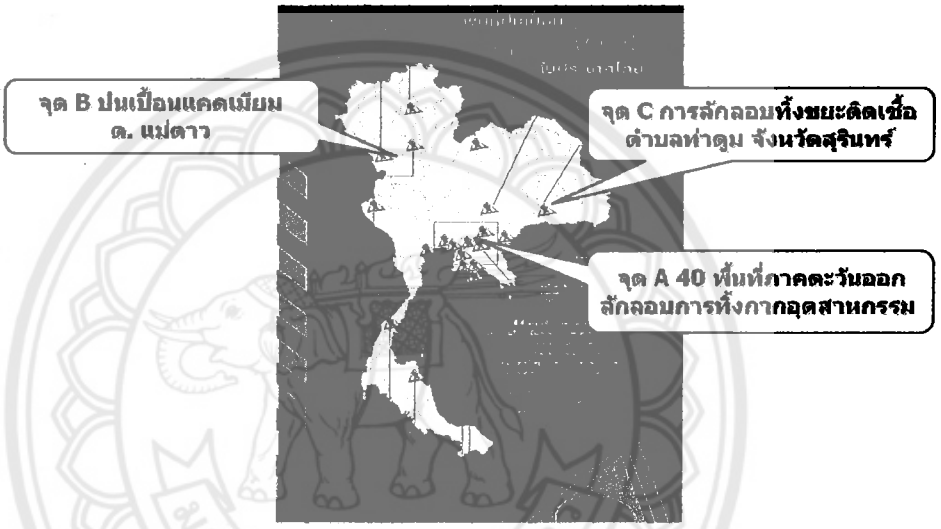
การปนเปื้อนโลหะหนักจากการทำเหมืองแร่ภายในประเทศมีการทำเหมืองแร่หลายชนิดทั้งเหมืองแร่สังกะสี เหมืองแร่ทองคำ เหมืองแร่ตะกั่ว และเหมืองแร่ชนิดอื่นๆกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งการกระจายตัวจะอยู่ในพื้นที่ที่มีการสะสมแร่ชนิดนั้นอยู่ ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักจากการทำเหมืองแร่นั้นอาจกล่าวได้ว่ามีสาเหตุหลักๆมาจากกิจกรรมของเหมืองและกิจกรรมที่เกิดจากกระบวนการผลิต เช่น ฝุ่นละออง เสียงรบกวน และน้ำทิ้งน้ำเสีย ยกตัวอย่างเช่น การทำเหมืองแม่เมาะที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินลิกไนต์ จากกิจกรรมของการทำเหมืองและกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าซึ่งจะก่อให้เกิดการปนเปื้อน โดยมีสาเหตุมาจากด้านฝุ่น คือการใช้รถขุดการระเบิดหิน เครื่องโม่สายพานลำเลียง และถนนที่ใช้ในการขนส่งซึ่งจะก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นได้ ด้านกลิ่นรบกวนที่เกิดจากการทำเหมืองมีสาเหตุมาจากถ่านลิกไนต์ที่เกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเองทำให้เกิดกลิ่นรบกวน ด้านน้ำจะมีน้ำที่มาจากการทำเหมืองและจากกระบวนการผลิตซึ่งในการทำเหมืองเมื่อฝนตกจะชะล้างสารละลายในดินปนเปื้อนไปกับน้ำและลงสู่แหล่งน้ำได้ และน้ำจากกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ด้านเสียงก่อให้เกิดเสียงรบกวนต่อชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้เหมืองซึ่งเสียงอาจเกิด

จากการระเบิดหินระบบสายพานลำเลียงดินและถ่านหิน (เหมืองแม่เมาะ, 2543) และการปนเปื้อนที่ตำบลแม่ตาว จังหวัดตาก ที่พบการปนเปื้อนแคดเมียมในพื้นที่ที่อยู่ใกล้เหมืองแร่และโรงงานถลุงสังกะสีดังพื้นที่จุด B แสดงในภาพที่ 1

การปนเปื้อนโลหะหนักจากการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำอาชีพเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก การทำการเกษตรก็เพื่อนำผลผลิตที่ได้ไปขายเป็นรายได้ เกษตรกรจึงมีความต้องการที่จะเพิ่มผลผลิตเพื่อเพิ่มรายได้จึงมีการใช้ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืชและสารกำจัดวัชพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตมากขึ้น ซึ่งจากการใช้ปุ๋ยเคมี สารกำจัดศัตรูพืช และสารกำจัดวัชพืชของเกษตรกรเป็นสาเหตุทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักได้ จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยแต่ละสูตรพบว่า ปุ๋ยแต่ละสูตรมีค่าโลหะหนักที่แตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยสูตร (46-0-0) พบ Cu, Pb, Ni, Fe และ Cd ในปริมาณ 4.5, 10, 0, 119.5 และ 0.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจากปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในปุ๋ยเมื่อเกษตรกรนำมาใช้ในการเกษตรก่อให้เกิดการปนเปื้อนพื้นที่การเกษตรได้ ถ้ามีการใช้มาเป็นเวลานานอาจจะทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในปริมาณที่เพิ่มขึ้นได้ (ตุลญา มะสีพันธ์ และคณะ, 2014) ตัวอย่างพื้นที่การปนเปื้อนโลหะหนัก จากการศึกษาวิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีก่อนและหลังการทำนาในพื้นที่ตำบลสามตำบล อำเภอจุฬาภรณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ธาตุอาหารและวิเคราะห์โลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในตัวอย่างดินหลังการทำนาและในปุ๋ยเคมีจำนวน 2 ตัวอย่างและสารกำจัดวัชพืชจำนวน 1 ตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่าหลังจากการทำนาในดินมีปริมาณสุทธิของตะกั่วสะสมอยู่สูงที่สุด 924.80 กรัม/กิโลกรัม รองลงมาได้แก่สังกะสี 34.00 กรัม/กิโลกรัม และทองแดง 9.6 กรัม/กิโลกรัม (สุจิตรา ชูเกิด และคณะ, 2554) และการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและหอมแดงในพื้นที่ตำบลบ้านตึก อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ผลการศึกษา พบว่า ดินก่อนปลูกและหลังปลูกมีการสะสมปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.44-1.71 และ 0.18-1.05 กรัม/กิโลกรัม ตะกั่วเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.28-14.05 และ 4.28-23.58 กรัม/กิโลกรัม ทองแดงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.35-17.71 และ 2.22-17.61 กรัม/กิโลกรัม สังกะสีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.27-71.17 และ 117.53-245.36 กรัม/กิโลกรัม และเหล็กเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1031.50-2815.08 และ 2129.09-3480.27 กรัม/กิโลกรัม ซึ่งพบว่ามีปริมาณแคดเมียมที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดิน ส่วนปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและเหล็กในหอมแดงอยู่ในช่วง 0.23-0.5, 1.37-8.84, 0.18-1.28, 31.65-54.00 และ 24.55-254.60 กรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมตะกั่วและสังกะสีที่สะสมในหอมแดงมีค่าเกินปริมาณโลหะหนักตกค้างในอาหารที่อนุญาตสูงสุดภายใต้เกณฑ์มาตรฐานอาหารปลอดภัยแห่งชาติสาธารณรัฐประชาชนจีน (ทับทิม สวรรค์วงศ์, 2555)

การปนเปื้อนโลหะหนักจากการกำจัดขยะจากปัจจุบันที่จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นและพฤติกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ก็ก่อให้เกิดกิจกรรมต่างๆมากขึ้นและก่อให้เกิดการเพิ่มปริมาณ

ขยะเพิ่มมากขึ้น การปนเปื้อนโลหะหนัก มีสาเหตุมาจากการกำจัดขยะที่ไม่ถูกวิธี สถานที่กำจัดไม่เพียงพอต่อปริมาณขยะ การลักลอบนำขยะขยะอันตราย จากอุตสาหกรรมต่างๆไปลักลอบทิ้งในสถานที่ที่ไม่ถูกต้อง การลักลอบทิ้งขยะติดเชื้อ เช่น ขวดน้ำเกลือ เข็มฉีดยาถุงบรรจุเลือดไปทิ้งในแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีการกำจัดขยะติดเชื้อที่ถูกต้องพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนโลหะหนักที่มีสาเหตุมาจากขยะ เช่น ตำบลท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ ดังพื้นที่จุด C ดังแสดงในภาพที่ 1 (ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไก การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ, 2556)



ภาพที่ 1 พื้นที่ปนเปื้อนสารพิษในประเทศไทย

ที่มา : ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไก การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ

2.2 โลหะหนัก

โลหะหนัก คือ ธาตุที่พบเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกตามธรรมชาติ การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในดิน เกิดจากการแพร่กระจายในแหล่งต่างๆ ทั้งโดยกระบวนการทางธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ การพบปริมาณของโลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นเมื่อปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเกินระดับที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยมีการกำหนดค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน น้ำ และพืช ดังตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (mg/kg)	มาตรฐานดินเพื่อการเกษตร (mg/kg) (ประเทศเนเธอร์แลนด์)
ทองแดง (Cu)	-	-
โครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 300	-
แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 37	5
ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 400	150
แมงกานีส (Mn)	-	-
สังกะสี (Zn)	-	500
เหล็ก (Fe)	-	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2547) และ Swaileh et.al (2004)

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (mg/L)
ทองแดง (Cu)	0.1
โครเมียม (Cr)	0.05
แคดเมียม (Cd)	0.05
ตะกั่ว (Pb)	0.05
แมงกานีส (Mn)	1.0
สังกะสี (Zn)	1.0
เหล็ก (Fe)	-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2537)

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนและค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก

โลหะหนัก	มาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน (mg/kg)	ค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (mg/kg)
แคดเมียม (Cd)	-	3
ทองแดง (Cu)	20	-
สังกะสี (Zn)	100	-
แมงกานีส (Mn)	1	-

ที่มา : พระราชบัญญัติอาหาร (2522) และ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร (2554)

2.2.1 แคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆประมาณ 50 % ใช้ในการเคลือบเงาผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ทำให้ผิวโลหะเงางามและทนต่อการกัดกร่อน นำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์รถยนต์ทั้งที่เป็นส่วนของเครื่องยนต์และส่วนประกอบของรถยนต์นอกจากนั้นโลหะแคดเมียมที่อยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสี การคงรูปพลาสติก การทำแบตเตอรี่ และกระบวนการเชื่อมหรือประสานโลหะใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อราที่ใช้ในกิจกรรมการเกษตรและปัจจุบันยังใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ความเป็นพิษของแคดเมียม เมื่อสัมผัสโดยตรงทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและตา และเมื่อร่างกายสะสมแคดเมียมจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคผิดปกติจากไต เพราะพิษแคดเมียมที่สะสมในร่างกายมีผลทำให้เกิดภาวะไตวายหรือป่วยเป็นโรคอิไต-อิไต รวมทั้งส่งผลต่อเลือดและตับ โดยแคดเมียมจะเข้าไปในร่างกายได้ทั้งทางระบบหายใจ ผิวหนัง และระบบทางเดินอาหาร การแพร่กระจายของแคดเมียมสามารถแพร่กระจายไปในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดินและน้ำ บริเวณใดที่มีโลหะแคดเมียมในดินสูงและมีการปลูกพืชบริเวณนั้นจะมีปริมาณแคดเมียมในพืชนั้นสูงตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น กรณีของบางเมืองในประเทศญี่ปุ่นที่อยู่บริเวณตอนใต้ของการทำเหมืองแร่ จะมีโลหะแคดเมียมถูกชะลงมาตามน้ำและสะสมในดิน เมื่อปลูกข้าวในบริเวณนั้นจะพบว่ามีปริมาณของแคดเมียมในข้าวสูงมาก จนทำให้คนญี่ปุ่นที่รับประทานข้าวจากบริเวณนั้นป่วยเป็นโรคพิษจากแคดเมียมกันมากมาย ปริมาณของแคดเมียมในดินนั้นขึ้นยังอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่น หินและแร่ต้นกำเนิดดิน รวมทั้งการปนเปื้อนที่เกิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิม, 2557 และ ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2545)

2.2.2 ทองแดง

แร่ทองแดงสามารถพบในสภาพบริสุทธิ์โดยธรรมชาติ คือพบในสภาพที่เป็นโลหะ (metallic state) หรือ ในสภาพทองแดงธรรมชาติ (native copper) ทำให้รวบรวมและนำมาหลอมเป็นโลหะสำหรับใช้งานได้ง่าย ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและตัวนำไฟฟ้าได้ดีรองจากเงิน จึงมีการนำทองแดงมาใช้ในอุสาหกรรมหลายชนิดที่พบได้ เช่น ใช้ผลิตลวดและสายไฟท่อน้ำ นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆรวมถึงการทำสีย้อมผ้า อุตสาหกรรมรถยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบิน การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น เครื่องประดับ เครื่องตกแต่งและเหรียญกษาปณ์ เป็นต้น จากกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การดื่มน้ำ การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ เมื่อได้รับทองแดงมากเกินไปจะก่อให้เกิดพิษซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานและตับทำหน้าที่บกพร่องไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติจึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหลควบคุมการพูดลำบาก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2548)

2.2.3 สังกะสี

สังกะสีถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมชุบเคลือบเหล็กเพื่อป้องกันการผุกร่อนชั้นสังกะสีจะป้องกันไม่ให้เหล็กผุกร่อนเป็นสนิมได้อย่างดี เหล็กชุบสังกะสีเหมาะกับงานก่อสร้างสาธารณูปโภคสามารถป้องกันเหล็กในระยะยาวโดยไม่ต้องมีการซ่อมบำรุง ได้แก่ ราวกั้นขอบทางสะพานเสาไฟฟ้า ลวดเหล็กและตะปู เป็นต้น และพบได้ในการใช้ในอุตสาหกรรมผลิต สี ยางรถยนต์ เซรามิก เวชภัณฑ์และอาหารสัตว์ ทำอุปกรณ์ถ่านไฟฉาย ทำอะไหล่รถยนต์ โลหะสังกะสียังมีประโยชน์ของที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ เมื่อนำไปผสมกับโลหะทองแดงจะได้โลหะทองเหลือนำไปผลิตเป็นที่จับประตู ก๊อกน้ำ เครื่องใช้ในบ้าน และส่วนประกอบต่างๆของโคมไฟ สังกะสีใช้เคลือบกระป๋องในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ซึ่งจะละลายออกมาปนกับอาหาร การใช้ภาชนะเคลือบสังกะสีใส่อาหารที่เป็นกรด หรือการตากอาหารบนแผ่นสังกะสีแม้ในระยะสั้นก็ตาม จะทำให้ปริมาณสังกะสีละลายลงไปในอาหารได้ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 7 พ.ศ. 2515 ให้มีสังกะสีในอาหารกระป๋องได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/

กิโลกรัม พิษของสังกะสีเมื่อเรารับประทานอาหารที่มีสังกะสีเข้าไปจะปวดบริเวณปากคอ ท้อง และท้องเดิน (ปิยวรรณ นาคินชาติ, 2549)

2.2.4 แมงกานีส

แมงกานีสมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งการนำแมงกานีสมาใช้โดยตรงและการนำองค์ประกอบของแมงกานีสมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถพบการนำแมงกานีสมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถลุงแร่แมงกานีส และอุตสาหกรรมแยกแมงกานีสโดยกระบวนการทางไฟฟ้าเพื่อแยกเอาโลหะแมงกานีสไปใช้สำหรับเป็นส่วนผสมของการผลิตเหล็กกล้า ใช้ในการผลิตแม่เหล็กแรงสูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านไฟฉายแบบเซลแห้ง ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอิฐและกระเบื้อง และยังมีการนำส่วนประกอบของแมงกานีสไปใช้ในสารเติมในสีและน้ำมันเคลือบเงา ใช้เป็นสารกำจัดสีเขียว เนื่องมาจากธาตุเหล็กในการผลิตแก้วใช้ในอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมฟอกขาว อุตสาหกรรมสีและอุตสาหกรรมปุ๋ย จากการนำแมงกานีสไปใช้ประโยชน์ทำให้ทราบถึงแหล่งของแมงกานีสว่ามีปนอยู่ที่ใด และแมงกานีสยังมีพิษโดยสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางจมูก ทางปาก และทางผิวหนัง พิษจากแมงกานีสจะไปทำลายสมองส่วนกลาง ทำให้ปวดหัวเบื่ออาหาร ปวดกล้ามเนื้อ หรืออาจมีอาการเป็นอัมพาตของร่างกายบางส่วนได้ และเกิดอาการทางปอด เกิดอาการปอดบวมได้ (นายจำลอง ปินตาวงศ์ และคณะ, 2554)

2.2.5 โครเมียม

โครเมียม เป็นโลหะหนักสีขาวแข็งคล้ายเหล็ก พบในแร่โครเมียมไอออน เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้เนื่องจากมีการนำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น นำโครเมียมมาผสมกับโลหะเป็นการชุบโลหะให้เกิดความแข็งแรงและไม่เป็นสนิม นำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ผลิตเม็ดสีชุบเครื่องประดับ การย้อมผ้า การฟอกหนังสัตว์และอื่นๆ โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่ม โดยแบ่งตาม Valence ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 6 ซึ่งกลุ่มโครเมียมไตรวาเลน (Trivalent chromium) และโครเมียมเฮกซาวาเลน (Hexavalent chromium) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต หากมีปริมาณมากเกินไปจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนสิ่งมีชีวิตอื่นๆในสิ่งแวดล้อม โครเมียมเฮกซาวาเลนที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมมีความเป็นพิษตั้งแต่ปานกลางถึงสูงมาก ซึ่งจะส่งผลต่อสัตว์ที่กินน้ำและอาหารที่มีโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าไปทำให้สัตว์ตายได้ ส่วนพืชที่ได้รับโครเมียมเฮกซาวาเลนจะเจริญเติบโตช้าลง โครเมียมเฮกซาวาเลนมีความคงทนในธรรมชาติจึงเป็นไปได้ว่าจะสะสมในสัตว์น้ำได้ พิษของโครเมียมต่อสุขภาพ มีทั้งพิษเฉียบพลัน เกิดการระคายเคือง คลื่นไส้อาเจียน และพิษเรื้อรัง ที่ส่งผลต่อระบบผิวหนังและทางเดินหายใจ และยังเป็นสารก่อมะเร็งได้ (จิระฉัตร ศรีแสน, 2555)

2.2.6 ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่นำไปใช้ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น สีทาบ้าน สีป้องกันสนิม แบตเตอรี่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และบัดกรี แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นสารที่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อมนุษย์ การสัมผัส การสูดดม การรับรสหรือการใช้สินค้าต่างๆที่มีตะกั่วเจือปนอยู่ทำให้มนุษย์ต้องเสี่ยงกับการได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ตะกั่วจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อมนุษย์ในทันทีทันใดมนุษย์จึงไม่รู้สึกว่าได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้ว แต่ตะกั่วจะสะสมอยู่ในร่างกายและจะแสดงความเป็นพิษออกมาเมื่อตะกั่วได้สะสมอยู่ในร่างกายจนถึงขนาดแล้วซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างมากและรุนแรงทำให้เกิดโรคโลหิตจางเกิดอาการต่อระบบย่อยอาหารปวดท้องคลื่นไส้อาเจียน และอาจถึงตาย (นายปราโมทย์ ศรีสุวรรณ และศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2554)

2.2.7 เหล็ก

เหล็กเป็นโลหะที่มีอยู่ในเปลือกโลก ในธรรมชาติเหล็กจะเกิดรวมกันธาตุอื่นๆ เหล็กส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เหล็กมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ส่วนใหญ่ใช้ในโรงงานถลุงเหล็กเพื่อการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า เหล็กจะต้องผ่านกระบวนการถลุงก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้ได้ตามความเหมาะสมสามารถพบเหล็กได้ใน เหล็กกล้าที่ใช้ในการก่อสร้าง การทำเครื่องยนต์กลไกต่างๆ สิ่งของในชีวิตประจำวัน เช่น ลวด ตะปู ตัวถังรถยนต์ รถไฟ สังกะสีมุงหลังคา กระป๋องบรรจุอาหาร เป็นต้น เหล็กเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่ไม่เหมาะสมจะก่อให้เกิดอาการปวดท้องคลื่นไส้ อาเจียน เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

การกำจัดขยะโดยวิธีการรวบรวมขยะจากบ้านเรือนชุมชนเพื่อนำไปกำจัดโดยการฝังกลบ ทำให้องค์ประกอบของขยะ เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ สายไฟ สีย้อมผ้า เศษเหล็ก กระเบื้อง สารชุบโลหะ สารฟอกหนัง เป็นต้น สามารถเป็นแหล่งของการปลดปล่อยโลหะหนัก ได้แก่ Cd Cu Zn Fe Cr Pb และMn ให้มีการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้

