บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 ปริมาณปรอทในตัวอย่างดินชั้นบนรอบทะเลสาบสงขลา

ผลการศึกษาตัวอย่างดินชั้นบนรอบพื้นที่ทะเลสาบสงขลา จำนวน 81 สถานี พบว่าปริมาณปรอทในดินชั้นบนรอบทะเลสาบสงขลามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 56.2±57.1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และค่ามัธยฐานอยู่ที่ 48.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าต่ำสุดและสูงสุดที่ 11.0 และ 483.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ความเข้มข้นของปรอทในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างตามการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ แสดงไว้ในตาราง จ-1 และรูป จ-1 ในภาคผนวก จ ส่วนค่าเฉลี่ย ค่าพิสัย และค่ามัธยฐานของปริมาณปรอท ตามการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ สรุปไว้ในตาราง 3-1

ตาราง 3-1 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินชั้นบน ในกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดิน 5 ประเภท

พื้นที่	จำนวนตัวอย่าง (N)		ปรอท (ug/kg)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	คาร์บอนทั้งหมด (%)	กำมะถัน (%)
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	4	ค่าเฉลี่ย	34.2 ± 15.2	1.39 ± 1.25	3.40 ± 3.72	0.14 ± 0.09
		ต่ำสุด-สูงสุด	(18.7 - 56.7)	(0.45 - 3.52)	(0.77 - 9.82)	(nd - 0.26)
		ค่ามัธยฐาน	30.6	0.80	1.51	0.14
เกษตรกรรม	29	ค่าเฉลี่ย	50.0 ± 23.9	1.12 ± 0.63	1.56 ± 0.86	0.07 ± 0.05
		ต่ำสุด-สูงสุด	(16.1 - 101.0)	(0.25 - 3.25)	(0.49 - 4.59)	(nd - 0.19)
		ค่ามัธยฐาน	46.7	0.94	1.38	0.07
ที่อยู่อาศัย	20	ค่าเฉลี่ย	89.1 ± 100.8	1.69 ± 1.35	2.86 ± 2.27	0.08 ± 0.09
		ต่ำสุด-สูงสุด	(12.4 - 483.9)	(0.30 - 5.73)	(0.51 - 9.14)	(nd - 0.28)
		ค่ามัธยฐาน	54.5	1.30	2.28	0.06
อุตสาหกรรม	13	ค่าเฉลี่ย	40.9 ± 20.7	1.77 ± 1.15	2.76 ± 1.70	0.07 ± 0.09
		ต่ำสุด-สูงสุด	(11.0 - 93.7)	(0.41 - 4.11)	(0.59 - 6.34)	(nd - 0.30)
		ค่ามัธยฐาน	37.0	1.38	2.46	0.04
ธรรมชาติ	15	ค่าเฉลี่ย	43.7 ± 21.9	1.86 ± 2.17	2.60 ± 2.88	0.20 ± 0.21
		ต่ำสุด-สูงสุด	(13.1 - 93.8)	(0.58 - 9.11)	(0.77 - 11.81)	(nd - 0.67)
		ค่ามัธยฐาน	39.9	0.90	1.31	0.13

nd = non detectable

สำหรับการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ปรอทในดิน โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างอ้างอิง CRM-BEST-1 ซึ่งเป็นตะกอนดินจาก National Research Council Canada ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในตาราง 3-2

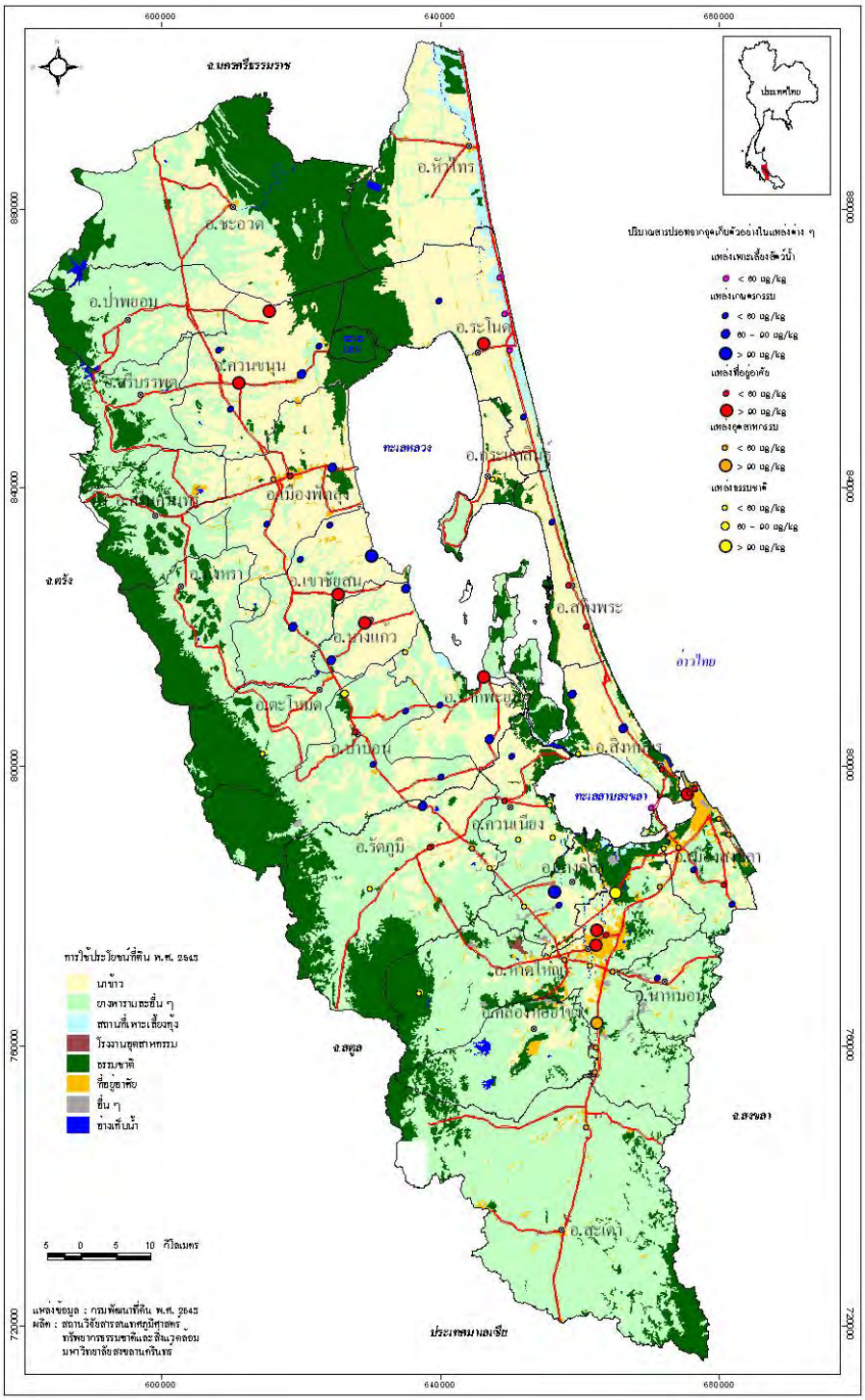
ตาราง 3-2 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างอ้างอิง CRM-BEST-1

ครั้งที่	**ค่าที่วิเคราะห์ได้** (µg/kg)	**ค่าที่ระบุ** (µg/kg)
1	85.1	92 ± 9
2	84.2	
3	86.2	
4	88.5	
ค่าเฉลี่ย	86.0 ± 1.61	