2.3 ประเภทของขยะมูลฝอย

สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย (2555) ได้จัดแบ่งประเภทของขยะมูลฝอยชุมชนออกตามลักษณะทางกายภาพได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.3.1 ขยะย่อยสลาย (Compostable waste)

ขยะย่อยสลาย คือ ขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้เศษอาหาร ใบไม้ เศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่จะไม่รวมถึงซาก หรือเศษของพืช ผัก ผลไม้

หรือสัตว์ที่เกิดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยที่ขยะย่อยสลายนี้เป็นขยะที่พบมากที่สุด คือ พบมากถึง 64 % ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

2.3.2 ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste) หรือ มูลฝอยที่ยังใช้ได้

ขยะรีไซเคิล คือ ของเสียบรรจุภัณฑ์ หรือวัสดุเหลือใช้ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่น แก้ว กระดาษ เศษพลาสติก กล่องเครื่องดื่มแบบ UHT กระป๋องเครื่องดื่ม เศษโลหะ อะลูมิเนียม ยางรถยนต์ เป็นต้น สำหรับขยะรีไซเคิลนี้เป็นขยะที่พบมากเป็นอันดับที่สองในกองขยะ กล่าวคือ พบประมาณ 30 % ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

2.3.3 ขยะอันตราย (Hazardous waste) หรือ มูลฝอยอันตราย

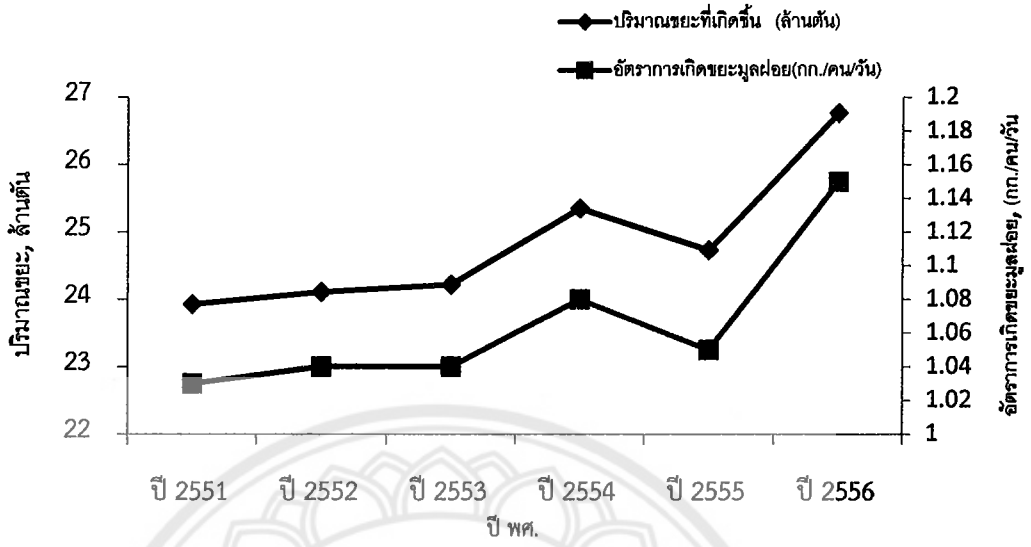
ขยะอันตราย คือ ขยะที่มีองค์ประกอบ หรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สิน หรือสิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสี หรือสารเคมี เป็นต้น ขยะอันตรายนี้เป็นขยะที่มักจะพบได้น้อยที่สุด กล่าวคือ พบประมาณเพียง 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ

2.3.4 ขยะทั่วไป (General waste) หรือ มูลฝอยทั่วไป

ขยะทั่วไป คือ ขยะประเภทอื่นนอกเหนือจากขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกใส่ขนม ถุงพลาสติกบรรจุผงซักฟอก พลาสติกห่อลูกอม ซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ถุงพลาสติกเปื้อนเศษอาหาร โฟมเปื้อนอาหาร ฟอล์ยเปื้อนอาหาร เป็นต้น สำหรับขยะทั่วไปนี้เป็นขยะที่มีปริมาณใกล้เคียงกับขยะอันตราย กล่าวคือ จะพบประมาณ 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (นายปิยชาติ ศิลปะสุวรรณ, 2557)

2.4 สถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทย

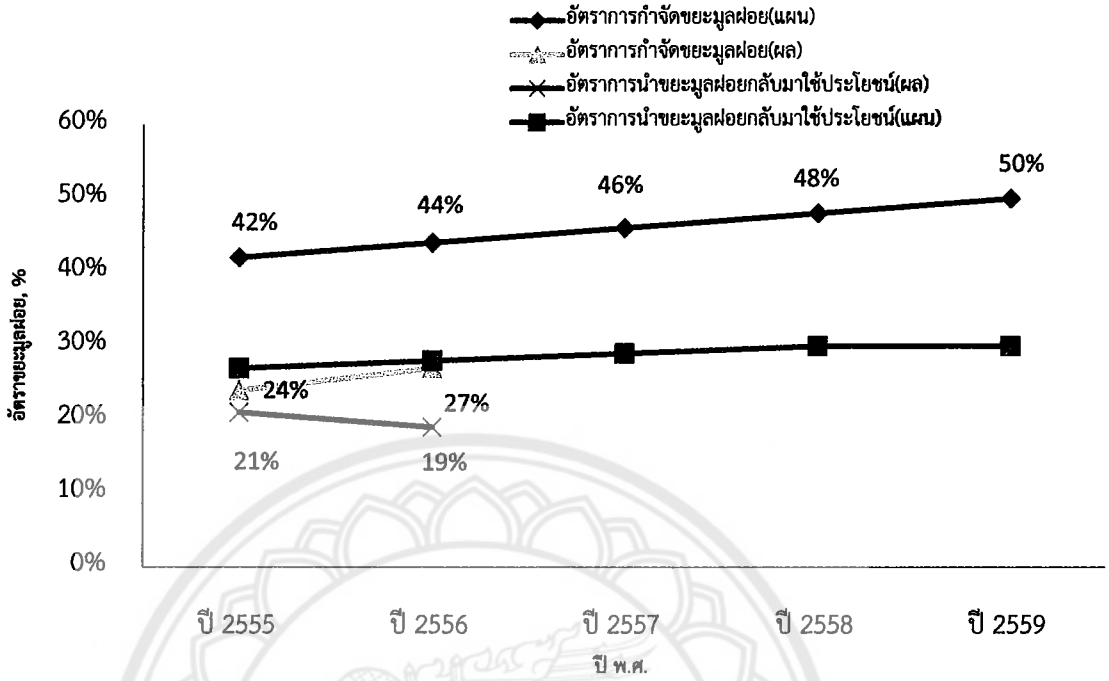
สถานการณ์ขยะมูลฝอย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2556 พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในช่วงปี 2551-2554 เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณขยะที่เกิดขึ้นและอัตราการเกิดขยะมูลฝอย (กิโลกรัม/คน/วัน) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณและอัตราลดลงในปี 2555 และเพิ่มขึ้นในปี 2556 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อัตราการเกิดขยะมูลฝอย

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2557)

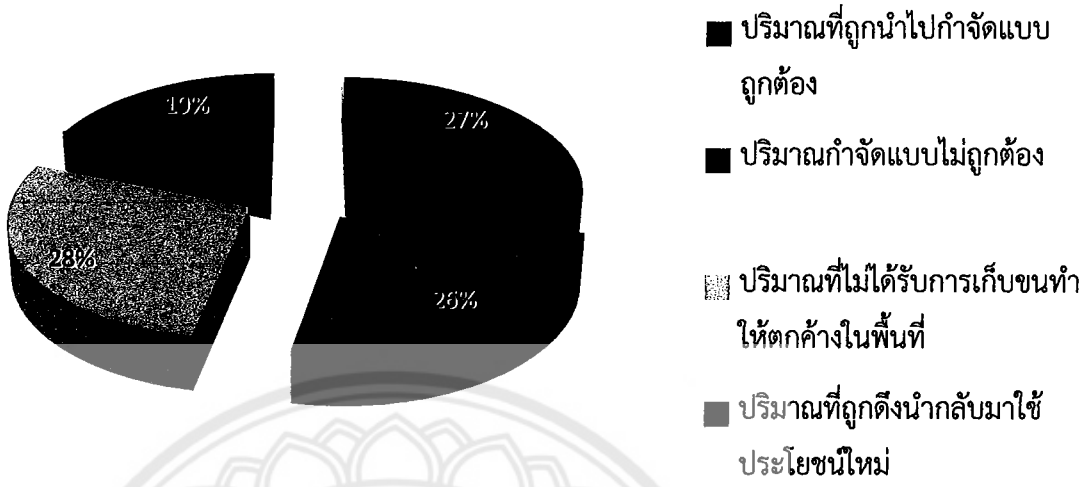
ภาพที่ 3 แสดงอัตราการกำจัดขยะมูลฝอยและการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์เปรียบเทียบกับเป้าหมายตามแผนจัดการมลพิษ ปี พ.ศ. 2555-2559 พบว่าอัตราขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในปี 2556 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผนจัดการมลพิษยังมีการกำจัดขยะมูลฝอยไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้ และพบว่าอัตราขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มีแนวโน้มลดลงในปี 2556 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแผนจัดการมลพิษยังมีอัตราขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ไม่ถึงเป้าหมายที่ตั้งไว้



ภาพที่ 3 อัตราการการจัดขยะมูลฝอยและการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์เปรียบเทียบกับเป้าหมายตามแผนจัดการมลพิษ 2555 – 2559

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2557)

นายวิเชียร จุ่งรุ่งเรือง อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ (คพ.) ได้รายงานถึงสถานการณ์มลพิษประเภทขยะของประเทศไทยปี 2556 (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) โดยมีใจความสรุปว่า จากการสำรวจข้อมูลปริมาณขยะทั่วประเทศ พบว่า มีปริมาณ 26.77 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2555 ถึง 2 ล้านตัน ในจำนวนนี้มีการเก็บขนและนำไปจำกัดแบบถูกต้องจำนวน 7.2 ล้านตัน (คิดเป็น 27 %) และกำจัดแบบไม่ถูกต้องจำนวน 6.9 ล้านตัน (คิดเป็น 26 %) นอกจากนั้นพบว่าปริมาณขยะที่ไม่ได้รับการเก็บขนทำให้ตกค้างในพื้นที่ ประมาณ7.6 ล้านตัน (คิดเป็น 28 %) และมีปริมาณขยะที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เพียง 5.1 ล้านตัน (คิดเป็น 19 %) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศปี 2556

โดยทั้งนี้พบว่าขยะที่เกิดขึ้นจำนวน 26.77 ล้านตัน เป็นขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลทั่วประเทศ คิดเป็น 46 % หรือ 12.396 ล้านตัน เกิดขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบของเทศบาล จำนวน 38 % หรือ 10.241 ล้านตัน และเกิดขึ้นในเขตความรับผิดชอบของกรุงเทพมหานครจำนวน 16 % หรือ 4.137 ล้านตัน และสถานที่ในการกำจัดขยะมูลฝอย พบว่า ในปัจจุบันมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยรวมทั่วประเทศจำนวน 2,490 แห่ง ในจำนวนนี้มีสถานที่ที่กำจัดขยะอย่างถูกต้องเพียง 466 แห่งหรือแค่ 19 % เท่านั้น ส่วนสถานที่ที่กำจัดขยะแบบไม่ถูกต้อง เช่น การเทกองกลางแจ้ง การเผาในที่โล่ง มีประมาณ 2,024 แห่ง หรือ 81 % จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยสะสมตกค้างเพิ่มสูงขึ้นปี 2556 มีขยะสะสมสูงถึง 19.9 ล้านตัน โดยจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่มีวิกฤตปัญหาการจัดการขยะมากที่สุดในประเทศไทยมีขยะสะสม 2.5 ล้านตัน รองลงมาคือ จังหวัดสมุทรปราการซึ่งมีปริมาณขยะสะสม 2.1 ล้านตัน สำหรับจังหวัดที่มีขยะสะสมน้อยที่สุดคือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และภูเก็ต

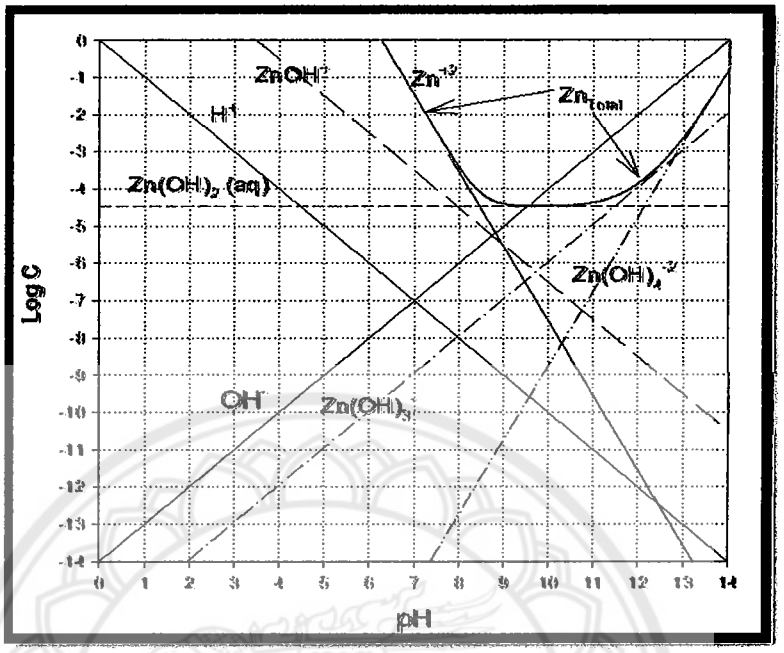
2.5 รูปและการละลายของโลหะตามระดับกรด – ด่าง

ทองแดงเป็นธาตุที่ละลายได้น้อยที่สุดและการละลายมีค่าน้อยลงที่ pH 7 – 8 ที่ pH ต่ำกว่า 7 ทองแดงอยู่ในรูป hydrolysis species คือ $CuOH^+$ และ $Cu_2(OH)_2^{2+}$ และที่ pH มากกว่า 8 จะอยู่ในรูป anionic hydroxyl complex และในดินด่างส่วนใหญ่เป็นรูป $CuCO_3$ ที่มีการละลายไม่ขึ้นกับค่า pH รูปส่วนใหญ่ของทองแดง ในดินถึง 80 % เป็นรูป soluble organic chelate ที่ละลายได้และสิ่งมีชีวิตนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 แสดงการละลายของทองแดงในระดับกรด - ด่าง

ที่มา : Trace Elements in Soils and Plants

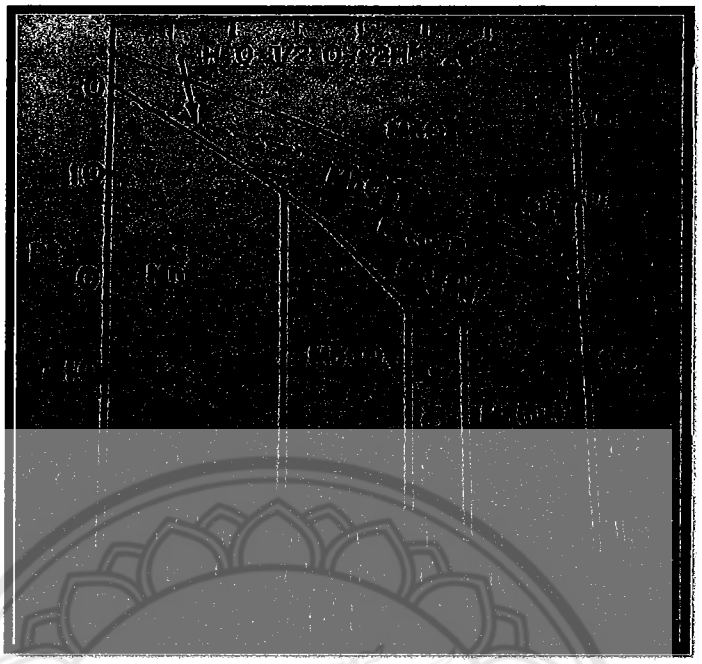
รูปหลักของสังกะสี คือ Zn^{2+} ซึ่งมีพฤติกรรมคล้ายกับทองแดง การดูดซับของสังกะสีโดยแร่ดินเหนียวลดลงเมื่อ pH น้อยกว่า 7 เนื่องจาก completing ion ดังนั้นการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นได้ง่ายในกรด เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าประมาณ 6 แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 6 สังกะสีในรูป Zn^{2+} จะเปลี่ยนรูปไปโดยอยู่ในรูปต่างๆ เช่น Zn และ $Zn(OH)_4^{-2}$ เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6 สังกะสีในรูป Zn^{2+} จะเปลี่ยนรูปไปอยู่ใน $Zn(OH)_3^-$ และ $Zn(OH)_4^{3-}$ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงการละลายของสังกะสีในระดับกรด - ด่าง

ที่มา : Misra, 2012

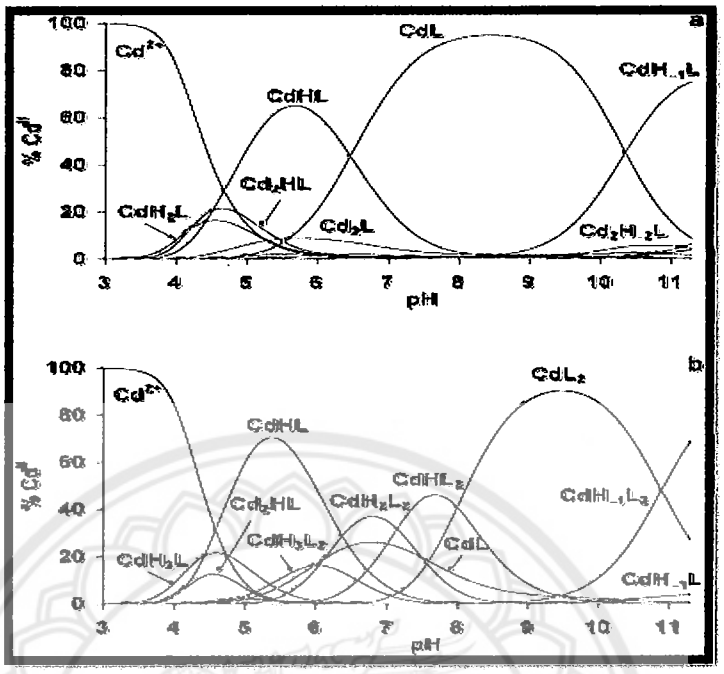
แมงกานีสเป็นโลหะหนักที่อยู่ในรูปของ Mn^{2+} ในระดับความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงต่ำกว่า 7 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 รูปประจุบวกก็จะลดลง มีการสะสม MnO_4^- MnO_2 MnOOH $MnCO_3$ มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงการละลายของแมงกานีสในระดับกรด - ด่าง

ที่มา : Misra, 2012

แคดเมียมละลายได้มากในดิน pH 4.5 – 5.5 และไม่ค่อยละลายในดินด่าง อย่างไรก็ตามเมื่อ pH ของดินด่างมีค่าสูงขึ้น monovalent hydroxyl ion ($CdOH^+$) ซึ่งมีการดูดยึดโดยพื้นผิวดูดซับน้อย ค่า pH เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการดึงดูดแคดเมียมในพืช โดยมีการดึงดูดขึ้นไปในต้นกล้าข้าวได้มากที่สุดในค่า pH 4.5 – 5.5 และแคดเมียมในเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์สูงกับค่า pH ของดิน และสูงที่สุดที่ pH 5.5 การเคลื่อนย้ายของแคดเมียมที่สูงในดินด่าง เนื่องมาจากการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนหรือ metal chelate เช่น CdL CdH_2L_2 และ $CdHL_2$ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการละลายของแคดเมียมในระดับกรด-ด่าง

ที่มา : Misra, 2012

พฤติกรรมของโลหะหนักเกณฑ์การละลาย การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน มีความสัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่าง และหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ในดินอย่างใกล้ชิด โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันในโลหะหนักแต่ละชนิด ซึ่งส่งผลต่อการดูดซับ การเคลื่อนย้าย การละลาย และการแพร่กระจายของโลหะหนัก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ZainiSakawi et al. (2013) ทำการศึกษาการแพร่กระจายของพื้นที่รอบบ่อฝังกลบขยะ ในประเทศมาเลเซีย มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณใกล้เคียงบ่อฝังกลบขยะการศึกษาครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์โลหะหนักในดิน ตามปัจจัย คือ ระยะทางและความลึกรอบบริเวณที่ฝังกลบ การเก็บตัวอย่างภาคสนามทำการเก็บตัวอย่างตามทิศทางที่กำหนดและนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ Mg, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn และ Pb พบความเข้มข้นของ Fe มากที่สุดเกินค่ามาตรฐานขั้นต่ำ (301 มิลลิกรัม/ลิตร) และพบความเข้มข้นของ Cu รองลงมามีมากที่สุดเกินค่ามาตรฐานขั้นต่ำ (19.8 มิลลิกรัม/ลิตร)