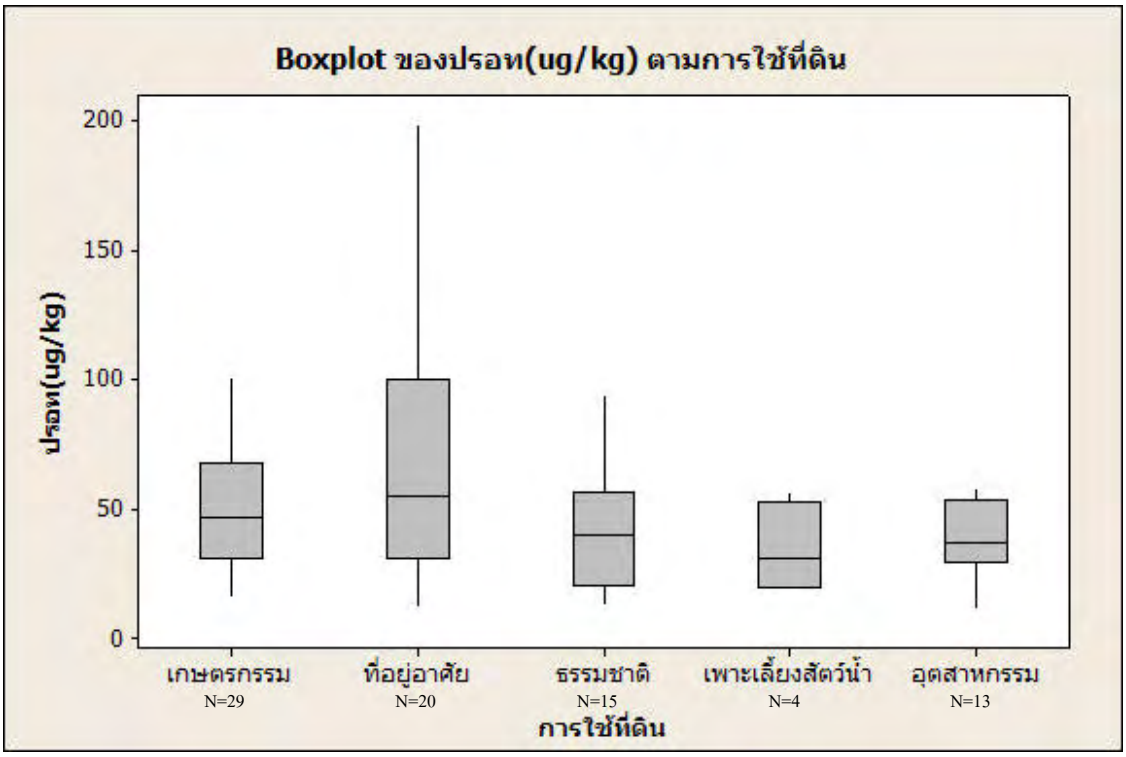
จากข้อมูลปริมาณปรอททั้งหมด 81 ข้อมูล พบเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 25 มีค่า 30.0 และเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 75 มีค่า 66.8 แสดงให้เห็นว่าค่าปรอทที่พบส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 66.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการกระจายของปรอทตามพื้นที่และตามการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงไว้ในรูปที่ 3-1 ส่วนรูปที่ 3-2 เป็น Box plot แสดงการกระจายและค่ามัธยฐานของปรอทตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.2 ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอน และกำมะถัน

สำหรับค่าองค์ประกอบในดินที่อาจส่งผลต่อการสะสมของปรอท จากตัวอย่างทั้งหมดพบว่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.36±2.14% ค่าต่ำสุดที่พบ 0.49% สูงสุด 11.81% และมีค่ามัธยฐานที่ 1.56% ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนพบเฉลี่ยอยู่ที่ 1.52±1.36% ต่ำสุด 0.25% สูงสุด 9.11% และมีค่ามัธยฐานที่ 1.06% ส่วนกำมะถันมีค่าเฉลี่ย 0.10±0.12% ค่าต่ำสุดอยู่ต่ำกว่าระดับการตรวจวัด ค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.67% และมีค่ามัธยฐานที่ 0.07% Scatter plot ของคาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอน และกำมะถันในดิน ตามกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ จ-3 ถึง จ-5 ในภาคผนวก จ



รูปที่ 3-1 การกระจายของปรอทตามพื้นที่และตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน



รูปที่ 3-2 Box plot แสดงการกระจายและค่ามัธยฐานของปรอทตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับคาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอน และกำมะถันในดิน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับตัวแปรทั้งสาม ทำโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ 2 ขั้นตอน คือ

1) หาค่าสหสัมพันธ์ของ Pearson ระหว่างปรอทกับแต่ละตัวแปร
2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ (Regression analysis) ระหว่างปรอทกับแต่ละตัวแปร แปรผลที่ได้และแสดงค่าสมการความสัมพันธ์ ตามสมการ 3-1

$$Y = \text{constant} + \beta * \text{X} \qquad (3\text{-}1)$$

โดยวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า r^2 และค่าที่วิเคราะห์ด้วย ANOVA ทั้งนี้โดยตั้งสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์เพื่อการยอมรับหรือปฏิเสธค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

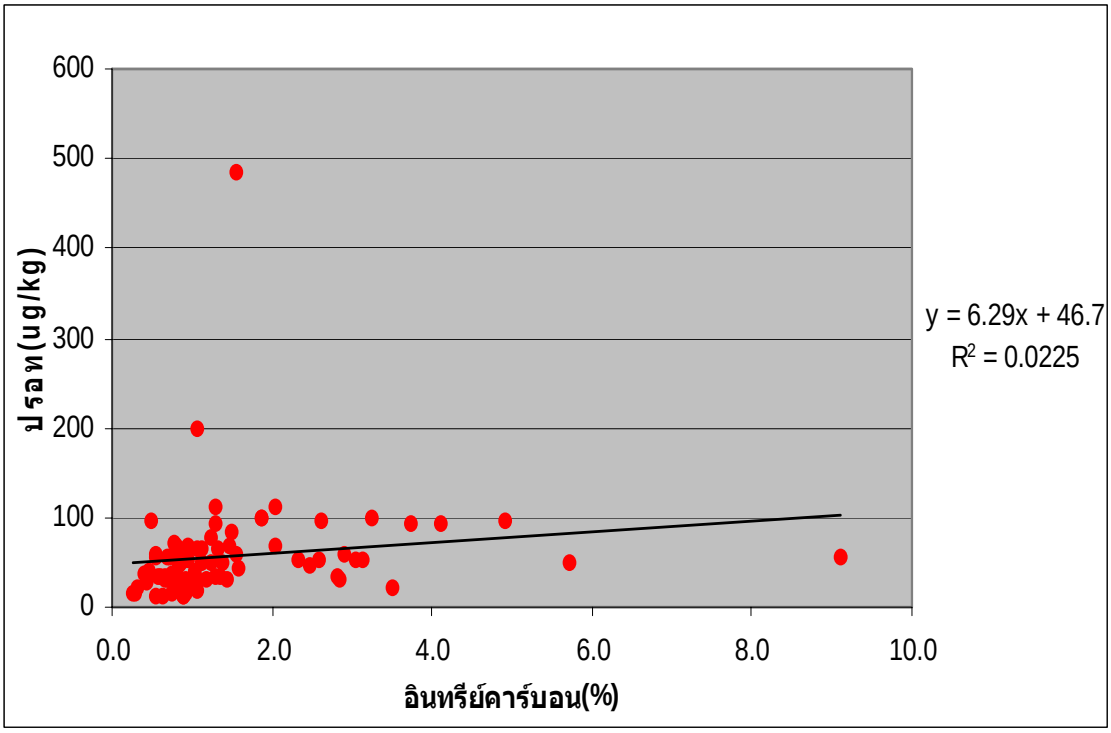
สมมุติฐานนิเสธ H_O : ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

สมมุติฐานทางเลือก H_1 : มีความสัมพันธ์ต่อกัน

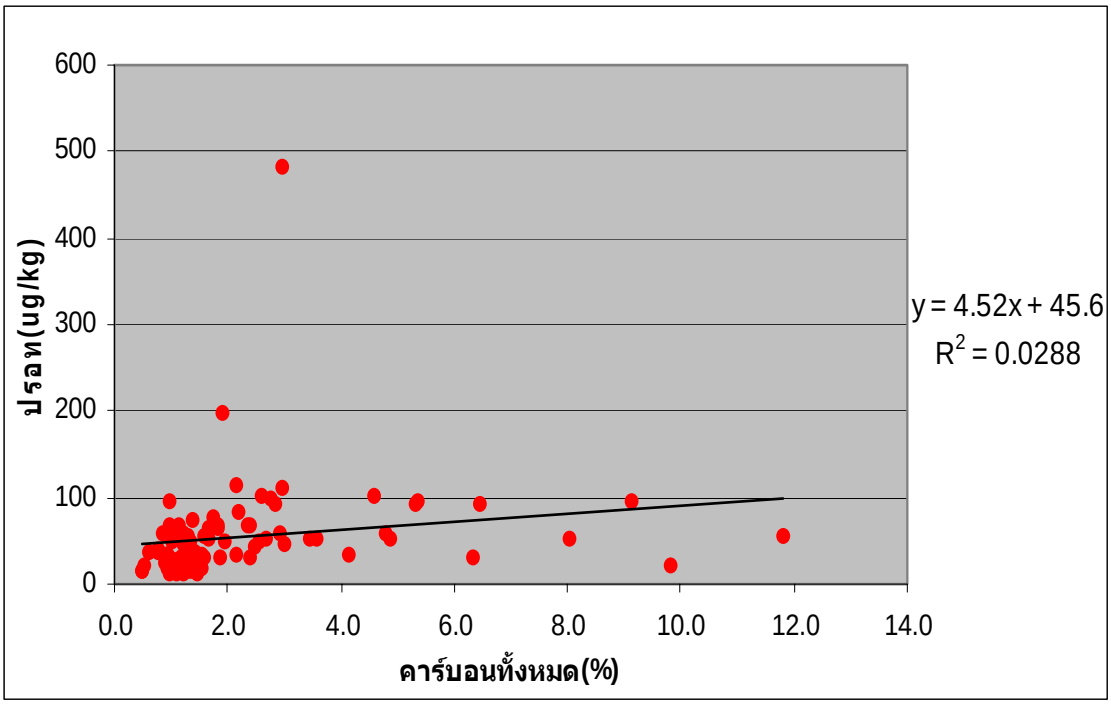
3.3.1 ข้อมูลรวมทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า

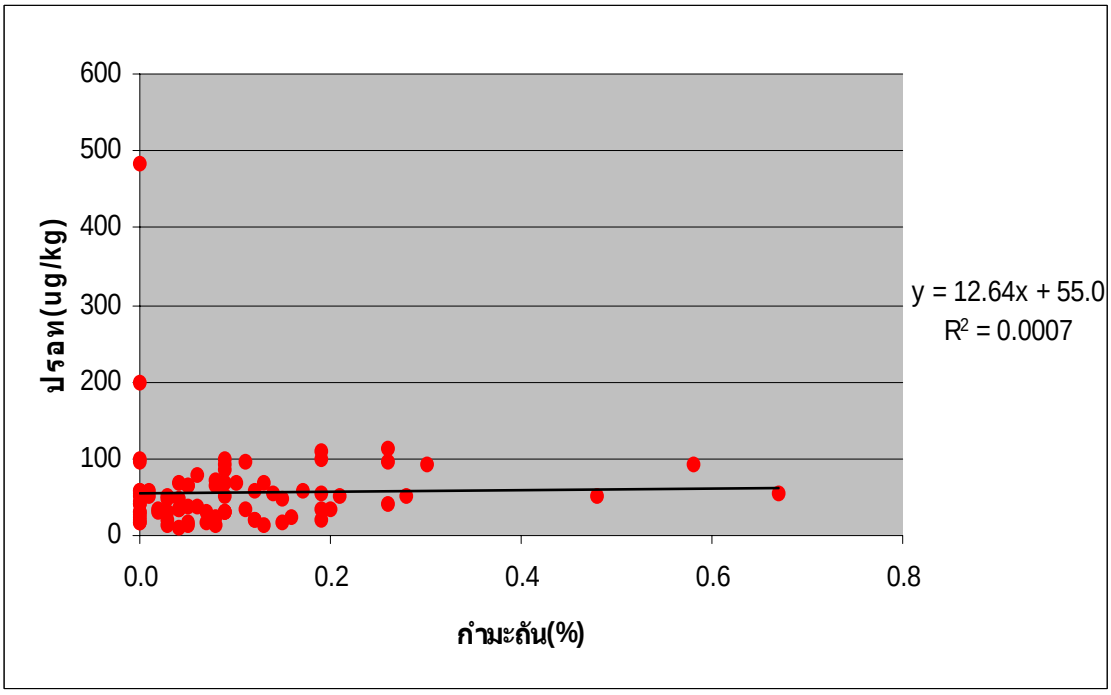
- ค่าปรอทในดินและค่าอินทรีย์คาร์บอนในดิน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย $r = 0.152$ และ $r^2 = 0.023$ ($p = 0.175$) (รูปที่ 3-3)
- ค่าปรอทในดินและค่าคาร์บอนทั้งหมดในดิน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย $r = 0.170$ และ $r^2 = 0.029$ ($p = 0.130$) (รูปที่ 3-4)
- ค่าปรอทในดินและค่ากำมะถันในดิน ก็ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย $r = 0.027$ และ $r^2 = 0.001$ ($p = 0.811$) (รูปที่ 3-5)



รูปที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน ในตัวอย่างดินทั้งหมด



รูปที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับคาร์บอนทั้งหมด ในตัวอย่างดินทั้งหมด



รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับกำมะถัน ในตัวอย่างดินทั้งหมด

3.3.2 กลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม

กลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม มีข้อมูลทั้งหมด 29 จุด ดังตาราง จ-1 และรูปที่ จ-7ในภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถันแสดงในรูปที่ 3-6 ถึง 3-8