Chuangcham et al. (2008) ทำการศึกษาการแพร่กระจายโลหะหนักรอบบ่อฝังกลบขยะกรณีศึกษาพื้นที่บ่อฝังกลบขยะชุมชนบ้านคำบอน จ.ขอนแก่น โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและ

ทางเคมีของดินภายในรัศมี 2 กิโลเมตรจากบ่อฝังกลบขยะ โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, Fe และMn ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน พบว่า มีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เนื้อดิน และอินทรีวัตถุในดิน และพบปริมาณโลหะหนักสะสมที่ความลึก 90 เซนติเมตร จากผิวดิน ในระยะ 2 กม. โดยมีรูปแบบการระบายน้ำ รูปแบบการไหลของน้ำ เนื้อดิน และกิจกรรมของคนเก็บขยะ เป็นปัจจัยการควบคุมการแพร่กระจายโลหะหนัก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิเคราะห์โลหะหนักในดิน น้ำ และพืช โดยทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่เพาะปลูกรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน ตามปัจจัยความสูงของพื้นที่และระยะทางเป็นปัจจัยควบคุม โดยนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Fe และ Mn และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง อินทรียวัตถุในดิน ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และเนื้อดิน การวิเคราะห์โลหะหนักและการวิเคราะห์คุณสมบัติดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของโลหะหนัก

3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาวิจัย

พื้นที่ในการศึกษาวิจัยเป็นพื้นที่เพาะปลูกรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชนตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดพิษณุโลก ดังแสดงในภาพที่ 9 มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม มีการใช้ประโยชน์ในการทำการเกษตร

ภาพที่ 9 พื้นที่ศึกษาวิจัย ตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Google Map

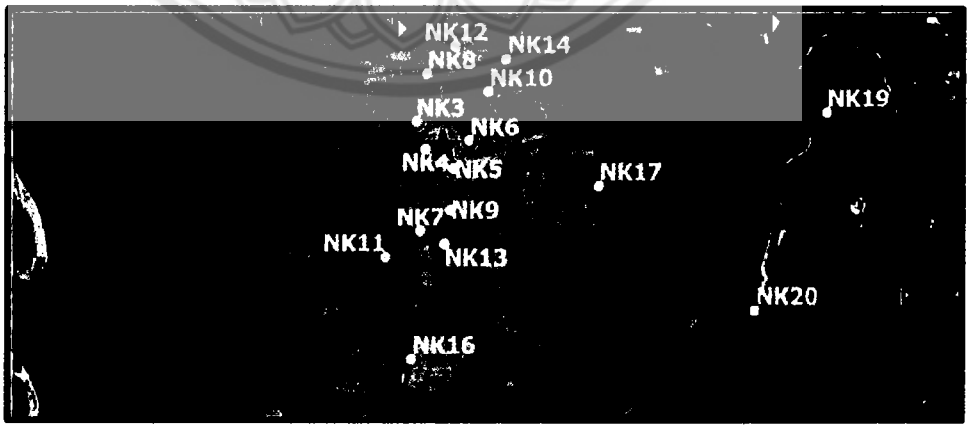
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

การวิจัยเพื่อศึกษาการแพร่กระจายโลหะหนัก ตามปัจจัยพื้นที่ ได้แก่ ความสูงและระยะทาง โดยมีการเก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างประกอบด้วย สุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) สุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling) และการเก็บตัวอย่างเฉพาะบริเวณที่ต้องการประเมิน (Exploratory Sampling)

จากข้อมูลจุดความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ระดับความสูงของพื้นที่ศึกษามีระดับความสูงอยู่ในช่วง 37-40 เมตร สามารถแบ่งออกได้เป็นพื้นที่ย่อยเพื่อแบ่งขอบเขตการเก็บตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการเก็บแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) โดยเทคนิคการ Interpolate จุดความสูงโดยใช้โปรแกรม QGIS 2.4.0 และแบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 3 ขอบเขตคือ Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ที่มีระดับความสูง 38.5-40, 37.5-38.5 เมตร และพื้นที่นอกขอบเขต ตามลำดับ

3.2.1 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง Zone-1

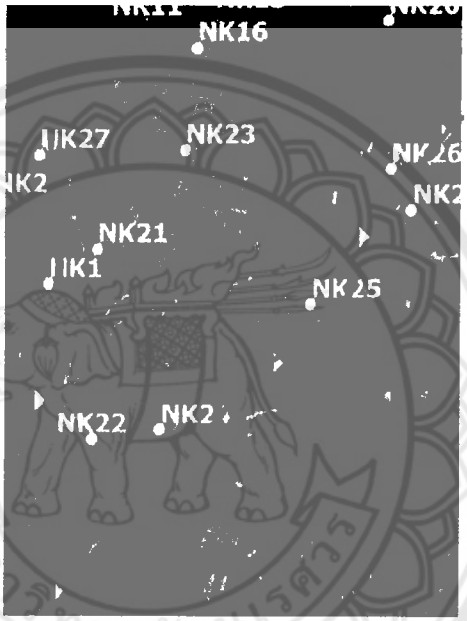
เป็นพื้นที่บริเวณรอบบ่อฝังกลบขยะ ความสูงของพื้นที่ 38.5-40 เมตร ใช้วิธีการสุ่มแบบ Exploratory Sampling โดยกำหนดจุดตามระยะทาง 150 เมตร, 450 เมตร, 750 เมตร, ช่วง 1,000 -2,000 เมตร และช่วง 2,000-3,000 เมตร จากจุดศูนย์กลางของบ่อขยะทั้ง 4 ทิศ ประกอบด้วยจุด NK 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19 และ 20 ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone-1

3.2.2 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง Zone-2

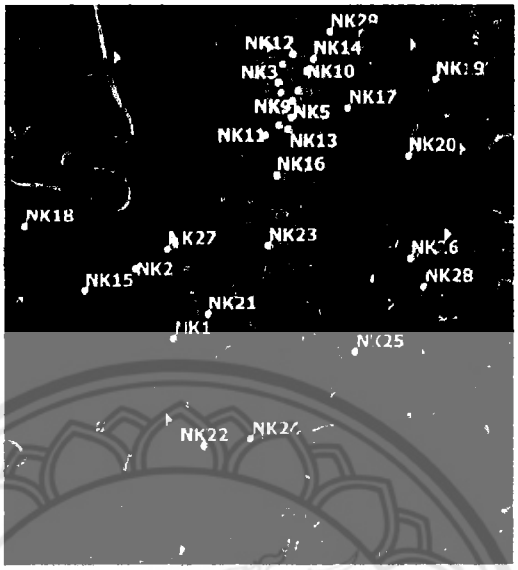
Zone-2 เป็นพื้นที่ที่มีความสูงต่ำกว่าขอบเขตรอบบ่อขยะ (Zone-1) โดยมีความสูง 37.5 - 38.5 m. ใช้วิธีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบ Simple Random Samplingโดยสุ่มกลุ่มตัวอย่างจำนวน 6 จุด กระจายในพื้นที่ ประกอบด้วยจุด NK 21, 22, 23, 24, 25 และ 26 ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone 2

3.2.3 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง Zone-Out Bound

พื้นที่ Zone-Out Bound เป็นพื้นที่นอกขอบเขตใช้วิธีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบ Simple Random Sampling จำนวน 7 จุด ประกอบด้วยจุด NK 1, 2, 15, 18, 27, 28 และ 29 ดังภาพที่ 12 เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการหาความสัมพันธ์ของโลหะหนักเพื่อเปรียบเทียบระหว่างในขอบเขตและนอกขอบเขต



ภาพที่ 12 จุดเก็บตัวอย่างZone-Outs Bound

3.3 จำนวนจุดเก็บตัวอย่าง

ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของโลหะหนักรอบพื้นที่ทิ้งขยะ ทำการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมได้โดยวิธี การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว เป็นการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และ y โดยประมาณค่าคะแนนมาตรฐานดังสมการ และขนาดตัวอย่างตามการคำนวณจากค่า α และ β ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณขนาดตัวอย่างที่จำเป็นในการในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับระดับความสำคัญ

One-tailed α =		0.005			0.025			0.05		
Two-tailed α =		0.01			0.05			0.10		
β =		0.05	0.10	0.20	0.05	0.10	0.20	0.05	0.10	0.20
r*										
0.05		7118	5947	4663	5193	4200	3134	4325	3424	2469
0.10		1773	1481	1162	1294	1047	782	1078	854	616
0.15		783	655	514	572	463	346	477	378	273
0.20		436	365	287	319	259	194	266	211	153
0.25		276	231	182	202	164	123	169	134	98
0.30		189	158	125	139	113	85	116	92	67
0.35		136	114	90	100	82	62	84	67	49
0.40		102	86	68	75	62	47	63	51	37
0.45		79	66	53	58	48	36	49	39	29
0.50		62	52	42	46	38	29	39	31	23
0.60		40	34	27	30	25	19	26	21	16
0.70		27	23	19	20	17	13	17	14	11
0.80		18	15	13	14	12	9	12	10	8

*To estimate the total sample size, read across from r (the expected correlation coefficient) and down from the specified values of α and β.

สำนักหอสมุด
- 5 ต.ค. 2560

ดังสมการ

$$n = \left(\frac{Z_\alpha + Z_\beta \sqrt{1-r^2}}{r} \right)^2 + 2$$

r คือ ค่าคาดคะเน (estimate) ของสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ของค่าตัวแปรทั้งสองซึ่งอาจได้จาก Pilot study, การศึกษาในอดีต, การศึกษาของที่มีการอ้างอิงมาแล้ว

Z_α คือ ค่ามาตรฐาน Z ที่ได้จากตารางแจกแจงปกติมาตรฐานเมื่อกำหนดค่า α ให้

Z_β คือ ค่ามาตรฐาน Z ที่ได้จากตารางแจกแจงปกติมาตรฐานเมื่อกำหนดค่า β ให้

จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเมื่อ ค่าคาดคะเน (r) = 0.45ค่ามาตรฐาน (Z_α) = 0.05 ค่ามาตรฐาน (Z_β) = 0.20 จากการเปรียบเทียบกับตารางได้จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 29 จุด

3.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

3.4.1 การเก็บตัวอย่างดินโดยทำการเก็บตัวอย่างดินแต่ละชั้นแบบ Bulk Sampling และทำ composite sample จาก 3 จุดต่อหนึ่งแปลงนาที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร และนำไปอบและบดร่อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ โดยเก็บน้ำที่แช่ขังอยู่ในแปลงนาเก็บตำแหน่งเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดิน และเก็บตัวอย่างน้ำในแหล่งน้ำ ทำการรักษาสภาพน้ำด้วยกรดไฮโดรคลอริกและเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.3 การเก็บตัวอย่างพืชโดยเก็บตำแหน่งพืชที่จุดเดียวกับที่เก็บตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำ โดยทำ composite sample จาก 3 จุดต่อหนึ่งแปลงนา นำไปอบและบดร่อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.5.1 วิเคราะห์โลหะหนักในดิน น้ำ และพืช

การย่อยตัวอย่างดินและพืชที่ผ่านการอบแห้งและบดร่อน โดยกรด $HCLO_4$ ผสมกับ HNO_3 (1:3) อัตราส่วนดินต่อกรดผสม ดิน 0.5 กรัม : กรดผสม 10 มิลลิลิตร และใช้อัตราส่วนพืชต่อกรด ผสมพืช 0.5 กรัม : กรดผสม 10 มิลลิลิตร สำหรับตัวอย่างน้ำย่อยโดยใช้กรด HNO_3 อัตราส่วนน้ำ 50 มิลลิลิตร : กรด 10 มิลลิลิตร และวัดปริมาณโลหะหนักโดยเทคนิค AAS (atomic absorption spectroscopy)

3.5.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

โดยวิธี pH meter อัตรา 1:1 (น้ำต่อดิน)

3.5.3 อินทรียวัตถุในดิน

วิเคราะห์โดยวิธี Wet Oxidation

3.5.4 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

วิเคราะห์โดยวิธี Ammonium acetate

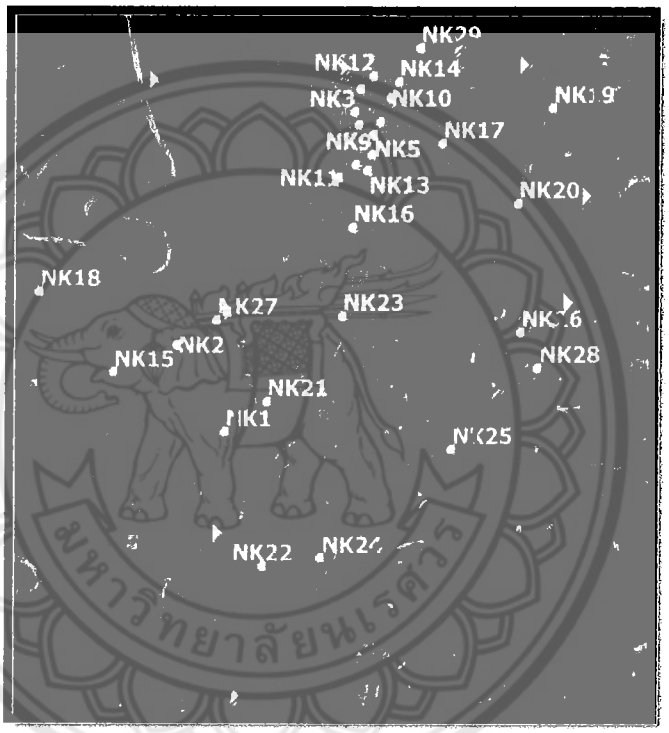
3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักใน Zone ต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการหาค่าสหสัมพันธ์ Pearson's Correlation Analysis ที่ระดับ $\alpha = 0.05$

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 สภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ของจุดเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 29 จุด มีการกระจายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 13 จุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดมีระยะทาง สภาพพื้นที่ และการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 13 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Google Map

ตารางที่ 5 ลักษณะพื้นที่ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

รหัส	ระยะทาง (m.)	ลักษณะพืช (ระยะการเจริญ, ความสูง)	ระดับน้ำแช่ขัง	อื่นๆ
NK 4	128	ข้าวสูงประมาณ 30 cm.	มีน้ำขัง	กำลังสูบน้ำเข้าแปลงนา
NK 6	200	-	มีน้ำขังเล็กน้อย	เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวแล้ว
NK 5	213	ข้าวสูงประมาณ 40 cm.	ไม่มีน้ำขัง	ติดกับบ่อขยะ
NK 3	250	-	ไม่มีน้ำขัง	เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวแล้ว
NK 9	450	ข้าวสูงประมาณ 150 cm.	ไม่มีน้ำขัง	-
NK 8	498	-	มีน้ำขัง	เก็บเกี่ยวแล้ว มีการเลี้ยงเป็ด
NK 10	509	-	ไม่มีน้ำขัง	เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวแล้ว
NK 7	593	ข้าวสูงประมาณ 100 cm. ออกรวง	มีน้ำขัง	-
NK 13	698	ข้าวสูงประมาณ 170 cm. ออกรวง	ไม่มีน้ำขัง	-
NK 12	715	-	มีน้ำขัง	เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวแล้ว
NK 14	770	ข้าวสูงประมาณ 150 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 11	880	ข้าวสูงประมาณ 150 cm.	ไม่มีน้ำขัง	-
NK 17	1,119	ข้าวสูงประมาณ 40 cm.	มีน้ำขัง	พันธุ์ข้าว 98 มีการฉีดยาแก้โรคใบขาวขณะเก็บตัวอย่าง
NK 16	1,530	-	ไม่มีน้ำขัง	นาข้าวถูกปล่อยทิ้งไว้ (ร้าง)
NK 20	2,541	ข้าวสูงประมาณ 100 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 19	2,773	ข้าวสูงประมาณ 10 cm. (ต้นกล้า)	ไม่มีน้ำขัง	พันธุ์ข้าว 41 มีการฉีดยาขณะเก็บตัวอย่าง
NK 23	2,848	-	ไม่มีน้ำขัง	นาข้าวถูกปล่อยทิ้งไว้ (ร้าง)
NK 26	3,863	ข้าวสูงประมาณ 70 cm.	มีน้ำขังเล็กน้อยเป็นบางจุด	-
NK 21	4,355	ข้าวสูงประมาณ 90 cm.	ไม่มีน้ำขัง	-
NK 25	4,977	ข้าวสูงประมาณ 90 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 24	6,469	ข้าวสูงประมาณ 110 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 22	6,725	ข้าวสูงประมาณ 90 cm. เริ่มออกรวง	มีน้ำขัง	-
NK 29	1,362	ข้าวสูงประมาณ 30 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 27	3,660	ข้าวสูงประมาณ 100 cm. ออกรวง	ไม่มีน้ำขัง	-
NK 2	4,320	ข้าวสูงประมาณ 80 cm. ออกรวง	มีน้ำขัง	-
NK 28	4,452	ข้าวสูงประมาณ 70 cm.	มีน้ำขัง	-
NK 1	5,009	ข้าวสูงประมาณ 80 cm.	ไม่มีน้ำขัง	กำลังสูบน้ำเข้าแปลงนา
NK 15	5,262	ข้าวสูงประมาณ 90 cm. ออกรวง	มีน้ำขังเล็กน้อยเป็นบางจุด	-
NK 18	5,490	ข้าวสูงประมาณ 100 cm	ไม่มีน้ำขัง	มีต้นกกขึ้นปะปนกับต้นข้าว
MT 1	-	-	-	เก็บน้ำในคลองแม่เทียบนอกขอบเขต
MT 2	-	-	-	เก็บน้ำในคลองแม่เทียบ Zone-1
MT 3	-	-	-	เก็บน้ำในคลองแม่เทียบ Zone-2
MT 4	-	-	-	เก็บน้ำในคลองแม่เทียบ Zone-2
คูคลอง	-	-	-	เก็บน้ำคูคลองข้างบ่อขยะ

4.2 คุณสมบัติของดิน

พื้นที่ศึกษารอบบ่อฝังกลบขยะชุมชนตำบลวังน้ำคู้ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วยดินลักษณะแตกต่างกัน จากข้อมูลแผนที่ชุดดิน 1: 100,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชุดดิน สระบุรี กำแพงแสน และอุตรดิตถ์ ที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้ง และดินร่วนเหนียว ตามลำดับ และมีชื่อการจำแนก การกำเนิด สภาพพื้นที่ การระบายน้ำ และเนื้อดิน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลักษณะของดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

	การจำแนกดิน	การกำเนิด	สภาพพื้นที่	การระบายน้ำ	เนื้อดิน
สระบุรี	Very-fine, mixed, active, nonacid, isohyperthermic Vertic (Aeric) Endoaquepts	ตะกอนน้ำพาบนส่วนต่ำของตะพักขั้นต่ำหรือพื้นที่รอยต่อของที่ราบน้ำท่วมกับตะพักขั้นต่ำ	ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-1 %	ค่อนข้างเลวถึงเลว	ดินเหนียว(clay)
กำแพงแสน	Fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs	เกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนเนินตะกอนรูปพัดสันดินริมน้ำ	ราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย	ดี	ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam),ดินร่วน (loam)
อุตรดิตถ์	Fine, mixed, semiactive, isohyperthermic Aquic Haplustalfs	เกิดจากตะกอนน้ำพาบริเวณส่วนต่ำของสันดินริมน้ำ	ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ ความลาดชัน 1-3 %	ดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว	ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam loam) ดินล่างเป็นดินเหนียว (clay)

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน

การศึกษาคุณสมบัติของดินในพื้นที่นาข้าวบริเวณรอบบ่อฝังกลบขยะชุมชน ที่ระดับความลึกของดิน 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ดังแสดงในตารางที่ 7 และตารางที่ 8 โดยลักษณะดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 3.17-6.36 จัดอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกรดจัดถึงความเป็นกรดเล็กน้อย และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 4.44-6.47 จัดอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกรดจัดถึงความเป็นกรดเล็กน้อยเช่นเดียวกัน ปริมาณอินทรียวัตถุ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 1.79-6.02 จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 1.20-4.08 จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำถึงสูง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 0.6-1.13 ซีโมล/กิโลกรัม จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 0.6-1.13 ซีโมล/กิโลกรัม จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ในดินจุดต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร

รหัส	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	อินทรียวัตถุ (%)	ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (c mole/kg)
NK 4	6.14	3.17	0.75
NK 6	4.68	2.08	1.13
NK 5	6.36	1.79	0.75
NK 3	6.21	2.96	0.75
NK 9	3.17	4.15	1
NK 8	5.60	3.55	0.88
NK 10	5.51	3.86	-
NK 7	5.54	4.25	-
NK 13	4.58	3.28	1
NK 12	5.25	4.78	0.88
NK 14	5.35	4.79	-
NK 11	4.71	2.95	-
NK 17	5.28	3.07	0.63
NK 16	5.20	5.81	1
NK 20	4.47	2.78	0.88
NK 19	5.15	2.95	0.75
NK 23	4.54	2.66	1
NK 26	4.72	3.03	1
NK 21	4.75	2.94	0.88
NK 25	5.22	1.86	0.63
NK 24	4.83	4.31	0.88
NK 22	4.54	4.06	1.13
NK 29	4.72	5.36	1
NK 27	5.91	2.55	0.63
NK 2	5.61	4.10	1.13
NK 28	5.52	6.02	0.75
NK 1	5.66	5.85	0.75
NK 15	5.46	3.10	0.75
NK 18	4.96	4.31	0.88

ตารางที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร

รหัส	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	อินทรียวัตถุ(%)	ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (c mole/kg)
NK 4	5.97	1.30	0.88
NK 6	4.44	3.45	1.13
NK 5	5.66	1.69	1
NK 3	5.41	1.24	0.75
NK 9	5.90	2.30	1
NK 8	6.06	2.01	1
NK 10	5.79	1.89	-
NK 7	5.27	2.84	-
NK 13	5.34	2.84	0.88
NK 12	4.93	2.51	1.13
NK 14	6.47	1.89	-
NK 11	5.46	3.00	-
NK 17	6.19	1.50	0.5
NK 16	5.86	1.65	1
NK 20	4.95	2.45	0.88
NK 19	5.71	1.20	1
NK 23	4.96	2.56	0.88
NK 26	5.76	2.74	0.88
NK 21	5.57	2.72	1
NK 25	5.46	2.12	0.63
NK 24	4.84	4.08	1
NK 22	4.98	2.67	1
NK 29	5.29	2.89	0.63
NK 27	6.69	1.84	0.75
NK 2	6.12	1.27	1
NK 28	6.12	2.73	0.88
NK 1	5.26	1.47	0.75
NK 15	5.86	2.34	0.75
NK 18	6.40	1.54	0.63

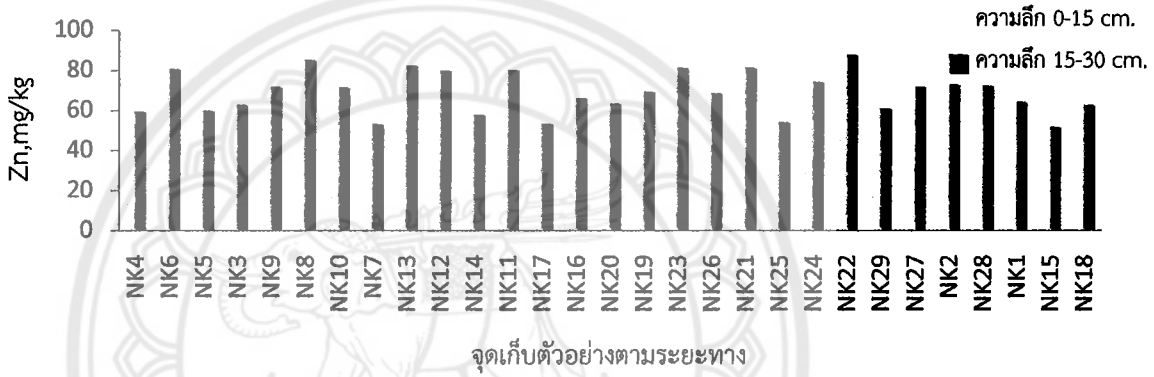
4.3 ปริมาณโลหะหนักในดิน

ปริมาณโลหะหนักที่ทำการตรวจวัดได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) จากการเก็บตัวอย่างดินในภาคสนามทั้งหมด 29 จุด และนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบปริมาณโลหะหนักต่างๆ ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณโลหะหนักในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร (mg/kg)

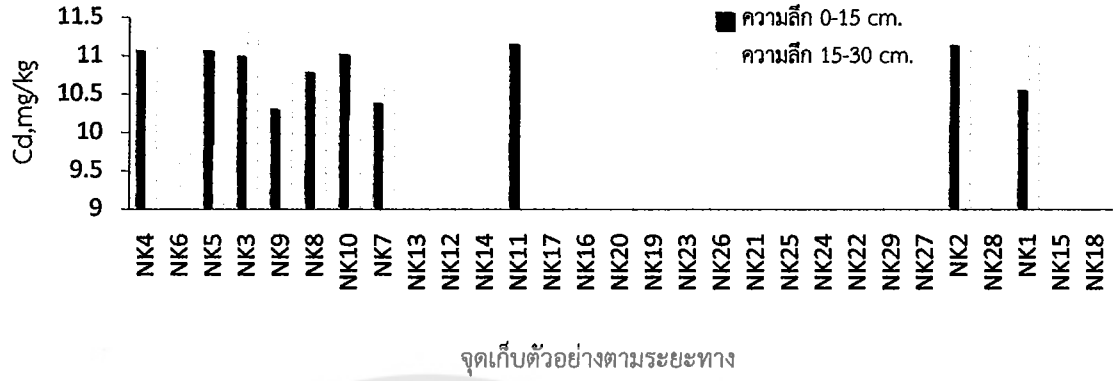
รหัส	สังกะสี (Zn)		แคดเมียม (Cd)		ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)	
	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.
NK 4	55.12	59.07	11.07	11.11	9.36	13.73	30.05	35.07
NK 6	72.65	80.34	-	9.83	17.97	21.11	20.77	30.06
NK 5	57.83	59.57	11.07	9.82	14.71	15.43	38.66	37.29
NK 3	62.35	62.43	10.99	11.33	12.91	24.29	13.69	29.73
NK 9	80.90	71.45	10.30	10.73	17.58	19.04	38.16	36.62
NK 8	86.69	84.85	10.78	10.83	22.12	23.99	42.54	39.05
NK 10	69.20	71.09	11.02	10.21	22.71	19.93	39.02	43.59
NK 7	82.50	52.92	10.38	10.77	21.21	22.74	29.74	45.67
NK 13	81.45	83.21	-	-	19.04	20.43	30.20	43.03
NK 12	75.35	79.60	-	-	19.67	22.50	35.80	37.83
NK 14	55.80	57.50	-	-	10.37	12.31	27.50	34.11
NK 11	76.11	79.80	11.15	-	24.50	24.64	16.87	30.88
NK 17	51.37	53.08	-	-	8.72	7.69	21.87	20.88
NK 16	62.87	65.89	-	-	13.87	15.43	30.33	28.95
NK 20	59.44	63.10	-	-	14.17	16.32	8.05	13.80
NK 19	68.40	68.99	-	-	14.54	16.89	39.12	43.14
NK 23	77.93	81.01	-	-	18.77	21.15	13.23	30.98
NK 26	68.39	68.25	-	-	18.42	17.42	15.30	27.28
NK 21	71.20	80.10	-	-	21.26	20.89	14.77	12.77
NK 25	53.25	53.90	-	-	11.73	14.95	19.22	27.19
NK 24	70.14	73.88	-	-	17.69	19.40	16.34	15.68
NK 22	80.46	87.46	-	-	22.98	22.09	5.09	10.26
NK 29	68.85	60.55	-	-	14.35	14.50	12.08	23.38
NK 27	58.50	71.39	-	-	12.92	13.76	18.82	29.80
NK 2	68.33	72.62	11.14	11.14	15.43	16.51	47.53	40.92
NK 28	72.39	71.79	-	-	15.26	16.41	22.88	43.46
NK 1	60.41	63.98	10.55	11.16	13.08	23.72	34.26	23.99
NK 15	51.32	51.50	-	-	8.87	9.71	23.23	29.07
NK 18	55.52	62.39	-	-	8.64	11.29	9.26	32.31

ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่ตรวจพบในดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 51.32 - 86.69 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 51.50 - 87.46 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างดินของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม ประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547 และ Swaileh et.al 2004) พบว่ามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม กรมควบคุมมลพิษ ไม่มีการกำหนดค่าของสังกะสีไว้ ปริมาณสังกะสีในดินแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 14



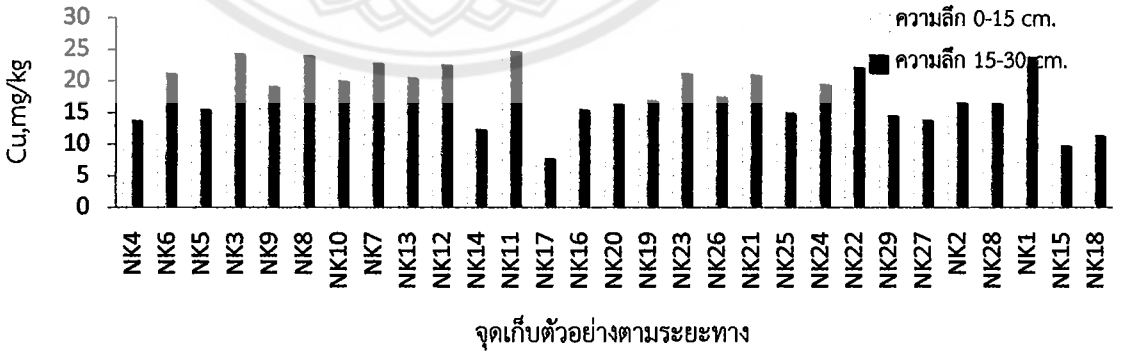
ภาพที่ 14 ปริมาณสังกะสีในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่ตรวจพบในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 10.30-11.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 9.82-11.33 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างดินของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม ประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547 และ Swaileh et.al 2004) พบว่ามีค่าเกินตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ทั้งดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ทั้งหมด 11 จุด ส่วนค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม กรมควบคุมมลพิษ พบว่าไม่มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมในดินแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 15



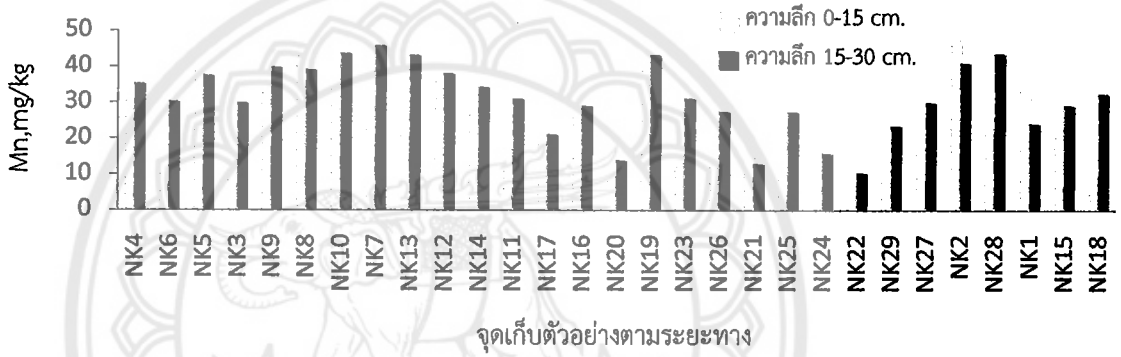
ภาพที่ 15 ปริมาณแคดเมียมในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

ปริมาณทองแดง (Cu) ที่ตรวจพบในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 8.64-24.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 7.69-24.64 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างดินของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรมประเทศเนเธอร์แลนด์ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547 และ Swaileh et.al 2004) ไม่มีการกำหนดค่าของทองแดงไว้ ส่วนค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมกรมควบคุมมลพิษ ไม่มีการกำหนดค่าของทองแดงไว้เช่นเดียวกัน ปริมาณทองแดงในดินแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ปริมาณทองแดงในดินจุดต่างๆที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่ตรวจพบในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 8.05-47.53 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 12.77-45.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างดินของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรมประเทศเนเธอร์แลนด์ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547 และ Swaileh et.al 2004) ไม่มีการกำหนดค่าของแมงกานีสไว้ ส่วนค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม กรมควบคุมมลพิษ ไม่มีการกำหนดค่าของแมงกานีสไว้เช่นเดียวกัน ปริมาณแมงกานีสในดินแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ปริมาณแมงกานีสในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

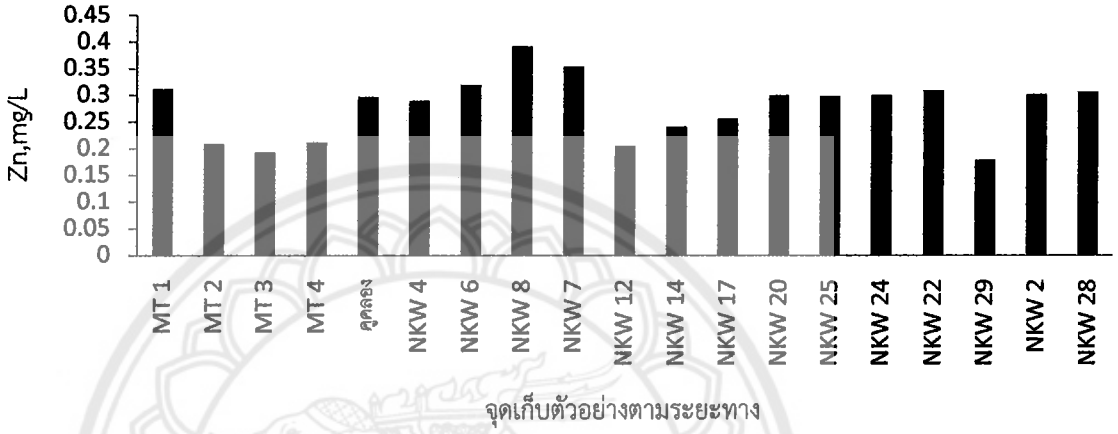
4.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำ

ปริมาณโลหะหนักที่ทำการตรวจวัดได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) การเก็บตัวอย่างน้ำจะทำการเก็บตามลำน้ำแม่เทียบ สระน้ำที่ติดกับลำน้ำ และน้ำในแปลงนาตำแหน่งเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งจะไม่มีทุกจุดเหมือนกับตัวอย่างดิน เนื่องจากบางจุดไม่มีน้ำท่วมขังในแปลงนา สำหรับตัวอย่างน้ำมีทั้งหมด 19 จุด ได้นำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบปริมาณโลหะหนักต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ (mg/L)

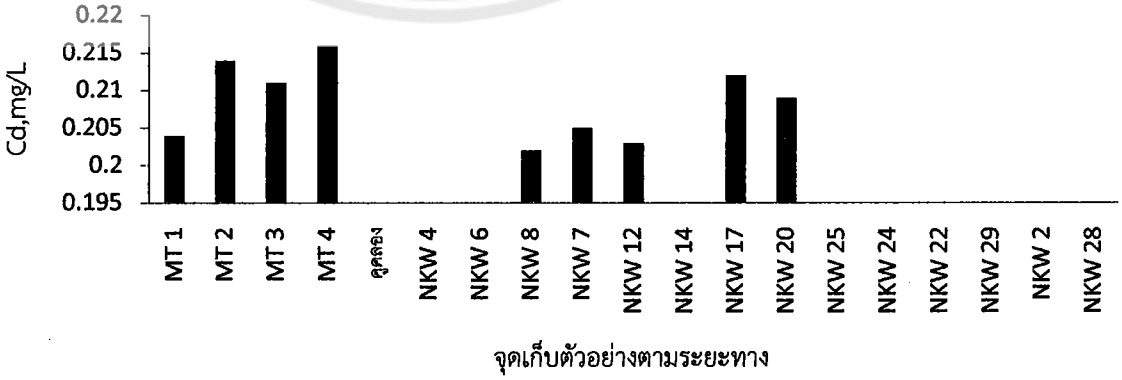
รหัส	สังกะสี (Zn)	แคดเมียม (Cd)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)
MT 1	0.31	0.20	0.05	-
MT 2	0.21	0.21	-	-
MT 3	0.19	0.21	0.09	-
MT 4	0.21	0.22	-	-
คูคลอง	0.30	-	0.01	-
NK 4	0.29	-	0.08	-
NK 6	0.32	-	-	0.16
NK 8	0.39	0.20	0.46	0.43
NK 7	0.35	0.21	0.19	-
NK 12	0.20	0.20	0.04	-
NK 14	0.24	-	0.12	-
NK 17	0.26	0.21	-	-
NK 20	0.30	0.21	0.07	-
NK 25	0.30	-	0.09	0.19
NK 24	0.30	-	0.05	-
NK 22	0.30	-	0.17	-
NK 29	0.18	-	-	0.18
NK 2	0.30	-	-	-
NK 28	0.31	-	-	-

ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่ตรวจพบในน้ำ อยู่ในช่วง 0.18-0.39 มิลลิกรัม/ลิตร ในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ ไม่มีค่าเกินมาตรฐานกำหนดไว้คือไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณสังกะสีในน้ำแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 18



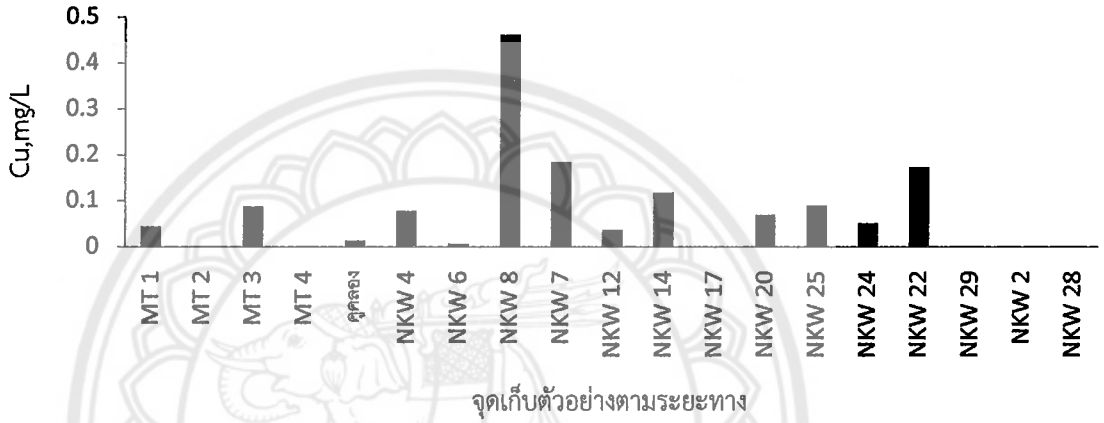
ภาพที่ 18 ปริมาณสังกะสีในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่ตรวจพบในน้ำ อยู่ในช่วง 0.20-0.21 มิลลิกรัม/ลิตร ในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ มีค่าเกินมาตรฐานกำหนดไว้คือไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งหมด 9 จุด ปริมาณแคดเมียมในน้ำแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ปริมาณแคดเมียมในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณทองแดง (Cu) ที่ตรวจพบในน้ำ อยู่ในช่วง 0.01-0.46 มิลลิกรัม/ลิตร ในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ มีค่าเกินมาตรฐานกำหนดไว้คือไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งหมด 4 จุด คือ จุด NKW 7, 8, 14 และ 22 มีความเข้มข้น 0.19, 0.46, 0.12 และ 0.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ปริมาณทองแดงในน้ำแปรผันกับระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ปริมาณทองแดงในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่ตรวจพบในน้ำ อยู่ในช่วง 0.16-0.43 มิลลิกรัม/ลิตร ในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ ไม่มีค่าเกินมาตรฐานกำหนดไว้คือไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณแมงกานีสในน้ำแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 21

ภาพที่ 21 ปริมาณแมงกานีสในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ

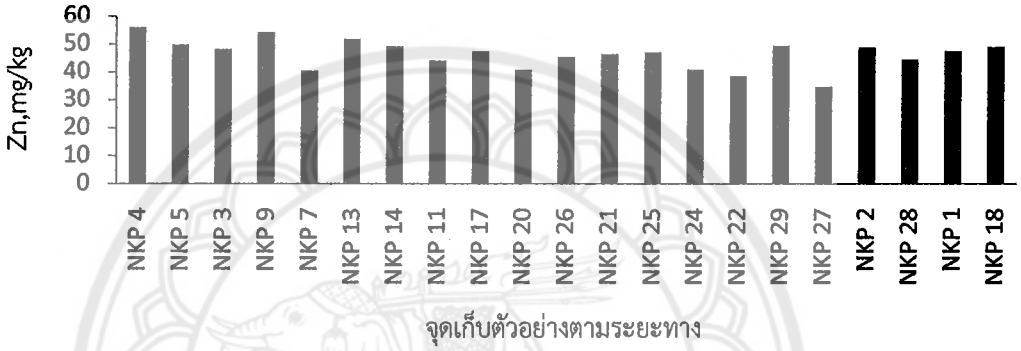
4.5 ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าว