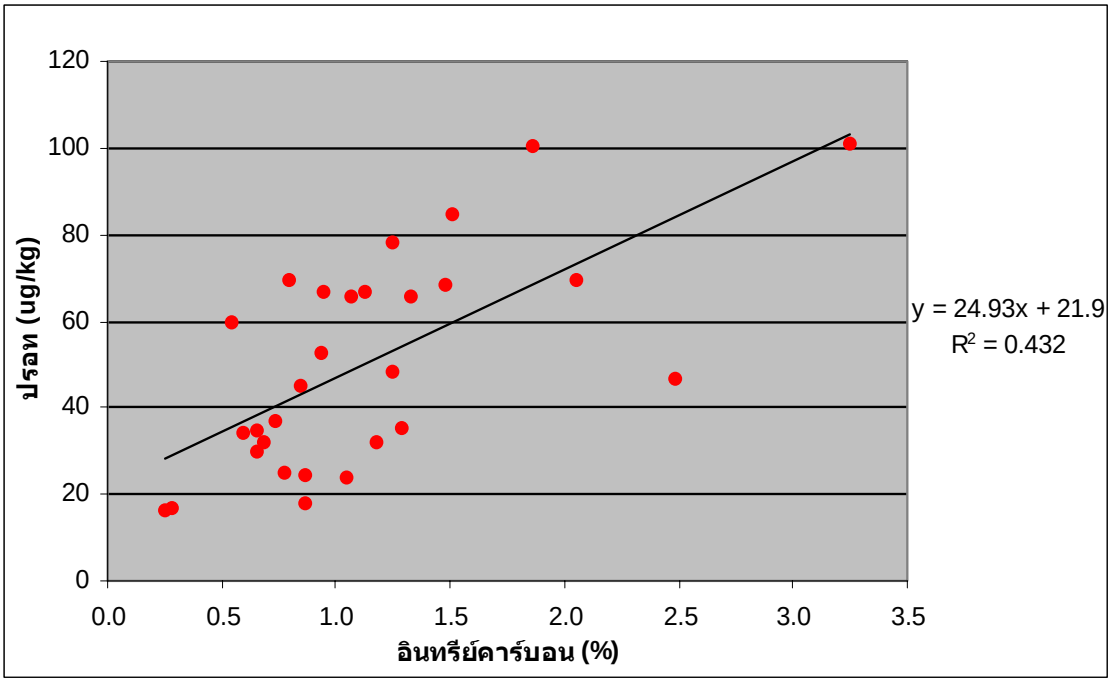
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าปรอทในดินและคาร์บอนทั้งหมดในดิน มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.730$ และ $r^2 = 0.532$ ($p<0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการ 3-2

$$\text{ปริมาณปรอท} = (20.35 \times \text{ปริมาณคาร์บอนรวม}) + 18.2 \qquad (3\text{-}2)$$

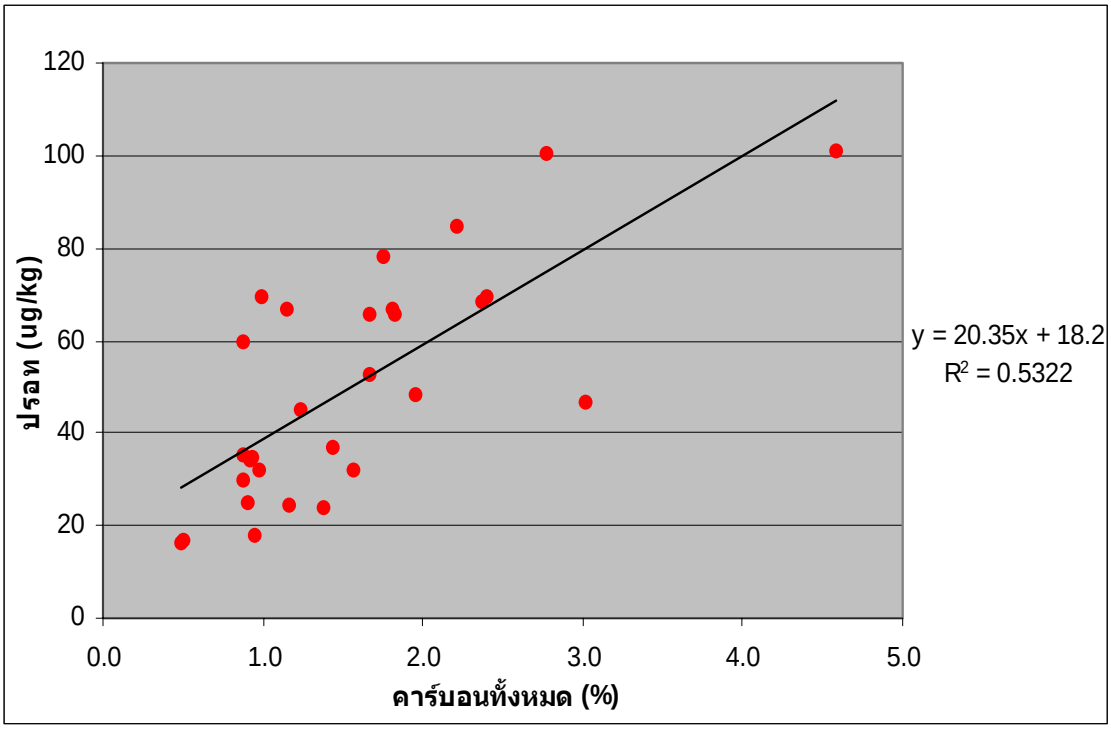
ค่าปรอทในดิน และอินทรีย์คาร์บอนในดิน ก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่าคาร์บอนทั้งหมดในดิน กล่าวคือ มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.657$ และ $r^2 = 0.432$ ($p < 0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการ 3-3

$$\text{ปริมาณปรอท} = (24.93 \times \text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน}) + 21.9 \qquad (3\text{-}3)$$

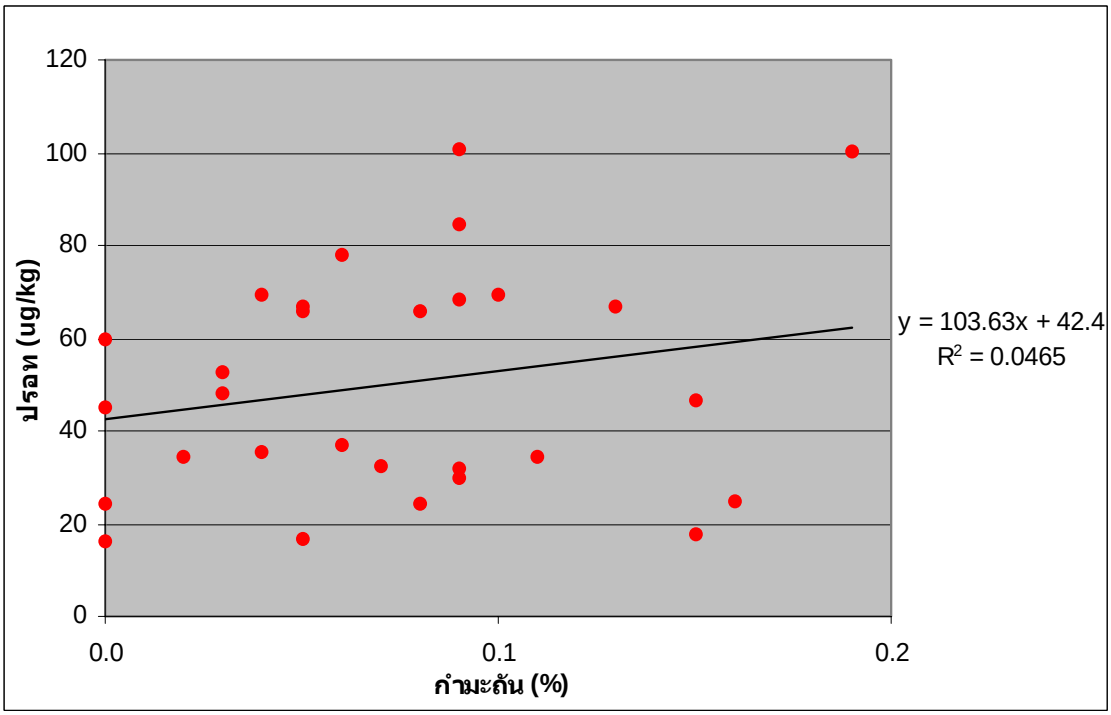
สำหรับค่าปรอทในดินและกำมะถันในดิน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า $r = 0.216$ และ $r^2 = 0.047$ ($p = 0.261$)



รูปที่ 3-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม



รูปที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับคาร์บอนทั้งหมด ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม



รูปที่ 3-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับกำมะถัน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่เกษตรกรรม

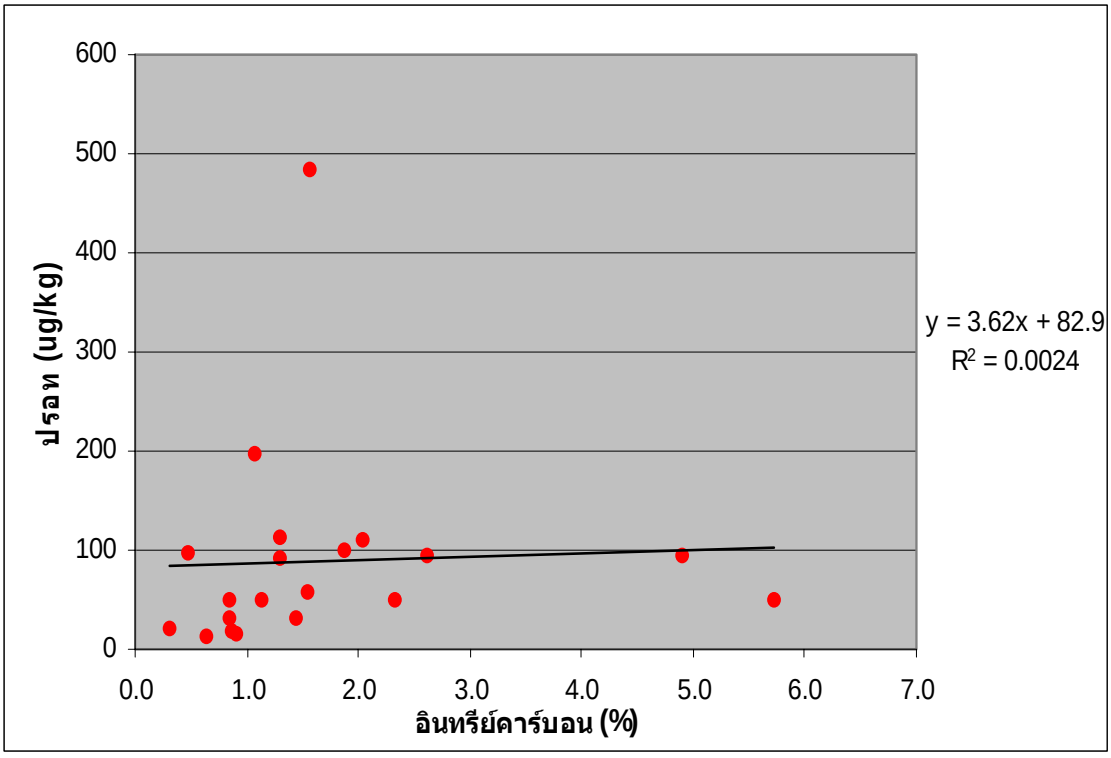
3.3.3 กลุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัย

กลุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัย มีข้อมูลทั้งหมด 20 จุด ดังตาราง จ-1 และรูปที่ จ-8ในภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถัน แสดงในรูปที่ 3-9 ถึง 3-11

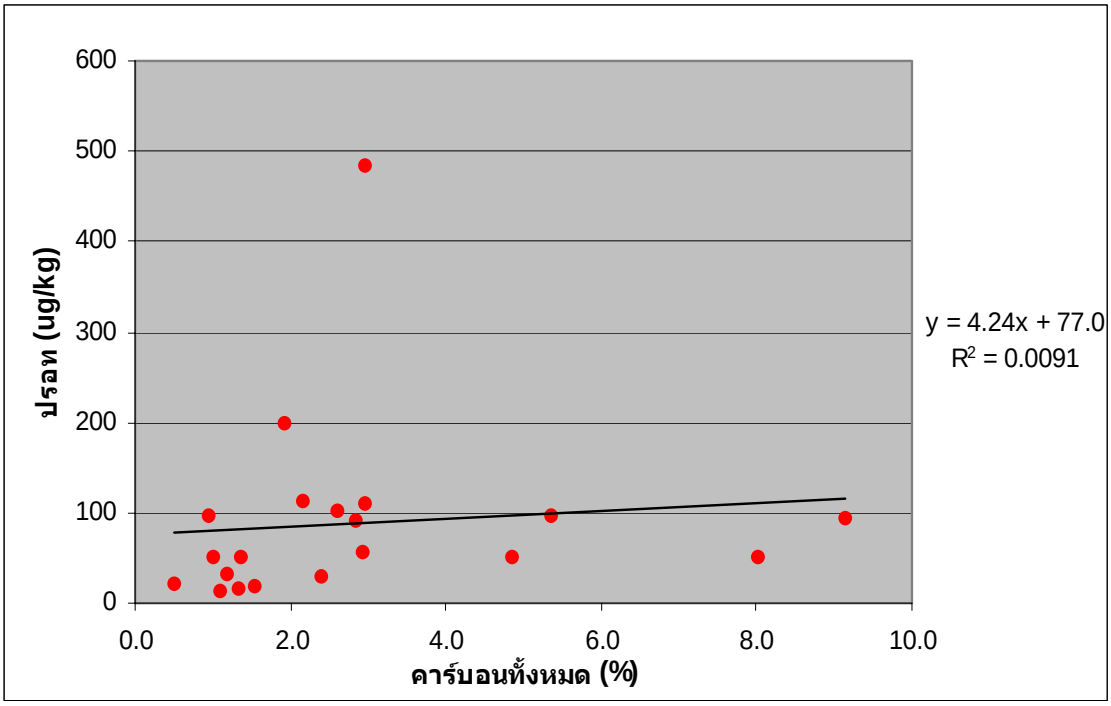
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าปรอทและคาร์บอนทั้งหมดในดิน ในกลุ่มพื้นที่นี้ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.095$ และ $r^2 = 0.009$ ($p = 0.690$)

ค่าปรอทและอินทรีย์คาร์บอนในดินก็มีลักษณะเดียวกัน คือไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.048$ และ $r^2 = 0.002$ ($p = 0.839$)