ปริมาณโลหะหนักที่ทำการตรวจวัดได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) การเก็บตัวอย่างพืชเก็บตามจุดเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินและน้ำ ซึ่งจำนวนตัวอย่างของพืชก็มีไม่เท่ากับจำนวนตัวอย่างดินและน้ำ เพราะบางจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างก็ไม่มีต้นข้าว เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวแล้วหรือกำลังเตรียมแปลงเพื่อปลูกใหม่ ตัวอย่างต้นข้าวมีทั้งหมด 21 จุด ได้นำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบปริมาณโลหะหนักต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ (mg/kg)

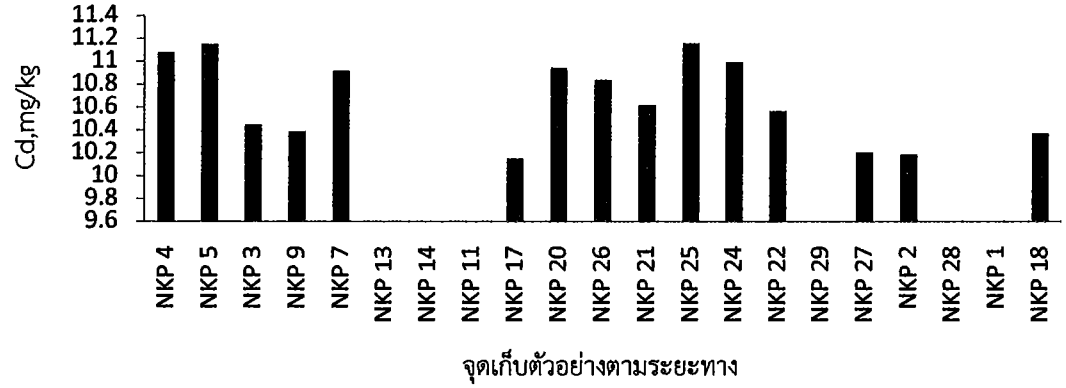
รหัส	สังกะสี (Zn)	แคดเมียม (Cd)	ทองแดง (Cu	แมงกานีส (Mn)
NK 4	56.11	11.08	2.57	27.56
NK 5	49.90	11.15	2.49	37.44
NK 3	48.29	10.45	1.46	8.84
NK 9	54.33	10.39	-	20.35
NK 7	40.55	10.92	-	15.93
NK 13	52.00	-	-	25.76
NK 14	49.36	-	-	23.27
NK 11	44.29	-	0.64	21.77
NK 17	47.55	10.15	3.13	32.78
NK 20	40.89	10.95	5.12	40.89
NK 26	45.51	10.84	1.30	45.51
NK 21	46.52	10.62	1.94	46.52
NK 25	47.21	11.16	3.28	47.21
NK 24	41.03	11.00	0.51	41.03
NK 22	38.68	10.57	0.31	38.68
NK 29	49.49	-	1.42	49.49
NK 27	34.88	10.21	-	34.88
NK 2	49.01	10.19	3.24	24.20
NK 28	44.57	-	0.48	44.57
NK 1	47.75	-	3.62	22.27
NK 18	49.24	10.38	1.88	28.77

ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่ตรวจพบในต้นข้าว อยู่ในช่วง 34.88-56.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างต้นข้าวของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (พระราชบัญญัติอาหาร, 2522) มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2554) ไม่มีการกำหนดค่าของสังกะสีไว้ ปริมาณสังกะสีในต้นข้าวแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 22



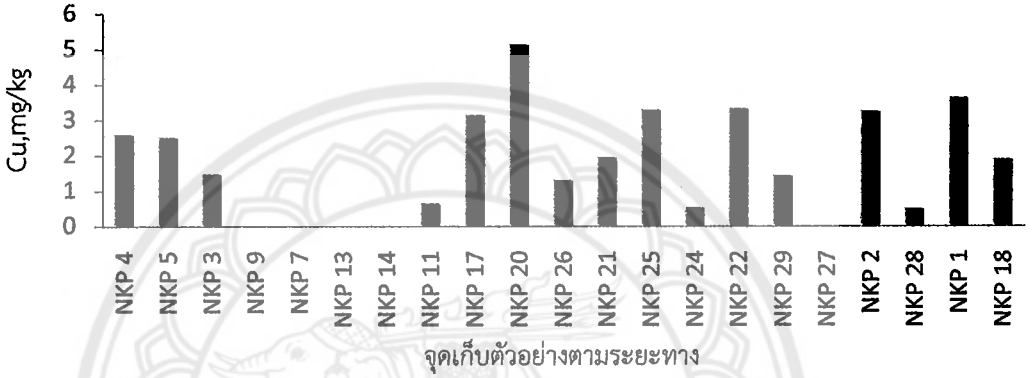
ภาพที่ 22 ปริมาณสังกะสีในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่ตรวจพบในต้นข้าว อยู่ในช่วง 10.15-11.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างต้นข้าวของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน ไม่มีการกำหนดค่าของแคดเมียมไว้ (พระราชบัญญัติอาหาร, 2522) ส่วนค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2554) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 23



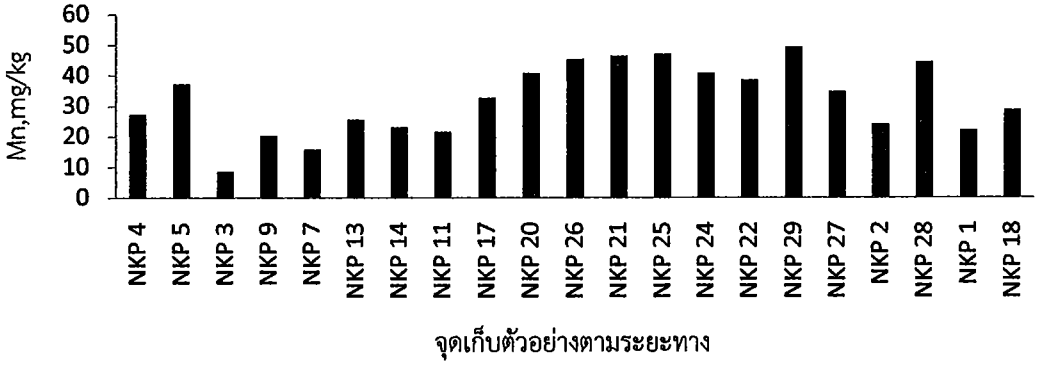
ภาพที่ 23 ปริมาณแคดเมียมในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณทองแดง (Cu) ที่ตรวจพบในต้นข้าว อยู่ในช่วง 0.31-5.12 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างต้นข้าวของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (พระราชบัญญัติอาหาร, 2522) ไม่มีค่าเกินมาตรฐาน ส่วนค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2554) ไม่มีการกำหนดค่าของทองแดงไว้ ปริมาณทองแดงในต้นข้าว แปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ปริมาณทองแดงในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่ตรวจพบในต้นข้าว อยู่ในช่วง 8.84-49.49 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในตัวอย่างต้นข้าวของพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน ที่กำหนดค่าไว้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (พระราชบัญญัติอาหาร, 2522) มีค่าเกินมาตรฐาน ทั้งหมด 21 จุด ส่วนค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2554) ไม่มีการกำหนดค่าของแมงกานีสไว้ ปริมาณแมงกานีสในต้นข้าวแปรผันตามระยะทางจากบ่อขยะ ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ปริมาณแมงกานีสในต้นข้าวที่จุดเก็บต่างๆ

4.6 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินโซนต่างๆ

ทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักของ Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของบริเวณทั้งสาม โดยเปรียบเทียบที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร และ 15 - 30 เซนติเมตร ดังตารางที่ 12 และตารางที่ 13 พบปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 0 - 15 เซนติเมตร และ 15 - 30 เซนติเมตร มีความแตกต่างกันทั้ง 3 Zone

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 0 - 15 เซนติเมตร แต่ละโซน

	ปริมาณโลหะหนักในดิน, mg/kg			
Zone	ทองแดง (Cu)	สังกะสี (Zn)	แคดเมียม (Cd)	แมงกานีส (Mn)
Zone-1	16.47^{ab}	68.62	10.84	28.90^{b}
Zone-2	18.47^{b}	70.22	n.a	13.99^{a}
Zone-Out Bound	12.65^{a}	62.19	0.84	24.01^{ab}

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 15 - 30 เซนติเมตร แต่ละโซน

	ปริมาณโลหะหนักในดิน, mg/kg			
Zone	ทองแดง (Cu)	สังกะสี (Zn)	แคดเมียม (Cd)	แมงกานีส (Mn)
Zone-1	18.53	68.25	10.58	34.54^{b}
Zone-2	19.32	74.25	n.a	20.69^{a}
Zone-Out Bound	15.13	64.91	11.15	31.85^{ab}

ปริมาณทองแดงในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่า 16.47, 18.47 และ12.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร มีค่า 18.53, 19.32 และ15.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ปริมาณทองแดงในดินทั้งสองระดับความลึกมีค่าต่ำสุดในดิน Zone-Out Bound และสูงสุดใน Zone-2 ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณทองแดงใน Zone-1 มีค่าสูงกว่า Zone 2 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณทองแดงใน Zone-2 มีค่าสูงกว่า Zone-Out Bound อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05

ปริมาณสังกะสีในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่า 68.62, 70.22 และ62.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร มีค่า 68.25, 74.25 และ64.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ปริมาณทองแดงในดินทั้งสองระดับความลึกมีค่าต่ำสุดในดิน Zone-Out Bound และสูงสุดใน Zone-2 ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณทองแดงในทั้ง 3 Zone ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05

ปริมาณแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่า 10.84, และ0.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร มีค่า 10.58 และ11.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ และตรวจไม่พบค่าใน Zone-2 ที่ทั้งสองระดับความลึก ปริมาณแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่าต่ำสุดใน Zone-2 และสูงสุดใน Zone-1 และที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร มีค่าต่ำสุดในดิน Zone-2 และสูงสุดใน Zone-Out Bound ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณแคดเมียมในทั้ง 3 Zone ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05

ปริมาณแมงกานีสในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร มีค่า 28.90, 13.99 และ24.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร มีค่า 34.54, 20.69 และ31.85 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ใน Zone-1, Zone-2 และ Zone-Out Bound ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีสในดินทั้งสองระดับความลึกมีค่าต่ำสุดใน Zone-2 และสูงสุดใน Zone-1 ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณแมงกานีสใน Zone-Out Bound มีค่าสูงกว่า Zone-2 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณแมงกานีสใน Zone-1 มีค่าสูงกว่า Zone-2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับคุณสมบัติต่างๆของดินและระยะทาง

นำปริมาณโลหะหนัก ค่าคุณสมบัติต่างๆของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และระยะทาง ของดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. มาหาความสัมพันธ์โดยหาจากค่าสหสัมพันธ์ Pearson's Correlation Analysis ได้ค่าแสดงดังตารางที่ 14 และตารางที่ 15

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในดินกับระยะทาง ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

	สังกะสี (Zn)	แคดเมียม (Cd)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)	โครเมียม (Cr)
ระดับความลึก 0-15 cm.	-0.168	-0.373*	-0.125	-0.238	-0.254
ระดับความลึก 15-30 cm.	0.065	-0.428*	-0.181	-0.504**	-0.249

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในดินกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ และ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

	สังกะสี (Zn)		แคดเมียม (Cd)		ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)		โครเมียม (Cr)	
	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.	0-15 cm.	15-30 cm.
pH	-0.354	-0.321	0.686**	-0.014	-0.371*	0.550**	0.404*	0.219	0.004	-0.108
% OM	0.610**	0.387*	-0.221	-0.317	0.686**	0.299	-0.333	-0.249	-0.065	0.048
CEC	0.111	0.396*	-0.166	-0.025	-0.084	0.000	0.057	-0.121	-0.294	-0.309

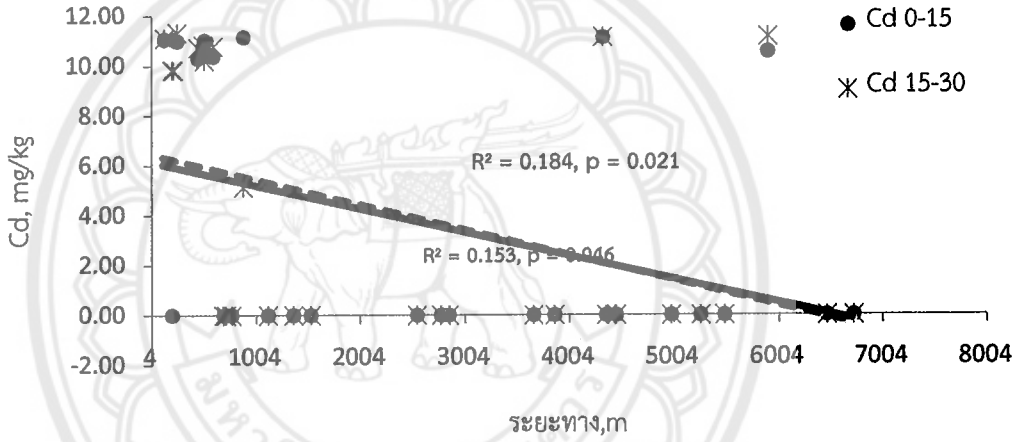
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), N = 29

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), N = 29

จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 พบว่าค่าที่มีความสัมพันธ์กันได้แก่ ปริมาณแคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) มีความสัมพันธ์กับระยะทาง และปริมาณ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง

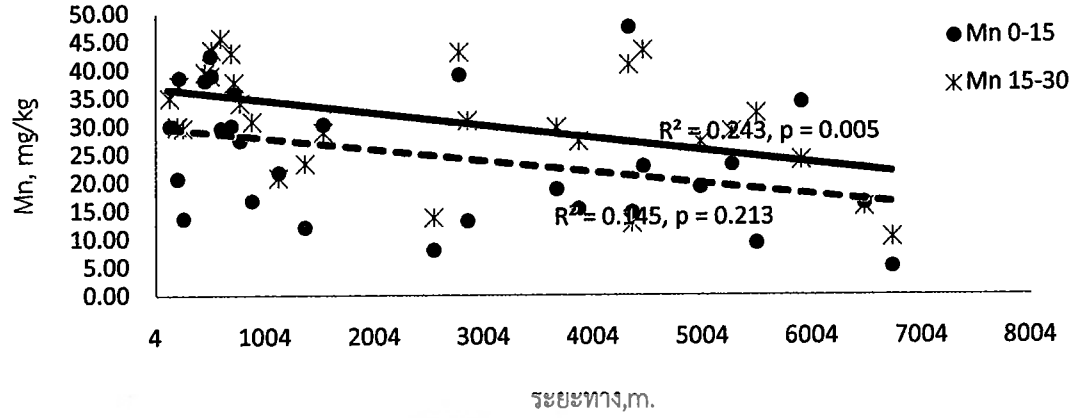
4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับระยะทาง

ปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นทิศทางตรงกันข้าม โดยมีค่าความสัมพันธ์ r = -0.373 และ r = -0.428 ตามลำดับ ที่ความเชื่อมั่น 95 % ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร กับระยะทาง

ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นทิศทางตรงกันข้าม โดยมีค่าความสัมพันธ์ r = -0.238 และ r = -0.504 ตามลำดับ ที่ความเชื่อมั่น 99 % ดังภาพที่ 27

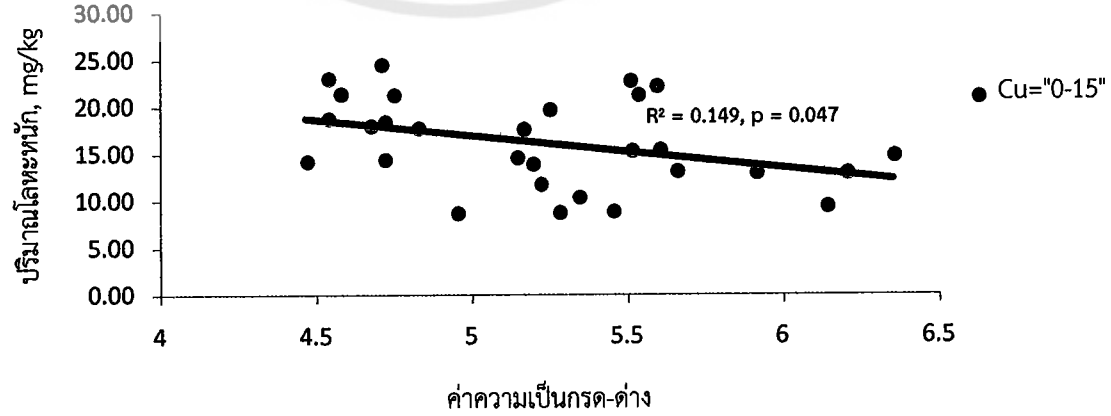


ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีส (Mn) ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร กับระยะทาง

4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับคุณสมบัติของดิน

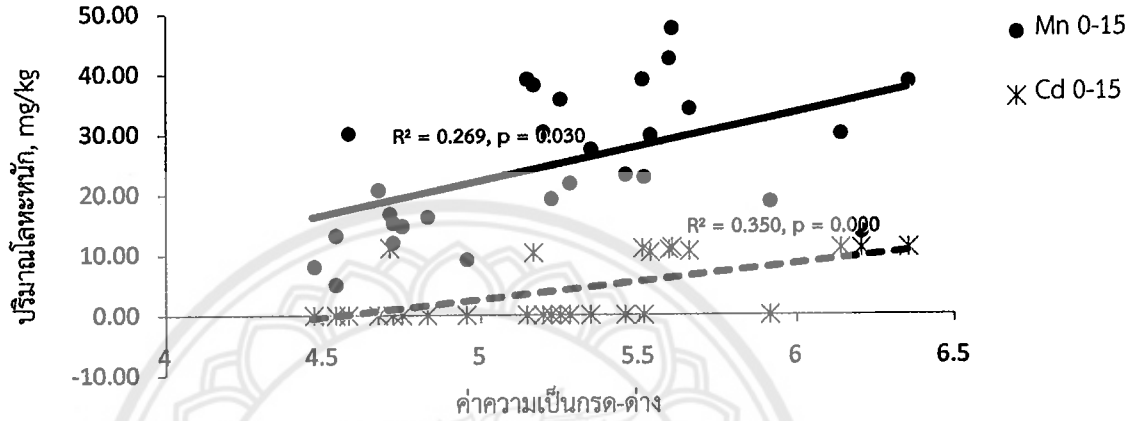
จากตารางที่ 14 และตารางที่ 15 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของดินที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโลหะหนักมีเพียงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่านั้น ซึ่งโลหะหนักที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn)

ปริมาณทองแดง (Cu) มีปริมาณลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มมากขึ้นเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยมีค่าความสัมพันธ์ r = -0.371 ที่ความเชื่อมั่น 95% ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทองแดง (Cu) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ปริมาณแมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มมากขึ้นเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าความสัมพันธ์ r = 0.404 และ r = 0.686 ตามลำดับ ที่ความเชื่อมั่น 95% และ 99% ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีส (Mn) และแคดเมียม (Cd) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลวิจัย

5.1.1 ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร มีปริมาณสังกะสี (Zn) อยู่ในช่วง 51.3-86.7 และ 51.5-87.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแคดเมียม (Cd) อยู่ในช่วง 10.3-11.2 และ 9.8-11.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณทองแดง อยู่ในช่วง 8.6-24.5 และ 7.7-24.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณแมงกานีส อยู่ในช่วง 8.1-47.5 และ 12.8-45.7 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณโครเมียม (Cr) ไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกจุด และปริมาณตะกั่ว (Pb) ยังไม่ได้ตรวจวัด ปริมาณโลหะหนักในดินที่ตรวจพบเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) พบว่า ไม่มีโลหะหนักตัวใดเกินค่ามาตรฐาน แต่เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม ประเทศเนเธอร์แลนด์ (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2547 และ Swaileh et.al, 2004) มีปริมาณแคดเมียมที่เกินค่ามาตรฐานที่ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งหมด 11 จุด

5.1.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำ ได้แก่ ทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 0.0-0.5 มิลลิกรัม/ลิตร สังกะสี (Zn) อยู่ในช่วง 0.2-0.4 มิลลิกรัม/ลิตร แคดเมียม (Cd) อยู่ในช่วง 0.2 mg/L และ แมงกานีส (Mn) อยู่ในช่วง 0.2-0.4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปริมาณโครเมียม (Cr) ไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกจุด และปริมาณตะกั่ว (Pb) ยังไม่ได้ตรวจวัด ปริมาณโลหะหนักในน้ำที่ตรวจพบเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) พบว่า มีปริมาณแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานที่ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งหมด 9 จุด และปริมาณทองแดงเกินค่ามาตรฐานที่ 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งหมด 4 จุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

5.1.3 ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าว ได้แก่ ทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 0.3-5.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สังกะสี (Zn) อยู่ในช่วง 34.9-56.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม (Cd) อยู่ในช่วง 10.2-11.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ แมงกานีส (Mn) อยู่ในช่วง 8.8-49.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยปริมาณโครเมียม (Cr) ไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกจุด และปริมาณ ตะกั่ว (Pb) ยังไม่ได้ตรวจวัด ปริมาณโลหะหนักในต้นข้าวที่ตรวจพบเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน (พระราชบัญญัติอาหาร, 2522) พบว่ามีปริมาณแมงกานีสที่เกินค่ามาตรฐานที่ 1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งหมด 21 จุด และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 2554) พบว่ามีปริมาณแคดเมียมที่เกินค่ามาตรฐานที่ 3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทั้งหมด 15 จุด

5.1.4 ปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ของ Zone 1 มีปริมาณโลหะหนักทุกตัวมากกว่า Zone-2 และ Zone-Out Bound ส่วน Zone-Out Bound มีปริมาณโลหะหนักน้อยกว่า Zone-1 และ Zone-2 ยกเว้นปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่มีค่าสูง และพบว่ามีปริมาณทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) ที่มีความแตกต่างระหว่างทั้ง 3 Zone อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.5 ปริมาณโลหะหนักในดินที่ความลึก 15-30 เซนติเมตร ของ Zone-2 มีปริมาณโลหะหนักมากกว่า Zone-1 และ Zone-Out Bound ยกเว้นปริมาณแคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) ส่วน Zone-Out Bound มีปริมาณโลหะหนักน้อยกว่า Zone-1 และ Zone-2 ยกเว้นปริมาณแคดเมียม (Cd) และปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่มีค่าสูง และพบว่ามีปริมาณแมงกานีส (Mn) ที่มีความแตกต่างระหว่างทั้ง 3 Zone อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.6 ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในพื้นที่นอกขอบเขตแม้จะมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโลหะหนักในพื้นที่ศึกษา อธิบายได้ว่า การปนเปื้อนโลหะหนักอาจมีแหล่งการปนเปื้อนอื่น เช่น การใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ การใช้แหล่งน้ำจากแหล่งต่างๆ สถานการณ์น้ำท่วมในฤดูฝน

5.1.7 ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์กับระยะทาง ได้แก่ ปริมาณแมงกานีส (Mn) และปริมาณแคดเมียม (Cd) ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร โดยพบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นปริมาณโลหะหนักเหล่านี้จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการแพร่กระจายโลหะหนักรอบบ่อฝังกลบขยะ กรณีศึกษาพื้นที่บ่อฝังกลบขยะชุมชนบ้านคำบอน จ.ขอนแก่นโดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินภายในรัศมี 2 กิโลเมตรจากบ่อฝังกลบขยะพบปริมาณโลหะหนักสะสมที่ความลึก 90 เซนติเมตรจากผิวดิน (Chuangcham et al., 2008) และการศึกษาการแพร่กระจายของพื้นที่รอบบ่อฝังกลบขยะ ในประเทศมาเลเซีย ตามปัจจัยคือระยะทางและความลึกรอบบริเวณที่ฝังกลบ พบว่ามีปริมาณโลหะหนักมากเช่นกัน (ZainiSakawi et al., 2013) ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าบ่อขยะเป็นแหล่งที่มีการแพร่กระจายโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมโดยสัมพันธ์กับระยะทางและความสูงของพื้นที่ โดยตัวอย่างที่เก็บในระยะทางที่ใกล้กับบ่อฝังกลบขยะจะมีการตรวจพบปริมาณโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง แต่เมื่อระยะทางไกลออกไปจากบ่อปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ก็จะมีความเข้มข้นลดลง

5.1.8 ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์ในทิศตรงข้าม คือ เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้นปริมาณโลหะหนักเหล่านี้จะลดลง ซึ่งมีสาเหตุมาจาก คุณสมบัติเฉพาะตัวของโลหะหนักทั้งสองนี้ กล่าวคือ Cu ที่เป็นโลหะหนักจะอยู่ในรูปของ Cu^{2+} ในช่วงที่ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 6 แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น Cu ก็จะเปลี่ยนรูปจาก Cu^{2+} จะลดประจุบวกลงทำให้ไปอยู่ในรูปของ Cu ในรูปอื่น เช่น CuS, Cu_2S เป็นต้น ส่วน Zn ก็เช่นเดียวกับ Cu คือประจุบวกจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น

5.1.9 ปริมาณโลหะหนักในดินมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) กับค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้นปริมาณโลหะหนักเหล่านี้ก็จะสูงตามไปด้วย สาเหตุมาจากลักษณะคล้ายกับ Cu และ Zn แต่มีค่าการละลายที่สูงกว่า ในดินระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง 4-6 แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้นจะมีการ

สะสม Mn และ Cd มากขึ้น เนื่องมาจากองค์ประกอบในส่วนที่เป็นประจุไม่ถาวรเกิดการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยทำให้มีประจุลบมากขึ้นในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง (Misra, 2012)

5.1.10 มีความเสี่ยงของการเกิดผลกระทบที่ควรมีการเฝ้าระวังในตัวอย่างน้ำและต้นข้าว เนื่องจากในตัวอย่างน้ำและต้นข้าวมีปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดเกินค่ามาตรฐานอยู่มาก ทั้งนี้ค่ามาตรฐานของแต่ละตัวอย่างคือ ตัวอย่างดิน ตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างพืช มีเกณฑ์ในการกำหนดที่แตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. สรุปจากข้อ 5.1.6 ทำการศึกษาในตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำให้ครอบคลุมจำนวนและระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง รวมทั้งส่วนต่างๆ ของพืชมากยิ่งขึ้น จึงควรขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมปัจจัยมากยิ่งขึ้น
2. ควรศึกษาข้อมูลปัจจัยสภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่ทำการศึกษาให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น
3. ควรเพิ่มปัจจัยทางด้านทิศทางการไหลของน้ำเป็นตัวแปรที่ใช้กำหนด เพื่อเป็นข้อมูลอธิบายการแพร่กระจายโลหะหนักในดิน

บรรรณานุกรม

กระทรวงสาธารณสุข.(2554). **พระราชบัญญัติอาหาร พร้อมกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับปรับปรุง ปี 2554).** สำนักอาหาร สำนักคณะกรรมการอาหารและยา.

กระทรวงสาธารณสุข. (2554).**ค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก.**สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2557.จาก www.ifrpd.ku.ac.th

กรมควบคุมมลพิษ. (2547).**กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน.** ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547).

กรมควบคุมมลพิษ. (2537).**กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน.**ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535

กรมทรัพยากรธรณี. (2550).**แร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

จิระฉัตร ศรีแสน. (2555). ผลกระทบของโครเมียมและสารประกอบโครเมียมต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม.วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการปีที่ 60 ฉบับที่ 189. หน้า 10-12

จำลอง ปินตาวงศ์, อานนท์นนทโส และสถาพร กาวิเนตร. (2554). **แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรแร่แมงกานีสปีงบประมาณพ.ศ. 2554.** กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ตุลญา มะสีพันธ์,ดร.ศรีเลิศโชติพันธรัตน์. (2014). การประเมินการปนเปื้อนของท**องแดงและตะกั่ว**ผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลหัวเรือจังหวัดอุบ**ลราชธานีโดย**ใช้แบบจำลอง Hydrus-5D.หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**คณะบัณฑิต**วิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทับทิม สวรรค์วงศ์ และ ปิยะดา วชิระวงศกร.(2555). **การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและหอมแดงในพื้นที่ปลูกหอมแดง ตำบลบ้านตึกอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย.** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

ปิยวรรณ นาคินชาติ.(2549). การแพร่กระจายของแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในตะกอนทะเลสาบสงขลา.วิทยานิพนธ์ (วท.ม.การจัดการสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปิยชาติ ศิลปะสุวรรณ. (2557). **ขยะมูลฝอยชุมชนปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ.** สำนักวิชาการสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.

ปราโมทย์ ศรีสุวรรณและรินทวัฒน์ สมบัติศิริ.**ตะกั่วและพิษของตะกั่ว.**กลุ่มวิเทศสัมพันธ์สิ่งแวดล้อม สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมและ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปน. (2014). **แคดเมียม.** ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร.

เหมืองแม่เมาะ.(2543). **สิ่งแวดล้อมกับการทำเหมืองแม่เมาะ.**สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2557, จาก http://maemohmine.egat.co.th

ศูนย์ประสานงานการพัฒนาระบบและกลไก การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพ. (2556). **พื้นที่ปนเปื้อนสารพิษในประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2557, จาก http://www.greenworld.or.th

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. (2548). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ.** กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

สุจิตราชูเกิด, ทิพย์ทิวาสัมพันธมิตรและวิชุดาเกตุใหม่. (2554). **การตกค้างของสารเคมีจากการทำนา.** มหาวิทยาลัยพะเยา

Alina Kabata-Pendias. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. 2nd ed. the United States of America. International Standard book.

Chuangcham et al. (2008).Assessment of Heavy Metals form Landfill **Leachate Contaminated to Soil : A Case Study of Kham Bon Landfill, KhonKaen Province, NE Thailand.** ChulalongkornUniversity,Bangkok. Werner Stumm and James J. Morgan.(1996). AQUATIC CHEMISTRY.the United States of America.

ZainiSakawi et al. (2013). **The Analysis of Heavy Metal Concentration per Distance and Depth around the Vicinityof Open Landfill.**Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology., University Kebangsaan, Malaysia.

ภาคผนวก ก.
ผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 ผลปฏิบัติการอินทรียวัตถุในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm.

Point	ระยะทาง (m.)	0-15 cm. ซ้ำ 1	0-15 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย	15-30 cm. ซ้ำ 1	15-30 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย
NK 4	128	2.35	3.99	3.17	1.06	1.54	1.30
NK 6	200	1.58	2.58	2.08	3.20	3.70	3.45
NK 5	213	1.37	2.21	1.79	1.44	1.94	1.69
NK 3	250	2.54	3.38	2.96	1.00	1.48	1.24
NK 9	450	4.38	3.92	4.15	2.06	2.54	2.30
NK 8	498	3.30	3.80	3.55	1.76	2.26	2.01
NK 10	509	3.62	4.12	3.86	1.64	2.14	1.89
NK 7	593	4.00	4.50	4.25	2.60	3.08	2.84
NK 13	698	3.04	3.52	3.28	2.83	2.85	2.84
NK 12	715	4.54	5.02	4.78	2.26	2.76	2.51
NK 14	770	4.54	5.04	4.79	1.64	2.14	1.89
NK 11	880	2.70	3.20	2.95	2.76	3.24	3.00
NK 17	1,119	2.82	3.32	3.07	1.26	1.74	1.50
NK 16	1,530	5.56	6.06	5.81	1.66	1.74	1.65
NK 20	2,541	2.54	3.02	2.78	2.70	2.20	2.45
NK 19	2,773	2.75	3.15	2.95	0.96	1.44	1.20
NK 23	2,848	2.42	2.90	2.66	2.32	2.80	2.56
NK 26	3,863	2.78	3.28	3.03	2.50	2.98	2.74
NK 21	4,355	2.70	3.18	2.94	2.22	2.96	2.72
NK 25	4,977	1.62	2.10	1.86	1.88	2.36	2.12
NK 24	6,469	4.06	4.56	4.31	3.84	4.32	4.08
NK 22	6,725	3.82	4.30	4.06	2.18	2.92	2.67
NK 29	1,362	5.12	5.60	5.36	2.64	3.14	2.89
NK 27	3,660	2.30	2.80	2.55	1.60	2.08	1.84
NK 2	4,320	3.86	4.34	4.10	1.02	1.52	1.27
NK 28	4,452	5.78	6.26	6.02	2.48	2.98	2.73
NK 1	5,009	5.60	6.10	5.85	1.22	1.72	1.47
NK 15	5,262	2.86	3.34	3.10	2.10	2.58	2.34
NK 18	5,490	4.06	4.56	4.31	1.30	1.78	1.54

ตารางที่ 2 ผลปฏิบัติการค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินที่ระดับความลึก0-15 cm. และ 15-30 cm. (cmol/kg)

Point	ระยะทาง (m.)	0-15 cm. ซ้ำ 1	0-15 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย	15-30 cm. ซ้ำ 1	15-30 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย
NK 4	128	0.50	1.00	0.75	0.64	1.12	0.88
NK 6	200	0.88	1.38	1.13	1.38	0.88	1.13
NK 5	213	1.00	0.50	0.75	0.76	1.24	1
NK 3	250	0.50	1.00	0.75	0.50	1.00	0.75
NK 9	450	0.76	1.24	1	0.76	1.24	1
NK 8	498	0.64	1.12	0.88	1.24	0.76	1
NK 10	509	-	-	-	-	-	-
NK 7	593	-	-	-	-	-	-
NK 13	698	1.24	0.76	1	1.12	0.64	0.88
NK 12	715	1.12	0.64	0.88	0.88	1.38	1.13
NK 14	770	-	-	-	-	-	-
NK 11	880	-	-	-	-	-	-
NK 17	1,119	0.38	0.88	0.63	0.26	0.74	0.5
NK 16	1,530	0.76	1.24	1	1.24	0.76	1
NK 20	2,541	1.12	0.64	0.88	0.64	1.12	0.88
NK 19	2,773	0.50	1.00	0.75	0.76	1.24	1
NK 23	2,848	0.76	1.24	1	0.64	1.12	0.88
NK 26	3,863	1.24	0.76	1	1.12	0.64	0.88
NK 21	4,355	0.64	1.12	0.88	1.24	0.76	1
NK 25	4,977	0.88	0.38	0.63	0.38	0.88	0.63
NK 24	6,469	1.12	0.64	0.88	0.76	1.24	1
NK 22	6,725	0.88	1.38	1.13	1.24	0.76	1
NK 29	1,362	1.24	0.76	1	0.88	0.38	0.63
NK 27	3,660	0.88	0.38	0.63	1.00	0.50	0.75
NK 2	4,320	1.38	0.88	1.13	0.76	1.24	1
NK 28	4,452	0.50	1.00	0.75	1.12	0.64	0.88
NK 1	5,009	1.00	0.50	0.75	0.50	1.00	0.75
NK 15	5,262	0.50	1.00	0.75	1.00	0.50	0.75
NK 18	5,490	0.64	1.12	0.88	0.38	0.88	0.63

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรดด่างของดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm.

Point	ระยะทาง (m.)	0-15 cm. ซ้ำ 1	0-15 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย	15-30 cm. ซ้ำ 1	15-30 cm. ซ้ำ 2	ค่าเฉลี่ย
NK 4	128	6.16	6.12	6.14	5.88	6.06	5.97
NK 6	200	4.72	4.63	4.66	4.4	4.48	4.44
NK 5	213	6.21	6.5	6.36	5.72	5.59	5.66
NK 3	250	6.2	6.21	6.21	5.48	5.34	5.41
NK 9	450	5.16	5.17	5.17	5.81	5.98	5.90
NK 8	498	5.58	5.61	5.60	5.77	6.34	6.06
NK 10	509	4.83	4.85	4.84	5.18	5.22	5.2
NK 7	593	5.23	6.28	6.26	5.96	6.19	6.08
NK 13	698	4.56	4.6	4.58	5.23	5.45	5.34
NK 12	715	5.22	5.28	5.25	4.88	4.97	4.93
NK 14	770	5.48	5.39	5.44	4.91	4.91	4.91
NK 11	880	5.56	5.68	5.62	5.51	5.51	5.51
NK 17	1,119	5.35	5.21	5.28	6.07	6.31	6.19
NK 16	1,530	5.24	5.15	5.20	5.86	5.85	5.86
NK 20	2,541	4.25	4.42	4.47	4.91	4.99	4.95
NK 19	2,773	5.19	5.1	5.15	5.7	5.72	5.71
NK 23	2,848	4.56	4.53	4.54	4.99	4.93	4.96
NK 26	3,863	4.7	4.74	4.72	5.47	5.77	5.76
NK 21	4,355	4.83	4.67	4.75	5.56	5.57	5.67
NK 25	4,977	5.2	5.24	5.22	5.47	5.44	5.46
NK 24	6,469	4.88	4.78	4.83	4.78	4.89	4.84
NK 22	6,725	4.55	4.53	4.54	4.97	4.98	4.98
NK 29	1,362	4.8	4.64	4.72	5.29	5.28	5.29
NK 27	3,660	5.89	5.94	5.92	6.68	6.7	6.69
NK 2	4,320	5.24	5.28	5.26	5..95	6.14	6.05
NK 28	4,452	5.55	5.48	5.52	6.09	6.15	6.12
NK 1	5,009	5.19	4.88	5.04	4.88	4.85	4.87
NK 15	5,262	4.71	4.71	4.71	5.22	5.14	5.18
NK 18	5,490	5.37	5.43	5.4	5.94	6.08	6.01

ตารางที่ 4 ผลปฏิบัติการปริมาณโลหะหนักที่พบในน้ำที่จุดเก็บต่างๆ (mg/L)

Point	ระยะทาง	สังกะสี (Zn)		แคดเมียม (Cd)		ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)	
	(m.)	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
MT 1	-	0.31	0.32	0.20	0.21	0.08	0.01	-	-
MT 2	-	0.21	0.21	0.21	0.22	-	-	-	-
MT 3	-	0.20	0.19	0.21	0.21	0.11	0.06	-	-
MT 4	-	0.19	0.23	0.22	0.22	-	-	-	-
คูคลอง	-	0.32	0.27	-	-	-	0.01	-	-
NK 4	128	0.29	0.29	-	-	0.08	0.08	-	-
NK 6	200	0.30	0.34	-	-	0.01	-	0.03	0.02
NK 8	498	0.47	0.31	-	0.20	0.03	0.90	0.06	0.05
NK 7	593	0.35	0.36	-	0.21	0.17	0.20	-	-
NK 12	715	0.20	0.20	0.20	-	0.00	0.07	-	-
NK 14	770	0.24	0.24	-	-	0.18	0.05	-	-
NK 17	1,119	0.24	0.27	0.21	0.21	-	-	-	-
NK 20	2,541	0.29	0.32	0.21	0.21	0.06	0.08	-	-
NK 25	4,977	0.30	0.30	-	-	0.09	-	0.00	0.00
NK 24	6,469	0.28	0.32	-	-	0.05	-	-	-
NK 22	6,725	0.33	0.29	-	-	-	0.17	-	-
NK 29	1,362	0.29	0.06	-	-	-	-	0.04	-
NK 2	4,320	0.30	0.31	-	-	-	-	-	-
NK 28	4,452	0.31	0.31	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5 ผลปฏิบัติการปริมาณโลหะหนักที่พบในพืชที่จุดเก็บต่างๆ (mg/kg)

Point	ระยะทาง (m.)	สังกะสี (Zn)		แคดเมียม (Cd)		ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)	
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
NK 4	128	53.88	58.34	11.18	10.99	2.72	2.41	27.95	27.16
NK 5	213	48.53	51.27	11.05	11.26	2.76	2.22	38.38	36.50
NK 3	250	46.87	49.71	9.86	11.04	1.58	1.35	9.23	8.44
NK 9	450	53.09	55.58	10.69	10.09	-	-	21.17	19.52
NK 7	593	38.92	42.18	10.55	11.29	-	-	16.011	15.83
NK 13	698	52.56	51.43	-	-	-	-	24.77	26.74
NK 14	770	50.98	47.75	-	-	-	-	23.26	23.27
NK 11	880	42.74	45.820	-	-	0.91	0.36	22.06	21.48
NK 17	1,119	48.87	46.24	10.08	10.22	1.54	4.72	33.74	31.82
NK 20	2,541	40.46	41.32	11.034	10.86	1.79	8.46	23.80	23.36
NK 26	3,863	45.76	45.25	10.98	10.70	1.61	0.98	31.70	29.19
NK 21	4,355	48.17	44.87	10.65	10.60	1.98	1.91	14.76	14.80
NK 25	4,977	46.01	48.41	11.15	11.18	3.71	2.85	50.55	48.71
NK 24	6,469	42.77	39.30	10.76	11.23	0.79	0.24	16.32	14.75
NK 22	6,725	39.96	37.39	10.48	10.66	3.63	3.00	16.56	16.16
NK 29	1,362	44.79	54.20	-	-	1.30	1.55	20.38	24.23
NK 27	3,660	35.81	33.95	10.21	9.99	-	-	18.28	15.89
NK 2	4,320	51.36	46.66	10.17	9.75	2.8301	3.6501	24.00	24.40
NK 28	4,452	46.30	42.84	-	-	0.4830		18.86	17.96
NK 1	5,009	47.06	48.44	-	-	3.2636	3.978	22.20	22.34
NK 18	5,490	50.44	48.03	10.35	10.40	1.7232	2.0327	29.78	27.75