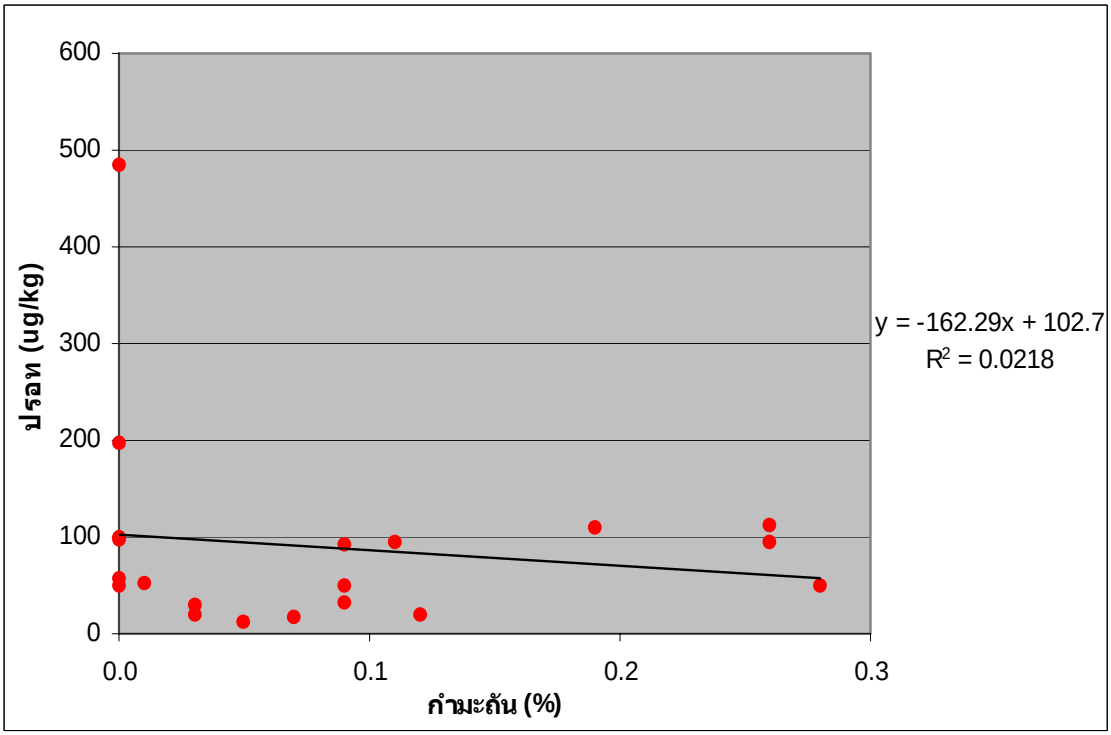
ส่วนปรอทและกำมะถันในดิน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน $r = -0.148$ และ $r^2 = 0.022$ ($p = 0.534$)



รูปที่ 3-9 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัย



รูปที่ 3-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับ คาร์บอนทั้งหมด ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัย



รูปที่ 3-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับกำมะถัน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ที่อยู่อาศัย

3.3.4 กลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรม

กลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรม มีข้อมูลทั้งหมด 13 จุด ดังตาราง จ-1 และรูปที่ จ-9ในภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถัน แสดงในรูปที่ 3-12 ถึง 3-14

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในกลุ่มนี้พบว่า ปรอทและคาร์บอนทั้งหมดในดินมีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.596$ และ $r^2 = 0.356$ ($p < 0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการ 3-4

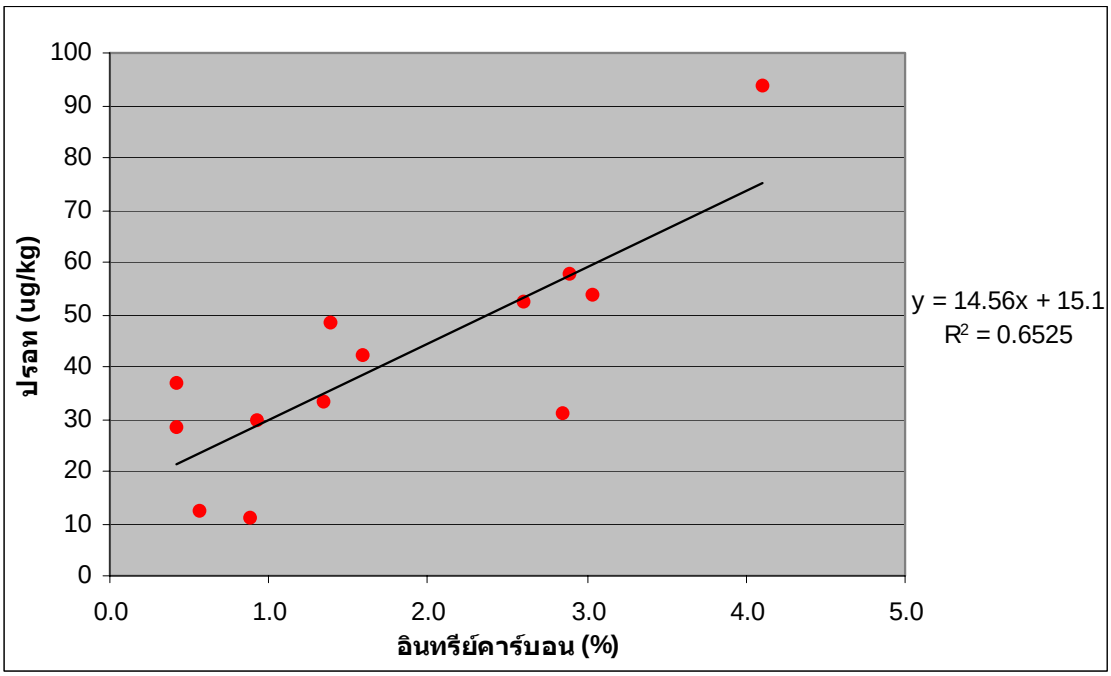
$$\text{ปริมาณปรอท} = (7.26 \times \text{ปริมาณคาร์บอนรวม}) + 20.9 \quad (3\text{-}4)$$

ปรอทและอินทรีย์คาร์บอนในดิน ก็มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.808$ และ $r^2 = 0.652$ ($p < 0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการ 3-5

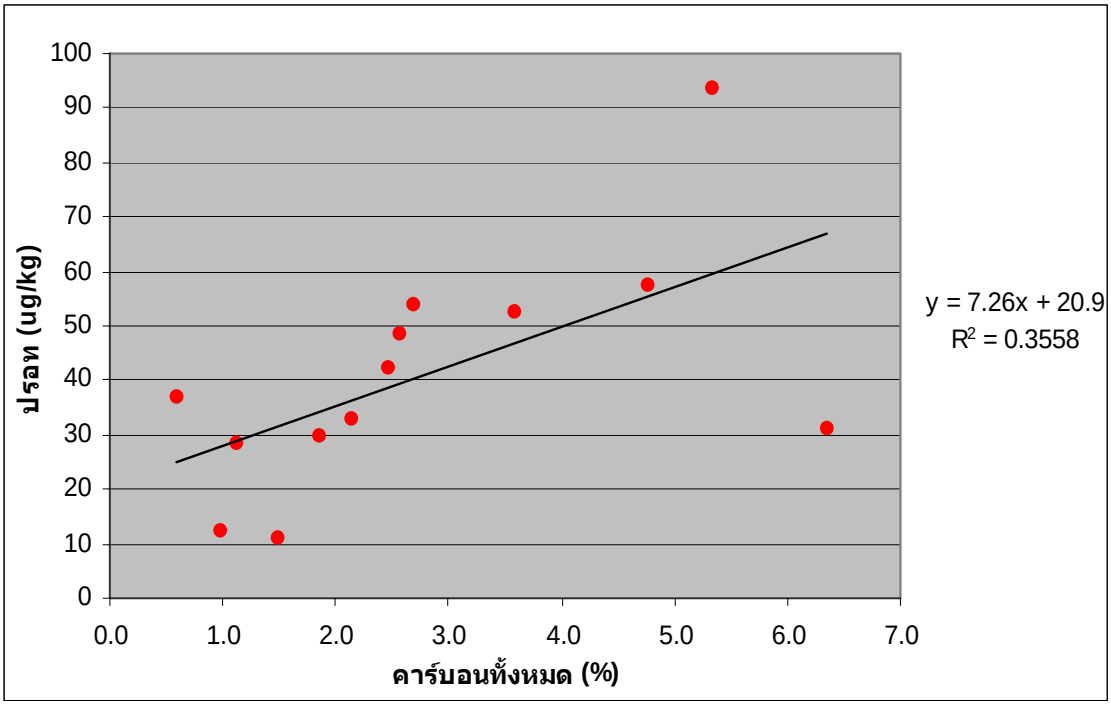
$$\text{ปริมาณปรอท} = (14.56 \times \text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน}) + 15.1 \quad (3\text{-}5)$$

สำหรับปรอท และกำมะถัน ก็มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.744$ และ $r^2 = 0.553$ ($p < 0.05$) โดยมีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการ 3-6

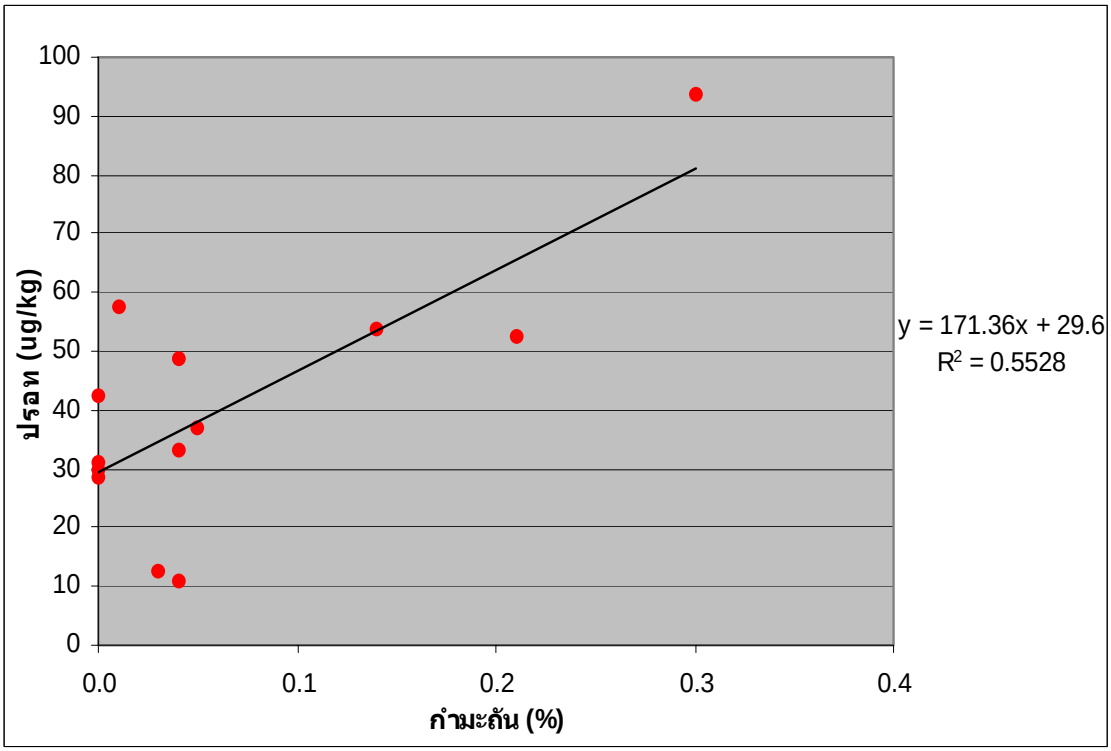
$$\text{ปริมาณปรอท} = (171.36 \times \text{ปริมาณกำมะถัน}) + 29.6 \quad (3\text{-}6)$$



รูปที่ 3-12 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรม



รูปที่ 3-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับคาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรม



รูปที่ 3-14 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับกำมะถัน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรม

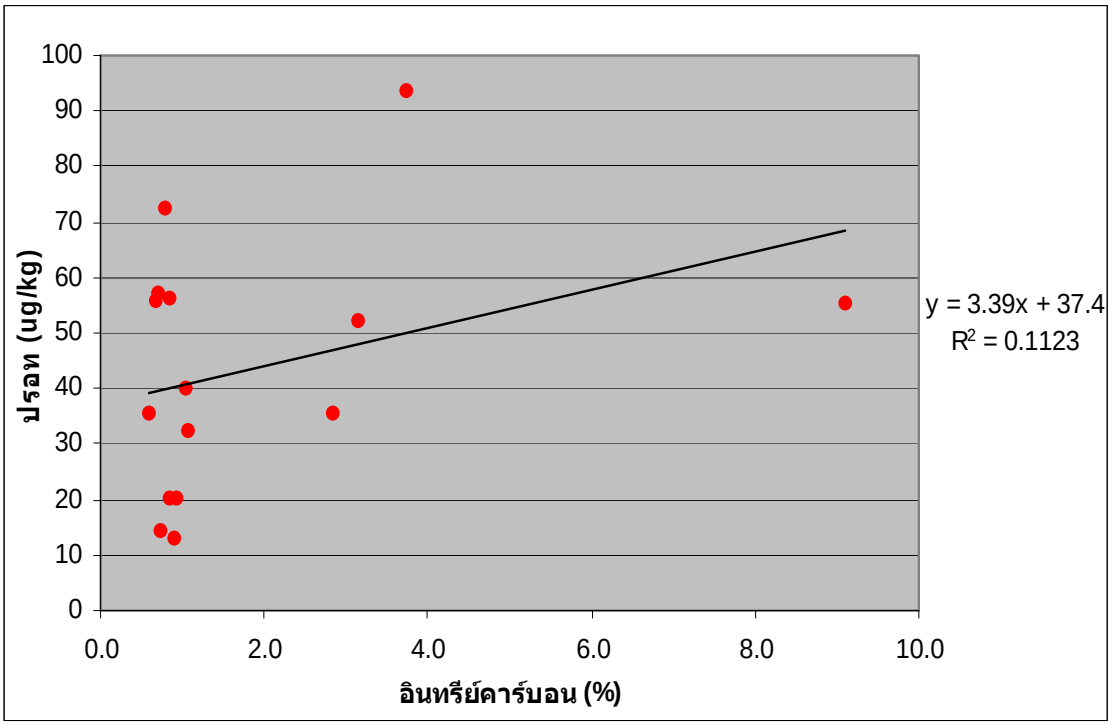
3.3.5 กลุ่มพื้นที่ธรรมชาติ

กลุ่มพื้นที่ธรรมชาติมีข้อมูลทั้งหมด 15 จุด ดังตาราง จ-1 และรูปที่ จ-10 ในภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน คาร์บอนทั้งหมด และกำมะถัน แสดงในรูปที่ 3-15 ถึง 3-17