ตารางที่ 6 ปริมาณสังกะสีในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. (mg/kg)

point	0-15 cm.		15-30 cm.	
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
NK 4	54.99	55.24	59.97	58.18
NK 6	72.24	73.05	78.50	82.18
NK 5	56.43	59.23	60.08	59.06
NK 3	60.28	64.43	61.70	63.15
NK 9	85.26	76.54	71.55	71.34
NK 8	86.04	87.35	86.50	83.20
NK 10	67.67	70.73	72.17	70.02
NK 7	83.50	81.49	24.90	80.95
NK 13	80.58	82.31	83.16	81.30
NK 12	75.18	75.51	76.34	82.87
NK 14	57.68	53.91	58.99	56.01
NK 11	75.33	76.89	79.25	80.54
NK 17	48.02	54.73	52.60	53.55
NK 16	62.35	63.40	64.39	67.38
NK 20	58.87	60.01	63.09	63.11
NK 19	70.18	66.63	70.66	67.32
NK 23	77.74	78.13	81.93	80.09
NK 26	69.92	66.86	65.93	70.56
NK 21	70.76	71.65	78.61	83.38
NK 25	55.44	51.06	55.59	52.20
NK 24	73.92	66.36	73.14	74.63
NK 22	80.56	80.36	85.80	89.12
NK 29	71.56	66.14	60.15	60.95
NK 27	56.22	60.78	55.32	87.46
NK 2	68.37	68.29	68.64	76.61
NK 28	73.13	71.66	68.67	75.26
NK 1	57.20	63.63	63.21	64.74
NK 15	51.80	50.84	48.91	54.09
NK 18	56.84	54.20	60.74	64.03

ตารางที่ 7 ปริมาณแคดเมียมในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. (mg/kg)

point	0-15 cm		15-30 cm.	
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
NK 4	10.97	11.17	10.69	11.54
NK 6	0	0	9.348	10.30
NK 5	11.12	11.015	10.42	9.22
NK 3	10.71	11.27	11.26	11.40
NK 9	10.71	9.89	10.33	11.12
NK 8	10.69	10.87	11.07	10.59
NK 10	10.92	11.11	10.22	10.21
NK 7	10.47	10.29	11.00	10.54
NK 13	0	0	0	0
NK 12	0	0	0	0
NK 14	0	0	0	0
NK 11	11.24	11.05	10.26	0
NK 17	0	0	0	0
NK 16	0	0	0	0
NK 20	0	0	0	0
NK 19	0	0	0	0
NK 23	0	0	0	0
NK 26	0	0	0	0
NK 21	0	0	0	0
NK 25	0	0	0	0
NK 24	0	0	0	0
NK 22	0	0	0	0
NK 29	0	0	0	0
NK 27	0	0	0	0
NK 2	10.97	11.30	10.70	11.60
NK 28	0	0	0	0
NK 1	9.74	11.36	11.35	10.96
NK 15	0	0	0	0
NK 18	0	0	0	0

ตารางที่ 8 ปริมาณทองแดงในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. (mg/kg)

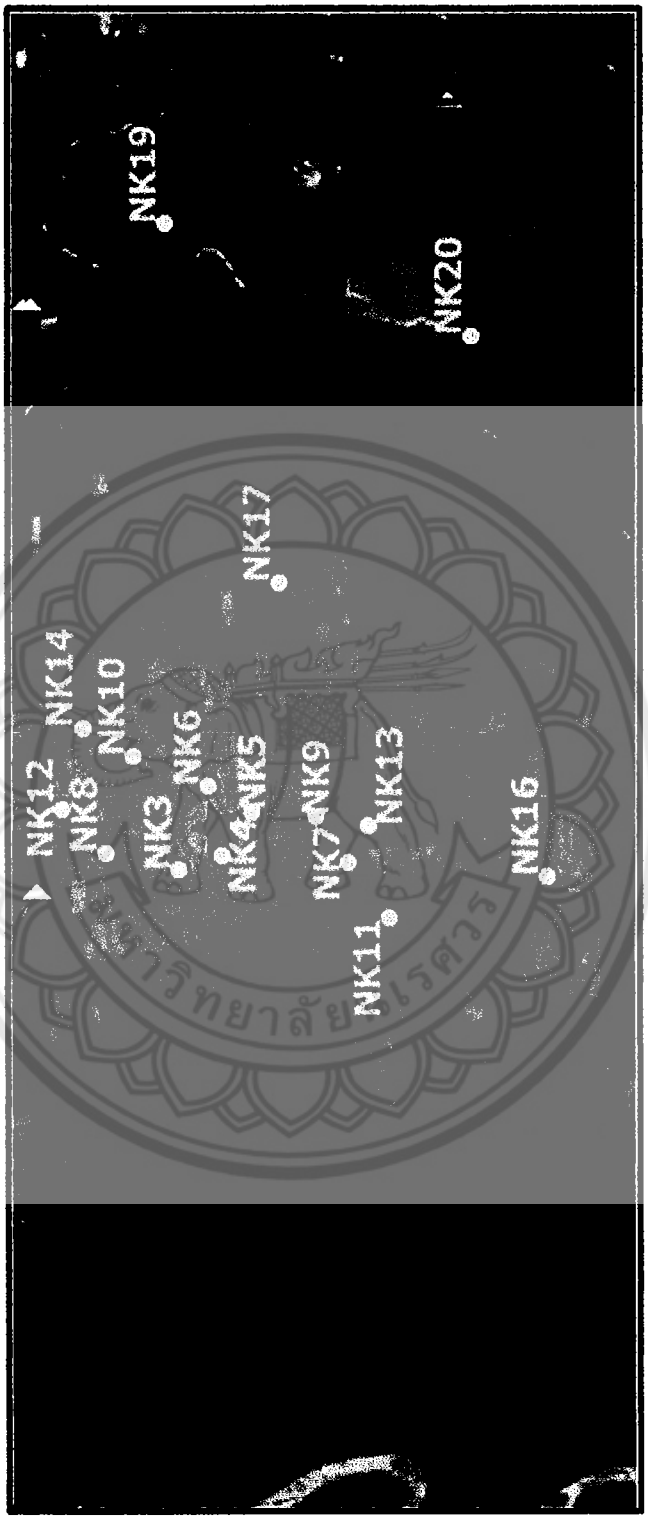
point	0-15 cm.		15-30 cm.	
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
NK 4	8.46	10.26	13.74	13.71
NK 6	16.72	19.21	19.37	22.87
NK 5	14.70	14.73	15.07	15.80
NK 3	12.79	13.02	36.70	11.88
NK 9	17.07	18.09	18.97	19.10
NK 8	22.83	21.41	26.88	21.11
NK 10	26.60	18.83	17.65	22.22
NK 7	20.99	21.43	23.44	22.05
NK 13	18.61	24.07	21.09	19.77
NK 12	17.33	22.02	17.55	27.44
NK 14	10.44	10.30	12.24	12.38
NK 11	23.87	25.12	22.96	26.32
NK 17	8.22	9.22	7.87	7.51
NK 16	14.19	13.54	15.45	15.42
NK 20	14.04	14.30	16.09	16.55
NK 19	14.55	14.54	16.71	17.07
NK 23	18.14	19.39	21.37	20.92
NK 26	18.44	18.40	17.26	17.58
NK 21	22.71	19.81	20.54	21.24
NK 25	11.35	12.10	15.53	14.36
NK 24	14.87	20.50	16.45	22.35
NK 22	23.45	22.52	22.02	22.16
NK 29	14.36	14.34	14.04	14.96
NK 27	12.57	13.28	13.43	14.09
NK 2	15.65	15.20	15.24	17.79
NK 28	15.22	15.30	16.06	16.75
NK 1	12.80	13.35	24.234	23.20
NK 15	10.10	7.64	10.85	8.56
NK 18	9.23	8.05	10.87	11.72

ตารางที่ 9 ปริมาณแมงกานีสในดินที่ระดับความลึก 0-15 cm. และ 15-30 cm. (mg/kg)

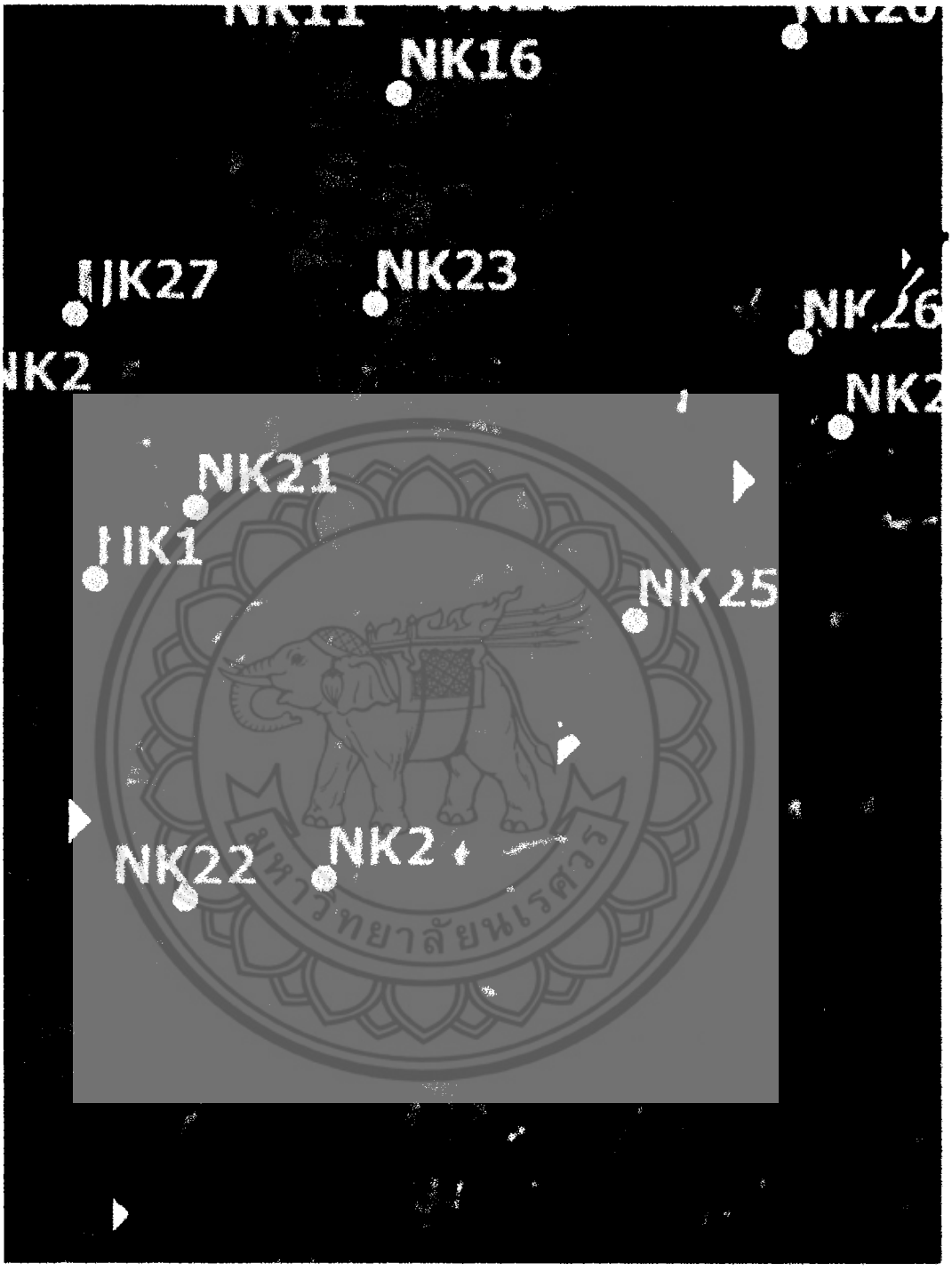
point	0-15 cm.		15-30 cm.	
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
NK 4	28.53	31.56	36.99	33.14
NK 6	21.37	20.18	30.74	29.37
NK 5	35.36	41.97	37.44	37.14
NK 3	12.73	14.64	29.70	29.76
NK 9	39.70	36.62	40.68	38.57
NK 8	41.40	43.68	39.89	38.22
NK 10	39.26	38.77	44.58	42.61
NK 7	30.71	28.78	47.72	43.63
NK 13	30.24	30.17	44.17	41.88
NK 12	35.52	36.08	36.84	38.82
NK 14	27.79	27.22	33.67	34.55
NK 11	16.78	16.96	31.82	29.94
NK 17	18.51	25.23	17.91	23.85
NK 16	31.38	29.27	28.21	29.69
NK 20	8.31	7.79	14.39	13.20
NK 19	39.58	38.67	42.36	43.92
NK 23	12.95	13.52	30.93	31.04
NK 26	15.51	15.09	26.91	27.653
NK 21	15.55	13.99	12.82	12.72
NK 25	18.65	19.79	28.21	26.16
NK 24	16.97	15.71	15.98	15.35
NK 22	5.13	5.05	10.39	10.13
NK 29	12.38	11.79	22.30	24.46
NK 27	18.82	18.83	28.71	30.89
NK 2	47.96	47.10	40.18	41.67
NK 28	23.63	22.12	42.98	43.94
NK 1	34.01	34.50	23.85	24.14
NK 15	32.50	13.96	27.64	30.49
NK 18	9.73	8.79	31.44	33.17

ภาคผนวก ข.

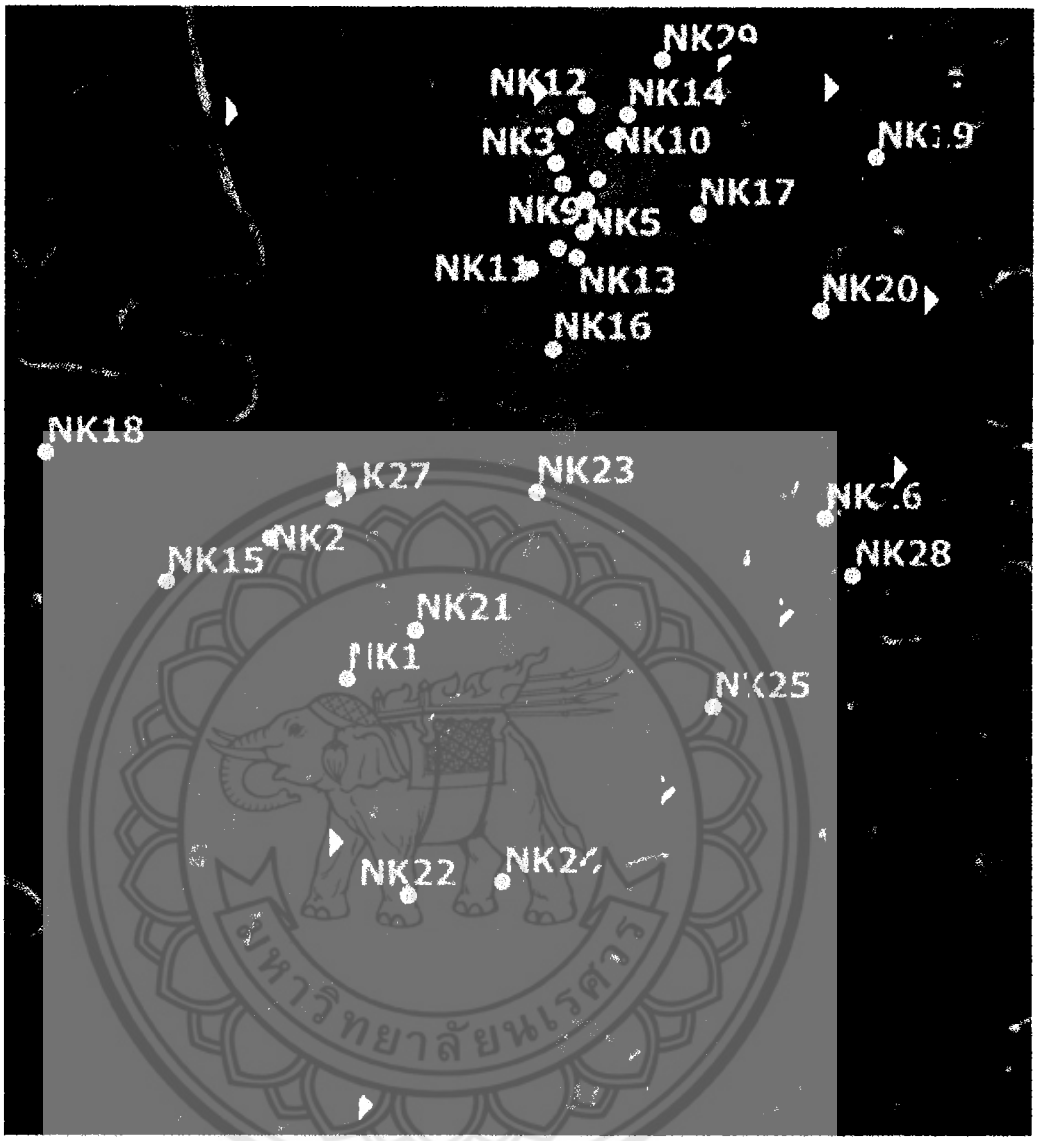
ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone-1



ภาพที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone-



ภาพที่ 3 จุดเก็บตัวอย่างภายใน Zone-Outs Bound

ตารางที่ 10ตำแหน่งพิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

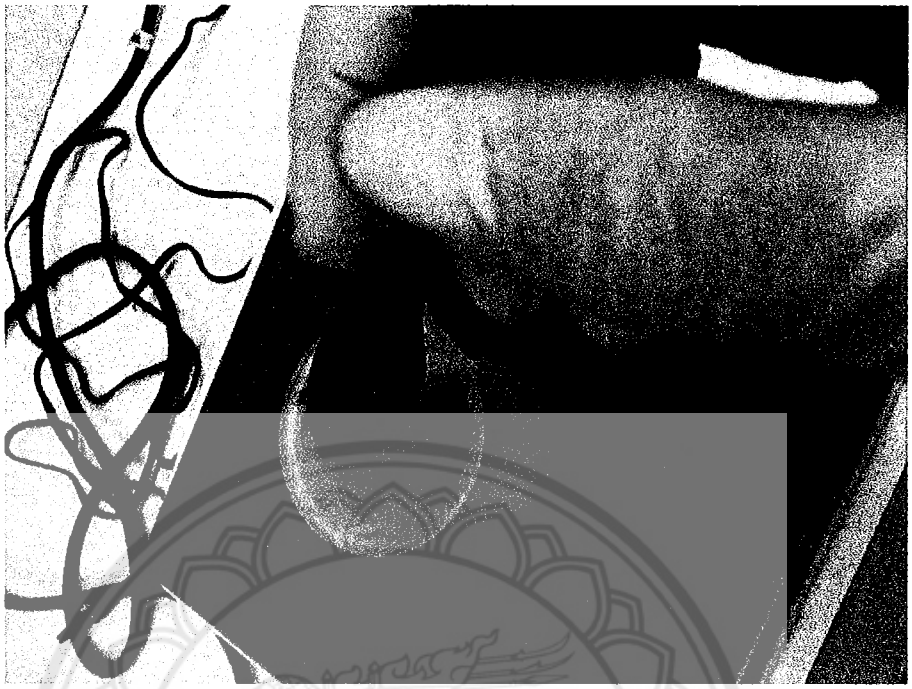
รหัส	โซน 47Q	UTM
NK4	638626	1844729
NK6	638933	1844783
NK5	638825	1844591
NK3	638560	1844911
NK9	638803	1844310
NK8	638635	1845237
NK10	639061	1845118
NK7	638355	1844167
NK13	638762	1844082
NK12	638829	1845430
NK14	639184	1845347
NK11	638355	1843988
NK17	639826	1844482
NK16	638546	1843293
NK20	640918	1843643
NK19	641401	1844994
NK23	638415	1842037
NK26	640975	1841828
NK21	637346	1840824
NK25	639998	1840167
NK24	638148	1838619
NK22	637300	1838502
NK29	639482	1845826
NK27	636615	1841967
NK2	636052	1841610
NK28	641235	1841330
NK1	636747	1840389
NK15	635136	1841216
NK18	634063	1842346

ภาคผนวก ค.

ภาพการเก็บตัวอย่างและการปฏิบัติการ

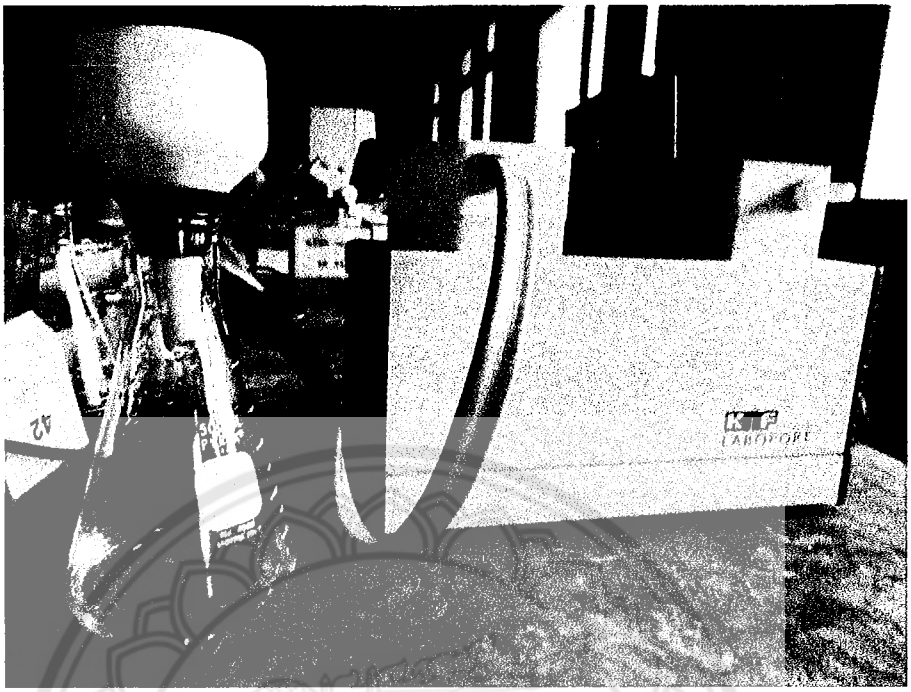
ภาพที่4การเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม

ภาพที่5 การเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม



ภาพที่ 6 ขั้นตอนปฏิบัติการหาค่ากรดด่าง

ภาพที่ 7 ขั้นตอนปฏิบัติการหาค่ากรดด่าง



ภาพที่ 8 ขั้นตอนปฏิบัติการหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ภาพที่ 9 ขั้นตอนปฏิบัติการหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ภาพที่ 10 ขั้นตอนปฏิบัติการหาอินทรียวัตถุในดิน

ภาพที่ 11 ขั้นตอนปฏิบัติการหาอินทรียวัตถุในดิน

ภาพที่ 12 ขั้นตอนปฏิบัติการหาโลหะหนัก

ภาพที่ 13 ขั้นตอนปฏิบัติการหาโลหะหนักในดิน

ภาคผนวก ง.

การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การวัด pH ของดิน
โดยวิธีpHmeter

อุปกรณ์

1.pH meter
2.beakerขนาด 100 มิลลิลิตร
3.แท่งแก้ว

สารเคมี

1.Buffersolution,pH 7,4 และ 10
2.$CaCl_2$, 0.01*M*

วิธีการ

1.วิธีการวัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำค่า 1:1ชั่งตัวอย่างดินที่บดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 20 g. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที (ระหว่างนั้นควรคนเป็นครั้งคราว) ก่อนวัด pH ต้องปรับเครื่อง pH meter ด้วยบัฟเฟอร์ pH 7,4และ 10 แล้วจึงดำเนินการวัด pH ของตัวอย่างต่อไป

2.วิธีการวัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำค่า1:2.5ชั่งตัวอย่างดินที่บดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรแล้วดำเนินตามขั้นตอนในข้อหนึ่งต่อไป

3.วิธีการวัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อ 0.01 M $CaCl_2$ เท่ากับ1:2 ชั่งตัวอย่างดินที่บดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตรเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จำนวน มิลลิลิตรใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วดำเนินตามขั้นตอนในข้อหนึ่งต่อไป

การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน
โดยวิธี Wet oxidation

อุปกรณ์

1.เครื่องชั่ง (analytical balance)

2.Erlenmeyerv flask ขนาด 250 ml.

3.Volumetric pipet ขนาด 5 และ 20 ml.

4.Cylinderขนาด 100 ml.

5.Buretขนาด 50 ml.

6. Volumetric flask ขนาด 100 และ 1,000 ml.

สารเคมี

1.สารละลาย 1N $K_2Cr_2O_7$:ละลาย$K_2Cr_2O_7$ (อบที่ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง) 49.04 กรัมในน้ำกลั่นแล้วทำปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ใน Volumetric flask

2.H_2SO_4เข้มข้น:ถ้าในตัวอย่างดินมี Cl^- อยู่มากให้เติมAg_2SO_4ลงไปในอัตรา 15 กรัม ต่อกรด H_2SO_4 1 ลิตร (ถ้าดินมีคลอไรด์อยู่มาก คลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับ dichromate เหมือนกับคาร์บอน ผลวิเคราะห์จะได้ค่าคาร์บอนมากกว่าที่เป็นจริง การใส่ Ag_2SO_4 ลงใน H_2SO_4 ทำให้ Ag^+ตกตะกอนกับ Cl^- เป็น AgCl ในขณะที่ทำการย่อยดิน ดั้งนั้นดินชายทะเลและดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงควรเติม Ag_2SO_4)

3. H_3PO_4เข้มข้น:การเติมกรด H_3PO_4 เข้มข้นและNaFทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของ indicator เมื่อถึง end point ได้ชัดเจน ทำให้รู้ end point ของการไทเทรตแน่นอนยิ่งขึ้น

4.Barium diphenylamine sulfonate indicator (BDS) 0.16% : ละลาย BDS0.16 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรหรืออาจใช้ O-phenantholinen ferrous sulfate indicator 0.025 M ซึ่งเตรียมได้โดยละลายO-phenantholinen 1.485 กรัมและ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.70 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรหรืออาจใช้ diphenylamine indicator โดยละลาย diphenylamine 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรและ H_2SO_4 เข้มข้น 100 มิลลิลิตร

5.สารละลาย 0.5 N Ferrous ammonrumsulfateb(FAS) :ละลาย $Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ 196.1 g. ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตรซึ่งมี H_2SO_4เข้มข้น 20 มิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่นใน Volumetric flask เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาลเพื่อกันแสงและปิดจุกให้แน่นเสมอ

6.NaFชนิดผง (กรณีที่ใช้ diphenylamine เป็น indicator)

วิธีการ

1.ชั่งตัวอย่างดินซึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร(80 mesh) หรือ 0.5 มิลลิเมตร(32 mesh) 0.2-2.0 กรัมใส่ลงใน erlenmeyerv flask ขนาด 250 มิลลิลิตรเติมสารละลาย 1N $K_2Cr_2O_7$ ลงไป 10 มิลลิลิตรโดยใช้ piper แกว่ง flask เบาๆ ให้ดินและสารละลายผสมกัน เติมH_2SO_4เข้มข้น 20 มิลลิลิตรลงไปโดยเร็ว แกว่ง flask ค่อนข้างแรงประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที (ถ้าพบว่า

สารละลายของดินตัวอย่างใดเป็นสีเขียวก่อนที่จะไทเทรต ให้ทำการวิเคราะห์ใหม่ โดยชั่งน้ำหนักดินให้น้อยกว่าเดิม)

2.เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตรและเติม H_3PO_4 เข้มข้นลงไป 10 มิลลิลิตร(และเติม NaF 0.2 กรัมในกรณีที่ใช้ diphenylamine เป็น indicator) แกว่ง flask แล้วเติม indicator 3-4 หยด สีของ suspension จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน แต่ถ้าใช้ จะใช้ O-phenantholinenเป็น indicator สีของ suspension จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว

3.ไทเทรต suspension ด้วยสารละลาย 0.5 N FAS จนกระทั่ง end point คือสีของ suspension จะเปลี่ยนจากสีม่วงหรือสีม่วงปนน้ำเงินเป็นสีเขียวใส (ใช้ BDSหรือ diphenylamine เป็น indicator) หรือสีของ suspension จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง (ใช้ O-phenantholinenเป็น indicator)

4. ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ดินตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\%C = \frac{10(B-S)}{B} \times 0.30 \times \frac{1}{0.77} \times \frac{1}{\text{น. น. ดิน (g)}}$$

ในเมื่อ B= จำนวน มิลลิลิตรของ0.5 N FAS ที่ใช้ไทเทรตกับ blank

S=จำนวน มิลลิลิตรของ0.5 N FAS ที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

0.03=ค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณตามสมการ $\frac{1N}{1{,}000} \times \frac{12}{4} \times 100$

0.77=% recovery ของอินทรีย์คาร์บอนในดินโดยวิธีซึ่งเท่ากับ 77

%OM=%OC×1.724 (ถือว่า OM มี 58%OC)

$$\%\text{Easily oxidizing matter (EOM)} = \frac{10(B-S)}{B} \times 0.6717 \times \frac{1}{0.77} \times \frac{1}{\text{น. น. ดิน } (g)}$$

การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน
โดยวิธี Ammonium acetate

อุปกรณ์

1. Leaching tube
2. Cotton wool
3. Asbestos powder
4. Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร
5. Volumetric flask ขนาด 200, 2000 มิลลิลิตร
6. Cylinder ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. Volumetricpipetขนาด 25 มิลลิลิตร
8. Distillation apparatus
9. Analytical balance
10. Buret

สารเคมี

1. Ammonium acetate 1 *N*, pH 7: เตรียมโดยชั่ง NH_4OAc 77.08 กรัมละลายในน้ำกลั่นประมาณ 900-950 มิลลิลิตรแล้วปรับ pH ให้เป็น 7 ด้วย 1 *N* NH_4OH หรือ 0.2 *N* Acetic acid และปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
2. Acidified NaCl (10% in 0.05 *N*HCl) :โดยเตรียมสารละลาย NaCl 1000 กรัมในน้ำกลั่น 9 ลิตรเติม 1*N*HClลงไป 50 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 10 ลิตร
3. Ethyl alcohol 95%
4. Mixed indicator: ละลาย bromcresol green 0.033 กรัมและ methyl red 0.016 กรัมใน ethanol 50 มิลลิลิตร
5. Boric acid indicator 2% : ละลาย Boric acid(H_3BO_3) 40 กรัมด้วยน้ำร้อน 800 มิลลิลิตรใน volumetric flask ขนาด 2000 mlมิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม Mixed indicator (จากข้อ 4) 40 มิลลิลิตรหลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นอีกประมาณ 800-900 มิลลิลิตร แล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากันดี สารละลายที่ได้ควรเป็นสีม่วงแดง แต่ถ้ายังไม่ได้ให้ปรับสีด้วย 0.05 *N*NaOHจนได้สีม่วงแดง เราสามารถทดสอบได้โดยการนำสารละลาย boric acid 2% นี้มา 1 มิลลิลิตรผสมน้ำ 1 มิลลิลิตรสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนแสดงว่าสารละลายมี pH ประมาณ 5 ซึ่งใช้ได้ปรับปริมาตรให้เป็น 2 ลิตร
6. 0.02 N standard sulfuric acid : เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน 1*N* H_2SO_4
7. MgO: เผา heavy MgOใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 600-700 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ในเย็นใน dessicatorเมื่อเย็นแล้วเก็บในภาชนะที่ปิดฝาแน่น
8. Asbestos : ชั่ง asbestos 20 กรัม ละลายในน้ำประมาณ 80 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันดี

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน (ขนาด 2 มิลลิเมตร.) 2 กรัมใส่ใน leaching tube ซึ่งรองก้นด้วยสำลีและเทสารละลาย asbestos ปริมาณ 5 มิลลิลิตร
2. ชะดินด้วยน้ำยา 1 $N$$NH_4OAc$, pH 7 จำนวน 100 มิลลิลิตรโดยค่อยๆปล่อยให้หยดทีละน้อยลงในขวดรองรับ leachate ที่ได้นี้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ exchangeable bases (Ca^{2+}, Mg^{2+} , K^{+}และ Na^{+}) โดยใช้ atomic absorption spectrophotometer
3. ล้างดินใน leaching tube ด้วย ethyl alcohol 95% จำนวน 100 มิลลิลิตรเพื่อล้างเอา NH_4OAc ที่ขังและติดอยู่ตามซอกและหลืบของอนุภาคออกให้หมด
4. ชะดินด้วย 10% acidified NaClจำนวน 100 มิลลิลิตรเพื่อที่ Na^{+}จะไปไล่ที่ NH_4^{+}ที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดิน การชะดินนี้ต้องทำอย่างช้าๆหลังจากนั้นนำ leachate ที่ได้มาปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
5. นำ leachate จากข้อ 4. ไปกลั่นหาปริมาณ NH_4^{+}โดย pipet สารละลายจาก ข้อ 4. มา 20 หรือ 25 มิลลิลิตรใส่ลงใน Kjeldahl flask แล้วเติมMgO 0.2กรัมจับ NH_3 ที่เกิดด้วย 2% boric acid indicator 5 มิลลิลิตรกลั่นจนได้ปริมาตร 35 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะมีสีเขียว หลังจากนั้นนำมา titrate ด้วย standard H_2SO_4 0.02 N จนถึง end point จะได้สารละลายสีม่วงอมชมพู บันทึกปริมาตรของ standard H_2SO_4ที่ใช้ titrate เพื่อจะนำไปใช้คำนวณต่อไป
6. การคำนวณหาปริมาณ NH_4^{+}ค่าที่คำนวณได้คิดเป็น เซนติโมล/กิโลกรัมของดินหรือวัสดุ ซึ่งจะสมมูลย์พอดีกับปริมาณ CEC ดังนั้นค่าที่คำนวณได้ถือว่าเป็นค่า CEC ของดินนั้น
7. ควรทำ blank 2 ตัวอย่าง ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ทุกครั้ง

การคำนวณหาค่า CEC

สารละลายตัวอย่าง 200 มิลลิลิตรดูดมาเพียง 25 มิลลิลิตรเพื่อนำมากลั่น หลังจากนั้น titrate ด้วย 0.02 N H_2SO_4 สมมุติใช้ไปเท่ากับ T มิลลิลิตรและของ blank ใช้ไป B มิลลิลิตร

Meqของ NH_4^{+}ใน leachate= มิลลิลิตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ไนเตรท X normality ของกรดแล้วนำไปเทียบเป็นดิน 100 กรัมค่าที่ได้ออกมาจะเป็น meq/100 g. ซึ่งมีค่าเท่ากัน c mole/kg ปัจจุบันนิยมรายงานเป็น c mole/kg

$$\text{CEC}\left(\frac{\text{meg}}{100}\text{g.}\right) = \frac{N \times (T - B) \times A \times 100}{ml.\,of aliquot\text{ที่ใช้} \times \text{นนดิน}(g.)}$$

$$= \text{c mole/kg}$$

เมื่อ

N = Normality ของ standard H_2SO_4

T = ปริมาณของ standard H_2SO_4ที่ใช้ titrateample

B = ปริมาณของ standard H_2SO_4ที่ใช้ titrateblank

A = ปริมาณทั้งหมดของ aliquot

การวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

อุปกรณ์

1. Atomic absorption spectrophotometer (AAS)
2. Analytical balance
3. Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรอง เบอร์ 42
5. Pipet
6. Beaker
7. Volumetric flask 25 มิลลิลิตร
8. Fume hood
9. Block digester
10. ขวดยา

สารเคมี

1. cone. $HClO_4$และ cone. HNO_3 โดยนำกรดทั้งสองมาผสมกัน ในอัตราส่วน 3 : 1 คือผสมระหว่าง$HClO_4$ 3 ส่วน และ HNO_3 1 ส่วน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างดิน (ผ่านตะแกรงร่อน 2 มิลลิเมตร) จำนวน 0.5 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
2. เติมกรดผสมระหว่าง$HClO_4$ + HNO_3 จำนวน 10 มิลลิลิตรลงไปในตัวอย่าง
3. นำตัวอย่างไปย่อยบน Block digesterภายในตู้ดูดควัน จนได้ตัวอย่างดินสีขาว
4. นำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตรโดยการเติมน้ำกลั่น
5. นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 42แล้วนำตัวอย่างที่ได้ใส่ในขวดยา
6. ตรวจวัดตัวอย่างโดยใช้เครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก

การวิเคราะห์โลหะหนักในพืช

อุปกรณ์

1. Atomic absorption spectrophotometer (AAS)
2. Analytical balance
3. Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรอง เบอร์ 42
5. Pipet
6. Beaker
7. Volumetric flask 25 มิลลิลิตร
8. Fume hood
9. Block digester
10. ขวดยา

สารเคมี

1. cone. $HClO_4$และ cone. HNO_3 โดยนำกรดทั้งสองมาผสมกัน ในอัตราส่วน 3 : 1 คือผสมระหว่าง $HClO_4$ 3 ส่วน และ HNO_3 1 ส่วน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างพืช (ผ่านตะแกรงร่อน 2มิลลิเมตร) จำนวน 0.5 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flask 125 มิลลิลิตร
2. เติมกรดผสมระหว่าง $HClO_4$ + HNO_3 จำนวน 10 มิลลิลิตรลงไปในตัวอย่าง
3. นำตัวอย่างไปย่อยบน Block digester ภายในตู้ดูดควัน จนได้ตัวอย่างดินสีขาว
4. นำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตรโดยการเติมน้ำกลั่น
5. นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 42แล้วนำตัวอย่างที่ได้ใส่ในขวดยา
6. ตรวจวัดตัวอย่างโดยใช้เครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก

การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำ

อุปกรณ์

1. Atomic absorption spectrophotometer (AAS)
2. Cylinder 50 ml.
3. Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร
4. กระดาษกรอง เบอร์ 42
5. Pipet
6. Beaker
7. Volumetric flask 50 มิลลิลิตร
8. Fume hood
9. Block digester
10. ขวดยา

สารเคมี

1. cone. HNO_3

วิธีการ

1. ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตรใส่ใน Erlenmeyer flask 250มิลลิลิตร
2. เติมกรดผสมระหว่าง HNO_3 จำนวน 10 มิลลิลิตรลงไปในตัวอย่าง
3. นำตัวอย่างไปย่อยบน Block digester ภายในตู้ดูดควัน จนได้ตัวอย่างดินสีขาว
4. นำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตรโดยการเติมน้ำกลั่น
5. นำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 42แล้วนำตัวอย่างที่ได้ใส่ในขวดยา
6. ตรวจวัดตัวอย่างโดยใช้เครื่อง AAS เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก

ภาคผนวก จ.

ระดับเกณฑ์ ค่ามาตรฐานต่างๆ

คารางที่ 11 แสดงค่าอินทรียวัตถุในดิน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ระดับ (rating)	% OM	Total N (gm/Kg)	P (ppm)	K (ppm)	CEC
ต่ำมาก	< 0.5	< 0.25	<3	<30	<3
ต่ำ	0.5-1.0	0.50-0.75	3-6	30-60	3-5
ค่อนข้างต่ำ	1.0-1.5	-	6-10	-	5-10
ปานกลาง	1.5-2.5	0.75-1.25	10-15	60-90	10-15
ค่อนข้างสูง	2.5-3.5	-	15-25	-	15-20
สูง	3.5-4.5	1.25-1.75	25-45	90-120	20-30
สูงมาก	>4.5	>2.25	>45	>120	>30

ตารางที่ 12 แสดงค่าความเป็นกรดด่าง

ระดับ (rating)	pH
เป็นกรดจัดมาก (extremely acid)	< 4.5
เป็นกรดจัด (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดแก่ (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างอย่างอ่อน (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างแก่ (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัด (extremely alkaline)	>9.0

ตารางที่ 13 ค่ามาตรฐานโลหะหนักในดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม(mg/kg)	มาตรฐานดินเพื่อการเกษตร (mg/kg)(ประเทศเนเธอร์แลนด์)
1. Cu		
2. Cr	ไม่เกิน 300	
3. Cd	ไม่เกิน 37	5
4. Pb	ไม่เกิน 400	150
5. Mn		
6. Zn		500
7. Fe		

ที่มา:กรมควบคุมมลพิษ (2547) และ Swaileh et.al (2004)

ตารางที่14 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

โลหะหนัก	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
1. Cu	0.1
2. Cr	0.05
3. Cd	0.05
4. Pb	0.05
5. Mn	1.0
6. Zn	1.0
7. Fe	

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2547)

ตารางที่ 15 ค่ามาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนและค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก

หนัก	มาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อน (mg/kg)	ค่ามาตรฐานโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในผัก (mg/kg)
Cd	-	3
Cu	20	-
Zn	100	-
Mn	1	-