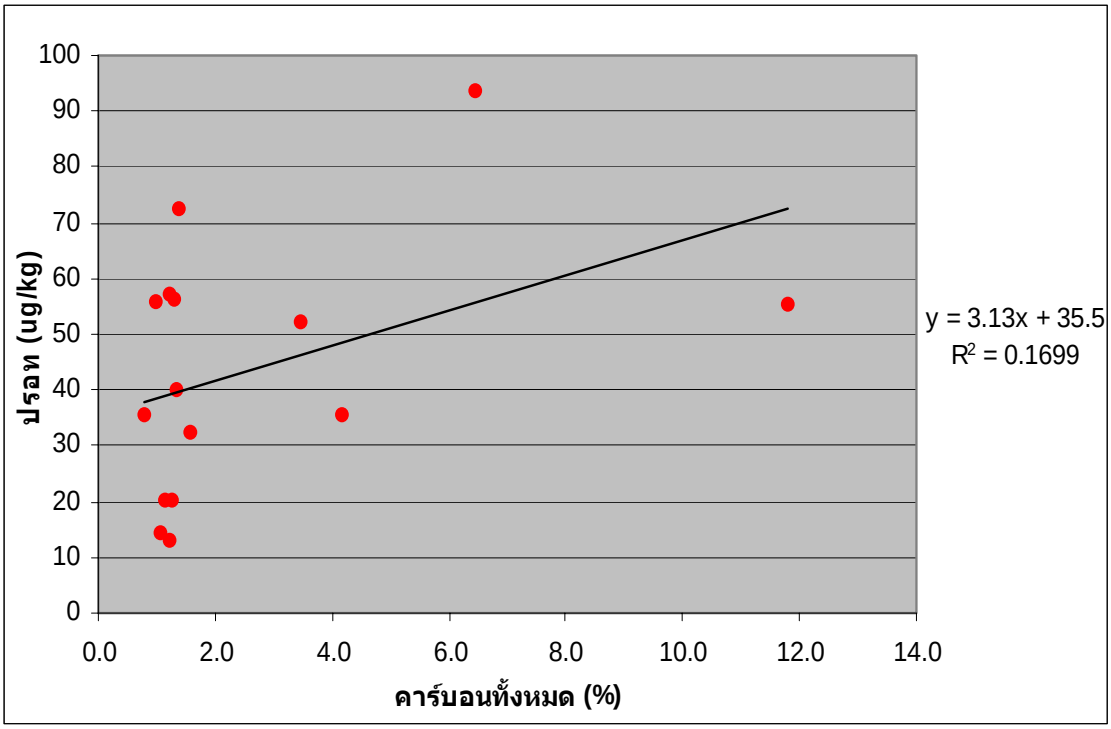
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปรอทและคาร์บอนทั้งหมดในดิน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.412$ และ $r^2 = 0.170$ ($p = 0.127$)

ค่าปรอทและอินทรีย์คาร์บอนในดิน ก็ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.335$และ $r^2 = 0.112$ ($p = 0.222$)

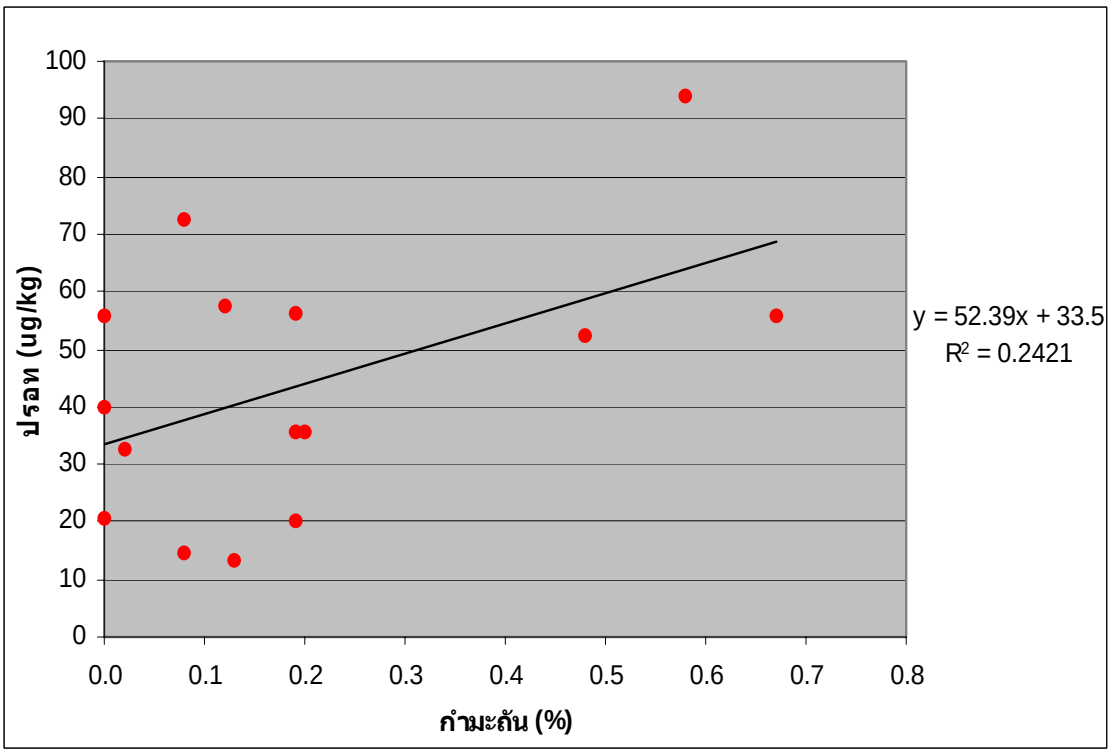
ส่วนค่าปรอทและกำมะถันในดิน ก็เช่นเดียวกัน คือ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $r = 0.492$ และ $r^2 = 0.242$ ($p = 0.06$)



รูปที่ 3-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอินทรีย์คาร์บอน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ธรรมชาติ



รูปที่ 3-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับคาร์บอนทั้งหมด ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ธรรมชาติ



รูปที่ 3-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับกำมะถัน ในตัวอย่างดินจากกลุ่มพื้นที่ธรรมชาติ

3.3.6 กลุ่มพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

กลุ่มพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีข้อมูลทั้งหมดเพียง 4 จุด ดังตาราง จ-1 และรูปที่ จ-6 ในภาคผนวก จ จึงไม่มีการวิเคราะห์ทางสถิติ เนื่องจากข้อมูลมีน้อยเกินไป

3.4 การทดสอบความแตกต่างของปริมาณปรอท ระหว่างกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 5 ประเภท

สำหรับการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณปรอทในกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 5 ประเภท ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย 1 – way ANOVA โดยจำแนกข้อมูลด้วยปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากไม่เห็นปัจจัยอื่นที่ชัดเจนที่ส่งผลต่อความแตกต่างของปริมาณปรอทที่ควรจะนำมาวิเคราะห์

ก่อนทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้ทำ Box Whisker Plot เพื่อตัดข้อมูล outlier ในแต่ละกลุ่มออก พบว่าในกลุ่มที่อยู่อาศัยมีหนึ่งข้อมูลที่จุดเก็บ 51 และกลุ่มพื้นที่อุตสาหกรรมอีกหนึ่งข้อมูล คือ จุดเก็บ 66 ที่เป็น Outlier ซึ่งไม่น่าเป็นตัวแทนของกลุ่ม และถูกตัดออก

ในส่วนการวิเคราะห์ความแปรปรวน มีสมมุติฐานในการทดสอบดังนี้

สมมุติฐานนิเสธ $H_0 : \mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \mu 4 = \mu 5$

สมมุติฐานทางเลือก $H_1 : \mu_i \neq \mu_{j\,i}$ อย่างน้อย 1 คู่; $i \neq j$; $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$

นั่นคือ จะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 เมื่อมีคู่ใดคู่หนึ่ง อย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ผลการทดสอบ ANOVA ปรากฏว่าปริมาณปรอทในกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จึงทำการทดสอบต่อ เพื่อดูว่ากลุ่มใดแตกต่างกันบ้าง โดยใช้ Multiple comparisons ด้วยวิธี Fisher's Least Significant Difference (LSD) พบว่ามีกลุ่มที่อยู่อาศัยเพียงกลุ่มเดียวที่มีปริมาณปรอทแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อีก 4 กลุ่ม

นอกจากนี้ มีการใช้ Cluster Analysis เพื่อจัดกลุ่มตามค่าอินทรีย์คาร์บอนในดินที่แตกต่างกัน แต่ปรากฏว่าสามารถแบ่งได้เพียง 2 กลุ่ม และมีกลุ่มหนึ่งที่มีจำนวนมากกว่ามาก จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้อินทรีย์คาร์บอน ในการแบ่งกลุ่มเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณปรอท