บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการกระจายตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดินจากพื้นที่เกษตรกรรมโดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ผลการทดลองและวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน

เมื่อทำการทดลองวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดินทั้ง 3 ชนิดและนำค่าที่ได้จากการทดลองไปแปรผลตามตาราง 2 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตาราง 6

จากตาราง 6 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของดินทั้ง 3 ชนิดจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยจะอยู่ในช่วงมีค่าเป็นกรดมากถึงกลาง โดยที่ดินร่วนปนทรายมีความเป็นกรดมาก ตามด้วยดินเหนียวและดินทรายซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงค่าเป็นกลาง ทำให้สังเกตได้ว่าดินแต่ละชนิดกันมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ซึ่งการที่ดินมีค่าความเป็นกรดนั้นเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 แสดงผลการทดลองค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน

ประเภทของดิน	ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้	แปรผล
ดินเหนียว	5.523	กรดมาก
ดินทราย	6.563	กลาง
ดินร่วนปนทราย	5.553	กรดมาก

1. น้ำในดินซึ่งเมื่อน้ำในดินการรวมตัวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกลายเป็นกรดคาร์บอนิกอ่อนๆ เมื่อได้รับกรดเพื่อขึ้นจากอินทรียวัตถุอื่นๆ ก็จะทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรดมากขึ้น

2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นได้จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำพวกถ่านหินลิกไนต์จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมตัวกับน้ำจะกลายเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นผลทำให้ดินบริเวณใกล้เคียงหรือบริเวณที่มีก๊าซชนิดนี้ผ่านไปมีสภาพเป็นความเป็นกรด

ผลการทดลองและวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter, OM)

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรียวัตถุในดินทั้ง 3 ชนิดและแปลผลตามตาราง 3 ซึ่งแสดงผลการทดลองดังตาราง 7 ซึ่งสามารถสรุปปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินของดินทั้ง 3 ชนิดพบว่า ปริมาณสารอินทรียวัตถุของดินทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสูงมากซึ่งปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินเหนียวมีค่าสูงสุดและสารอินทรียวัตถุในดินทรายมีค่าต่ำสุดซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน

ตาราง 7 แสดงผลการทดลองปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

ประเภทของดิน	เปอร์เซนต์ของอินทรียวัตถุ	การแปรผล
ดินเหนียว	5.60	สูงมาก
ดินทราย	4.32	สูง
ดินร่วนปนทราย	4.96	สูงมาก

ผลการทดลองและวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (C.E.C)

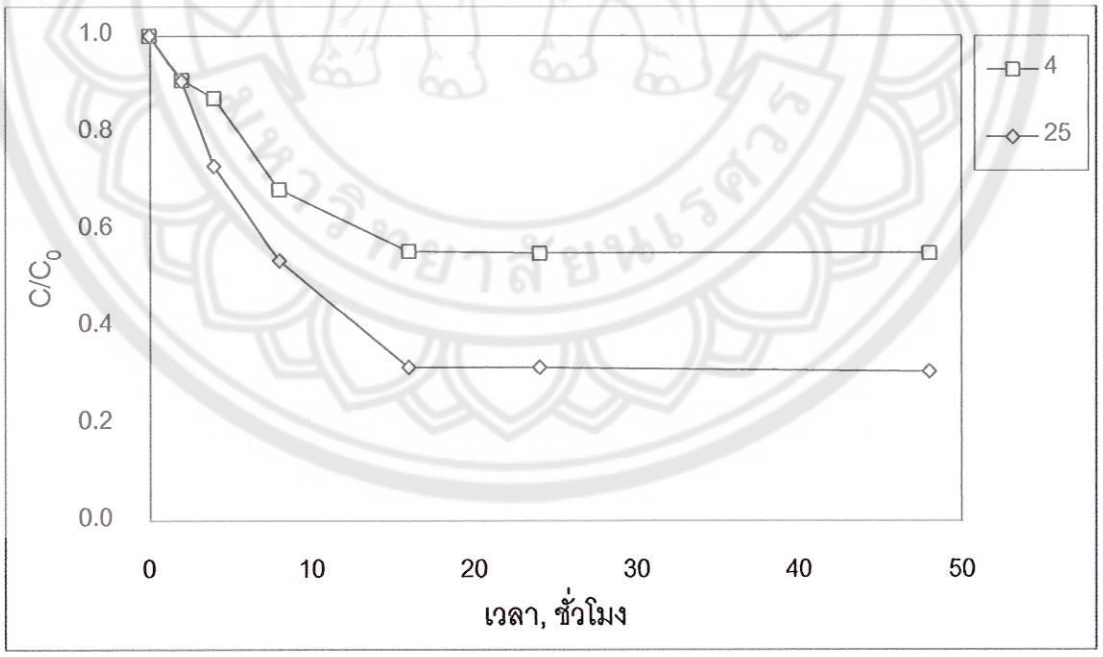
เมื่อทำการทดลองหาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินทั้ง 3 ชนิดตามวิธี ammonium saturation method แสดงผลการทดลองดังตาราง 8 เมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐานตามตาราง 4 พบว่าดินเหนียวมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูงที่สุดและดินทรายมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกต่ำที่สุด โดยการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของสารคลอร์ไพริฟอสนั้นจะแลกเปลี่ยนกับสารประกอบในดินต่างๆ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อดินมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกมากมีแนวโน้มทำให้การดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเกิดขึ้นมากเช่นกัน

ตาราง 8 แสดงผลการทดลองความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก

ประเภทของดิน	ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก, เซนติโมลต่อกิโลกรัม	การแปรผล
ดินเหนียว	12.765	ต่ำ
ดินทราย	4.859	ต่ำมาก
ดินร่วนปนทราย	10.524	ต่ำ

การระเหยกลายเป็นไอของสารคลอร์ไพริฟอส

จากการทดลองการระเหยของสารคลอร์ไพริฟอส พบว่าสารคลอร์ไพริฟอสมีความสามารถในการระเหยจากการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมงพบว่าสารคลอร์ไพริฟอสสามารถระเหยอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมงและจะเริ่มระเหยอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สมดุล ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงผลเป็นกราฟสารละลายคลอร์ไพริฟอสพบว่าค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.56 และ 31.64 ตามลำดับ แสดงดังภาพ 17



ภาพ 17 แสดงค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารคลอร์ไพริฟอสที่เหลืออยู่จากการทดลองการระเหยของที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส

แสดงให้เห็นว่าสารละลายคลอร์ไพริฟอสสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส แต่สารคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสสามารถระเหยได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเกิดจากเมื่อศึกษาคุณสมบัติของสารคลอร์ไพริฟอสพบว่าสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าความดันไอที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.87×10^{-5} มิลลิเมตรปรอทและมีค่าคงที่ของเฮนรี่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.23×10^{-5} เอทีเอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมล ซึ่งจากค่าทั้ง 2 ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารคลอร์ไพริฟอสมีความสามารถระเหยได้ ถ้าค่าคงที่ของแฮนรี่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10^{-7} เอทีเอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมลสารนั้นจะไม่ระเหยยกตัวอย่างเช่น

สารพาราควอทมีค่าคงที่ของแฮนรี่เท่ากับ 2.93×10^{-11}เอทีเอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมลแสดงให้เห็นว่าสารพาราควอทไม่สามารถระเหยได้เนื่องจากมีค่าคงที่ของเฮนรี่น้อยกว่า 10^{-7}เอทีเอ็ม-ลูกบาศก์เมตรต่อโมล [15] เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองการระเหยกลายของไอของสารละลายคลอร์ไพริฟอสมาแสดงผลเป็นกราฟระหว่างค่า $-\ln(C/C_0)$ กับเวลาซึ่งแสดงให้เห็นว่า

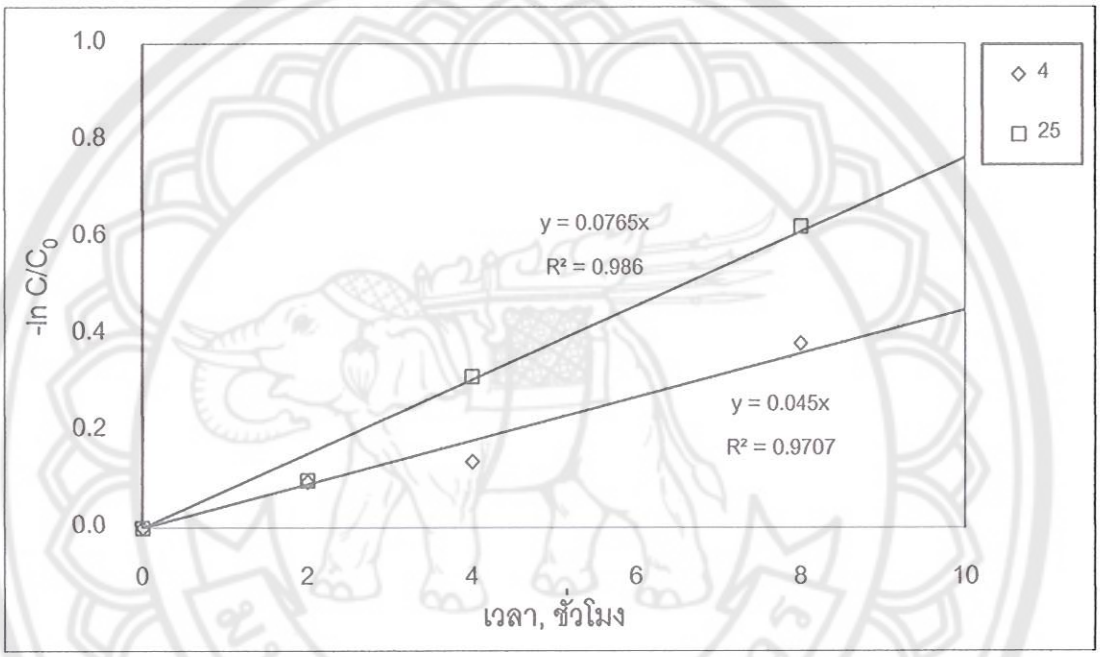
สารละลายคลอร์ไพริฟอสอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบปฏิกิริยาเสมือนหนึ่ง (preudo first order) แสดงดังภาพ 18 และตาราง 9 โดยเมื่อทำการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการระเหยเริ่มต้นของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 มีค่าเท่ากับ 2.785 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าเท่ากับ 5.106 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาการระเหยเริ่มต้นของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 25 °C เกิดขึ้นเร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาการระเหยเริ่มต้นของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 °C

ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาการระเหยของสารคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น, มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการเกิดปฏิกิริยา, ต่อชั่วโมง	ร้อยละการย่อยสลาย	ค่าครึ่งชีวิต, ชั่วโมง
4	2.785	0.045	44.44	15.403
25	5.106	0.077	68.36	9.061

จากการแสดงผลเป็นกราฟระหว่างค่า $-\ln(C/C_0)$ กับเวลาพบว่าสมการการเกิดปฏิกิริยาการระเหยกลายเป็นไอของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส คือ $y=0.045x$ และสมการการเกิดปฏิกิริยาการระเหยของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

คือ y=0.0765x แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาการระเหยของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.045 และ 0.0765 ต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อคำนวณหาร้อยละการระเหยของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 44.44 และ 68.36 ตามลำดับสารละลายคลอร์ไพริฟอสมีค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาการระเหยของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 15.4 และ 9.06 ชั่วโมงตามลำดับ

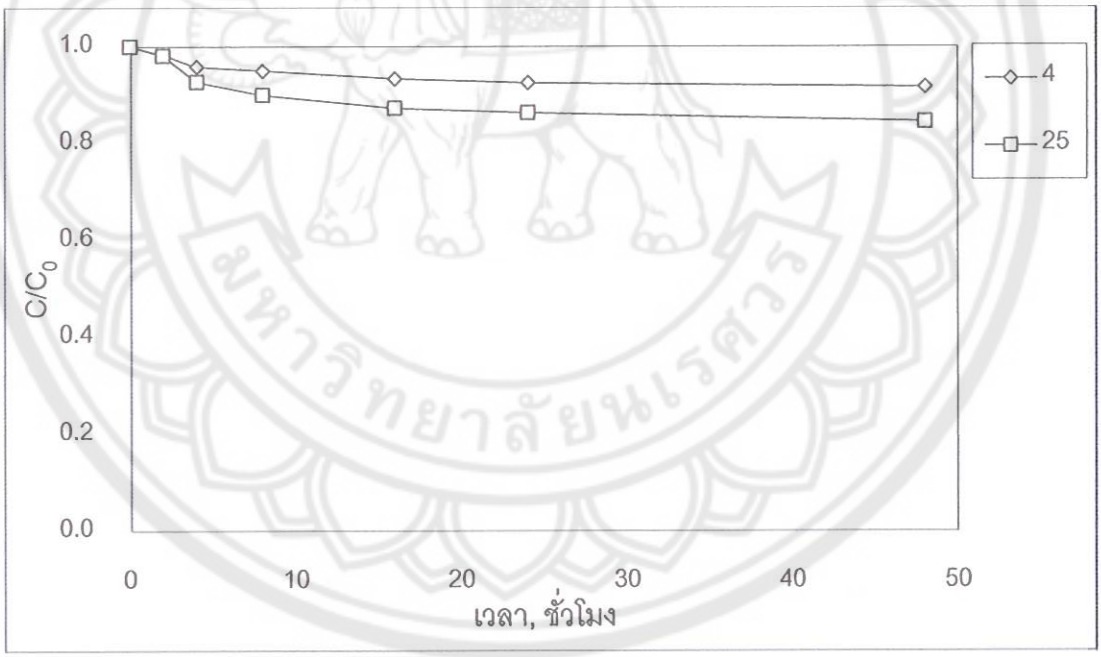


ภาพ 18 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการระเหยของสารคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส

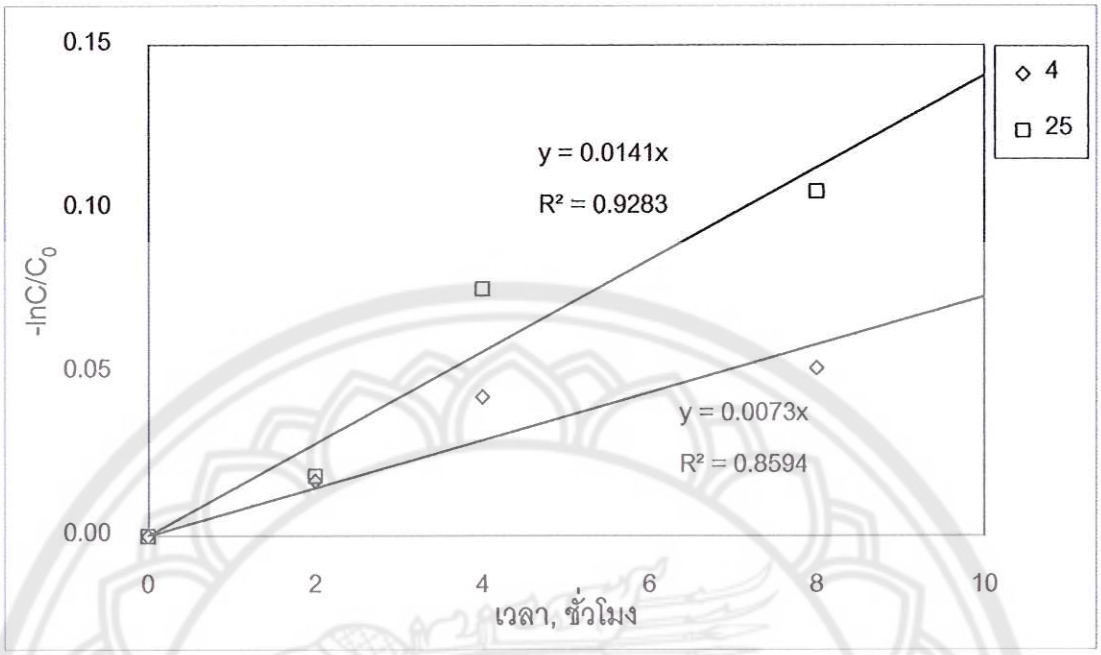
การย่อยสลายคลอร์ไพริฟอสด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

จากการศึกษาการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอสที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสเมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง พบว่าค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสมีเป็น 6.67 % และ 12.73% ที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังแสดงดังภาพ 19 และเมื่อศึกษาหาที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสมการการเกิดอัตราการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไรซิลคือ y= 0073x ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และที่ y= 0.014x ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเริ่มต้น (initial rate) ของสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 0.844 และ 1.477 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และอัตราอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (rate constant) ของสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 0.007 และ 0.014 ต่อชั่วโมงตามลำดับ เมื่อ

เวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง สารคลอร์ไพริฟอสถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเท่ากับ 6.667 และ 12.727 ที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 4 และ 2 อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 20 และตาราง 10 จากผลการศึกษาการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าค่าครึ่งชีวิตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 4 วันซึ่งค่าครึ่งชีวิตที่ได้สั้น และจากการศึกษาของ Tay, et al. ซึ่งได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอสในสารละลายที่มีอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่างต่างๆ พบว่าค่าครึ่งชีวิตของสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้น โดยจะอยู่ในช่วง 4.57 ถึง 14 วัน [16] ค่าครึ่งชีวิตที่ได้จากงานวิจัยมีค่าสั้นกว่าเล็กน้อยของค่าครึ่งชีวิตของสารคลอร์ไพริฟอสจากการศึกษาของ Tay เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสจากการศึกษาของ Tay มีค่าความเข้มข้นมากกว่า



ภาพ 19 แสดงความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสที่เวลาต่าง ๆของการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิลของสารคลอร์ไพริฟอส



ภาพ 20 แสดงอัตราการระเหยของสารคลอร์ไพริฟอสของการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิลของสารละลายคลอร์ไพริฟอส

ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิลที่อุณหภูมิ 4 และ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น, มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการเกิดปฏิกิริยา, ต่อชั่วโมง	ร้อยละการย่อยสลาย	ค่าครึ่งชีวิต, วัน
4	0.844	0.007	6.67	4
25	1.477	0.014	12.73	2

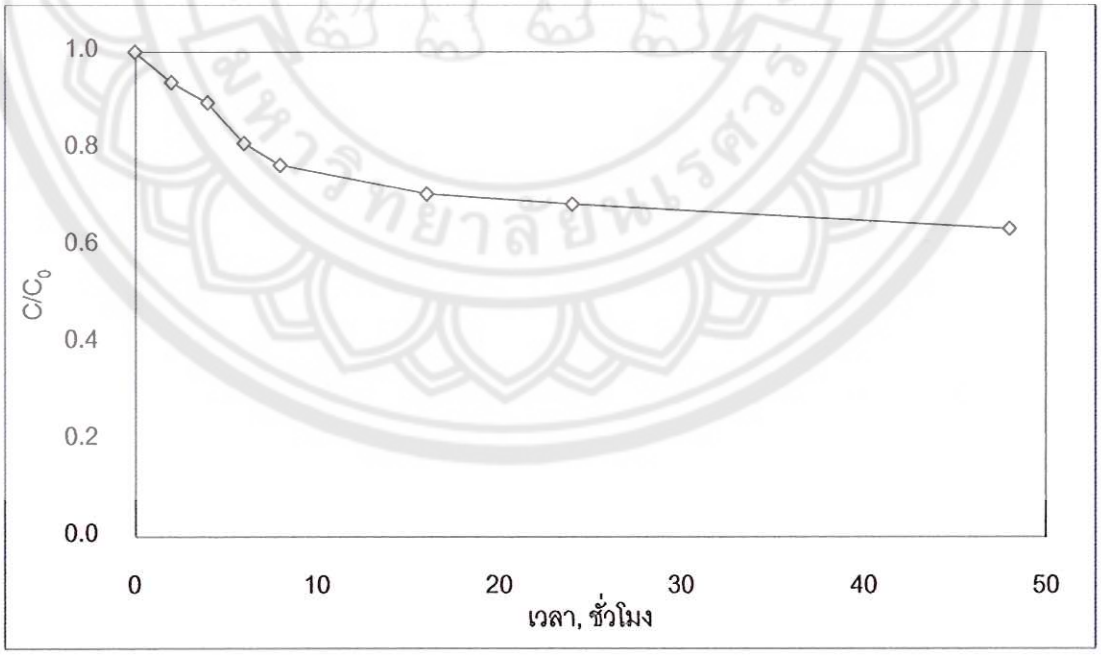
ผลการทดลองการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอส

จากการทดลองการศึกษาการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอส เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอร์ไพริฟอสมีค่าลดลงไปเท่ากับร้อยละ 36.42 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแสดงดังภาพ 21 ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอสด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสเริ่มต้นเท่ากับ 3.517 มิลลิลิตรต่อลิตรต่อชั่วโมง และค่าอัตรา

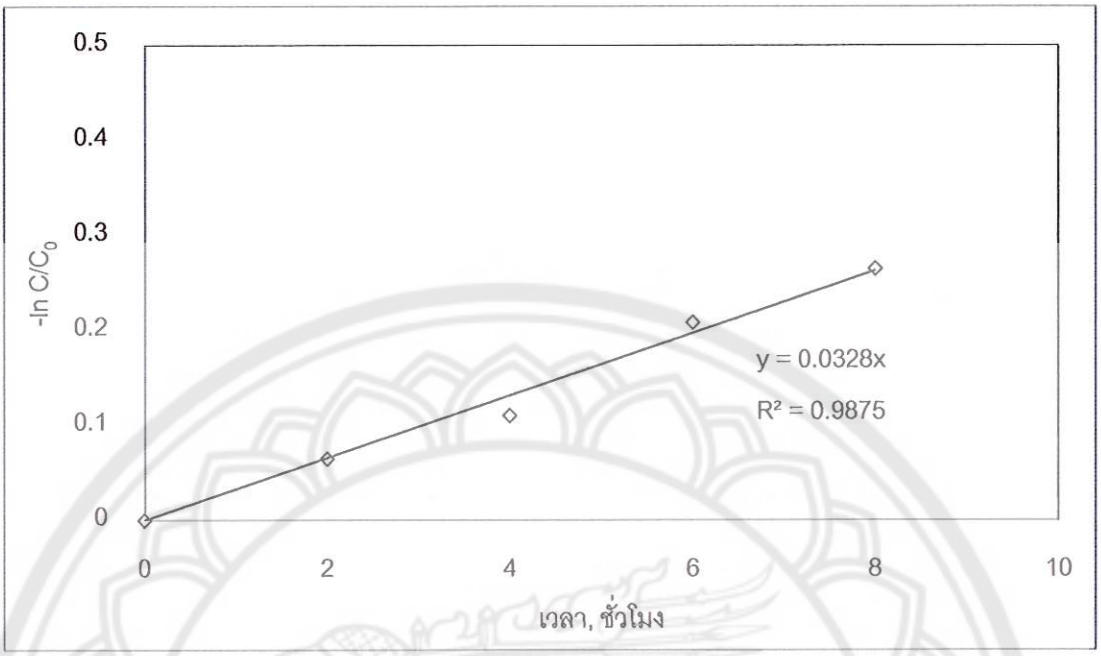
การเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 0.032 ต่อวัน ค่าครึ่งชีวิตของสารคลอร์ไพริฟอสที่ย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสมีค่าเท่ากับ 20.6 ชั่วโมง ดังตาราง 11 สำหรับสมการการย่อยสลายสารละลายคลอร์ไพริฟอสด้วยปฏิกิริยาโฟโตไล-ซิสคือ y= 0.032x แสดงดังภาพ 22 ซึ่งผลการทดลองจากงานวิจัยนี้มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 20.6 ชั่วโมงเมื่อทำการเปรียบเทียบจากการทดลองของ Schimmel, et al. เพื่อศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสในน้ำในช่วงฤดูร้อนในสหรัฐอเมริกาพบว่า ค่าครึ่งชีวิตของสารคลอร์ไพริฟอสจะอยู่ในช่วง 3-4 สัปดาห์ โดยการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสมีผลต่อค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสโดยตรง ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่าในงานวิจัยนี้เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสของ schimmel มีค่ามากกว่า

ตาราง 11 แสดงอัตราการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอส

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น, มิลลิลิตรต่อลิตรต่อชั่วโมง	อัตราการเกิดปฏิกิริยา, ต่อชั่วโมง	ร้อยละ การย่อยสลาย	ค่าครึ่งชีวิต, ชั่วโมง
3.517	0.032	36.42	20.6



ภาพ 21 แสดงความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสที่เวลาต่างๆ จากการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส



ภาพ 22 แสดงอัตราการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสของสารคลอร์ไพริฟอส

การย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดิน

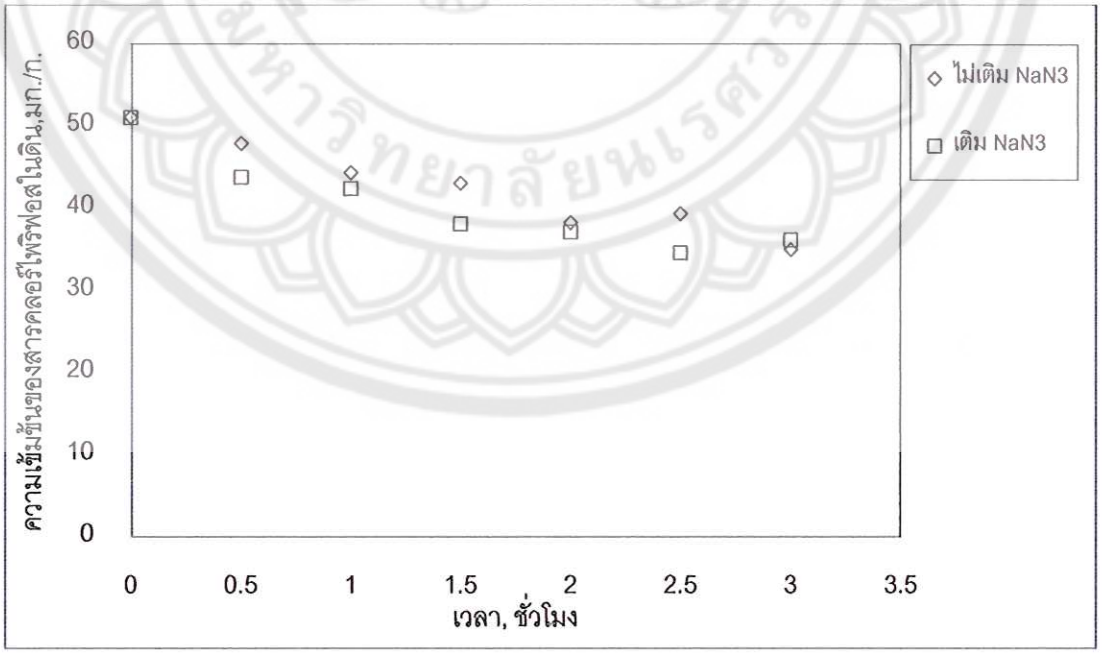
จากการศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดิน 3 ชนิดได้แก่ ดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทรายแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียว

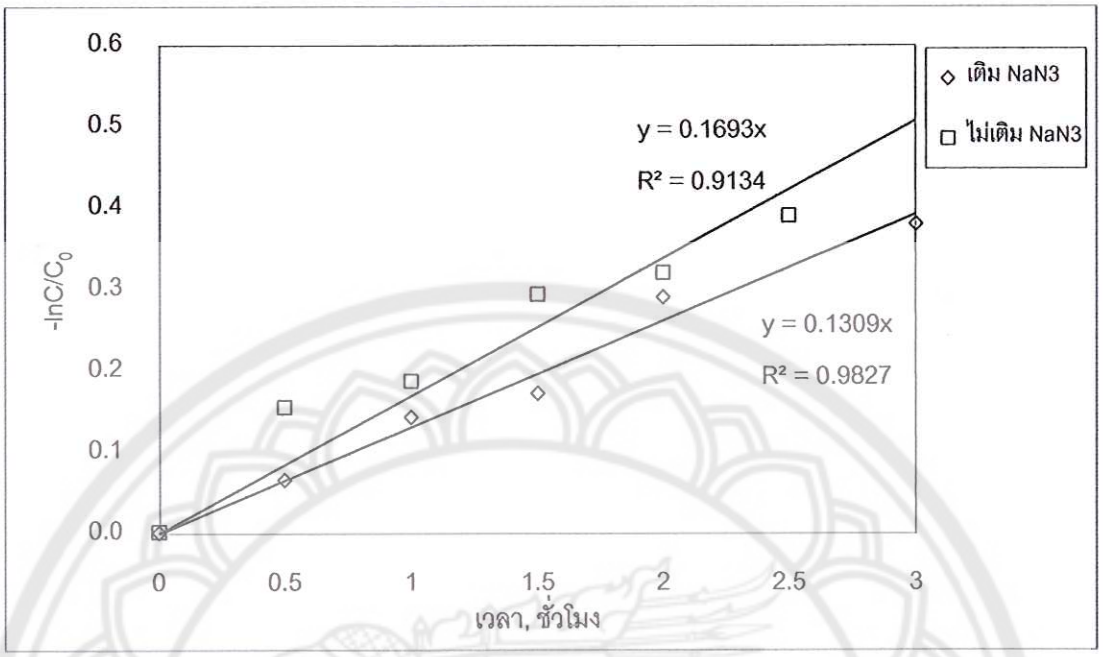
จากการศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียว เมื่อทำการทดลองหาปริมาณแบคทีเรียในดินเหนียวก่อนทำการทดลองพบว่าปริมาณของแบคทีเรียในดินทรายมีค่าเท่ากับ 43,600 โคโลนี จากนั้นทดลองเพื่อศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 ชั่วโมง

พบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ไม่เติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไป 25.9% ซึ่งมีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.169 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.913 อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวเริ่มต้นเท่ากับ 5.913 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 0.169 ต่อชั่วโมง เมื่อทำทดลองแล้วได้ทำการนับจุลินทรีย์ในดินพบว่ามีจุลินทรีย์ในดินเท่ากับ 35,800 โคโลนี

จากนั้นเมื่อทำการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่เติมโซเดียมเอไซด์เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย โดยสารโซเดียมเอไซด์เข้าไปยับยั้งการทำงานของไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในแบคทีเรีย ซึ่งไซโตโครมออกซิเดส เป็นเอมไซม์ตัวสุดท้ายของระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ ทำหน้าที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของออกซิเจนให้เป็นน้ำ [19] มีค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไป 19.74% มีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.13x อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวเริ่มต้นเท่ากับ 5.184 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมงและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 0.13 ต่อชั่วโมงแสดงดังภาพ 23 และ 24 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารคลอร์ไพริฟอสสามารถถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียวเนื่องจากปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าลดลงทั้ง 2 การทดลองแสดงให้เห็นว่านอกจากจุลินทรีย์ในดินเหนียวจะย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอสในดินได้แล้ว สารคลอร์ไพริฟอสสามารถเกิดการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ซึ่งจากงานวิจัยของ Samina, et al. [18] พบว่า ช่วงแรกจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนและหลังจากนั้น 1 วันแบคทีเรียจะเกิดการย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอส



ภาพ 23 แสดงความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว



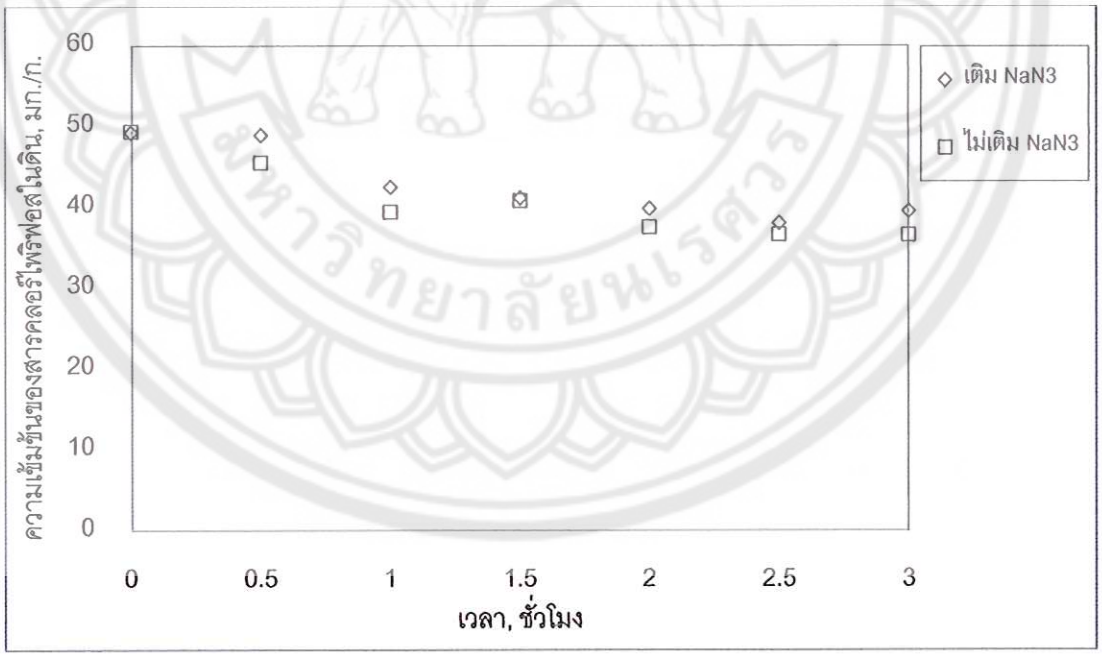
ภาพ 24 แสดงอัตราการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินเหนียว

2. ผลการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทราย

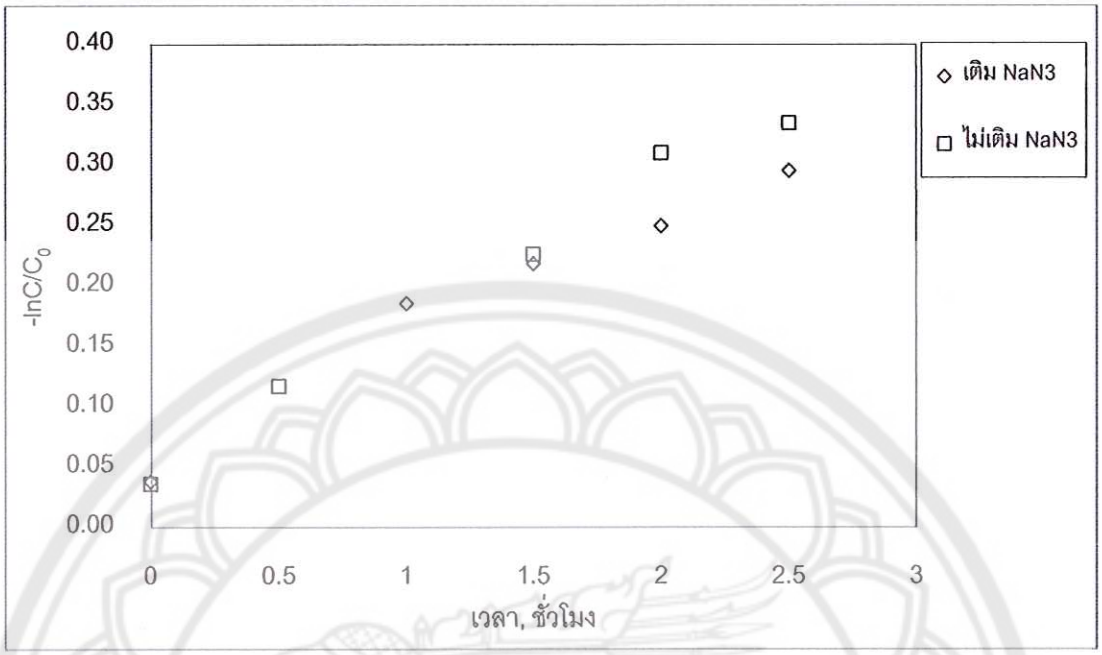
จากการศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทราย เมื่อทำการทดลองหาปริมาณแบคทีเรียในดินทรายก่อนทำการทดลองพบว่าปริมาณของแบคทีเรียในดินทรายมีค่าเท่ากับ 43,600 โคโลนี จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาการย่อยสลายของสารละลายคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 ชั่วโมง

พบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ไม่เติมโซเดียมเอไซด์เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียโดยการเติมสารโซเดียมเอไซด์เป็นการยับยั้ง (inhibitor) การทำงานของจุลินทรีย์โดยสารโซเดียมเอไซด์เข้าไปยับยั้งการทำงานของไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในแบคทีเรีย ซึ่งไซโตโครมออกซิเดส เป็นเอมไซม์ตัวสุดท้ายของระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ ทำหน้าที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของออกซิเจนให้เป็นน้ำ [19] มีค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไป 25.9% อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์-ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายเริ่มต้นเท่ากับ 5.913 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง มีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.129x และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายมีค่าเท่ากับ 0.129 ต่อชั่วโมง เมื่อทำทดลองแล้วได้ทำการนับจุลินทรีย์ในดินพบว่ามีจุลินทรีย์ในดินเท่ากับ 35,800 โคโลนี

จากนั้นเมื่อทำการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 ชั่วโมงพบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่เติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียมีค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไป 19.74% มีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.145x อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายเริ่มต้นเท่ากับ 5.184 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทรายมีค่าเท่ากับ 0.145 ต่อชั่วโมงแสดงดังภาพ 25 และ 26 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารคลอร์ไพริฟอสสามารถถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินทราย เนื่องจากปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าลดลง ทั้ง 2 ซึ่งการทดลองแสดงให้เห็นว่านอกจากจุลินทรีย์ในดินเหนียวจะย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอสในดินได้แล้ว สารคลอร์ไพริฟอสสามารถเกิดการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Samina, et al. [18] พบว่าช่วงแรกจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนและหลังจากนั้น 1 วันแบคทีเรียจะเกิดการย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอส



ภาพ 25 แสดงความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย



ภาพ 26 แสดงอัตราการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินทราย

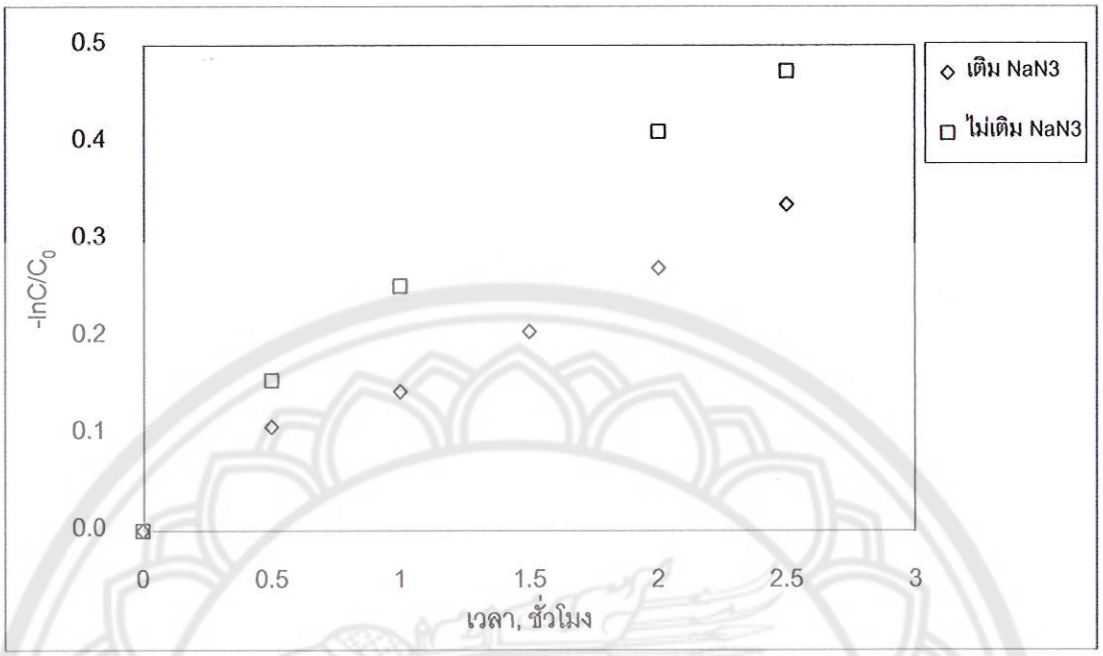
3. ผลการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทราย

จากการศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทราย เมื่อทำการทดลองหาปริมาณแบคทีเรียในดินร่วนปนทรายก่อนทำการทดลองพบว่าปริมาณของแบคทีเรียในดินร่วนปนทรายมีค่าเท่ากับ 3,300 โคโลนี จากนั้นทำการทดลองเพื่อศึกษาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ไม่เติมโซเดียมเอไซด์เพื่อยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์โดยสารโซเดียมเอไซด์เข้าไปยับยั้งการทำงานของไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) ในแบคทีเรีย ซึ่งไซโตโครมออกซิเดส เป็นเอมไซม์ตัวสุดท้ายของระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ ทำหน้าที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของออกซิเจนให้เป็นน้ำ [19] มีค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไปร้อยละ 29.26 มีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.203x **ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายเริ่มต้นเท่ากับ 7.726 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์-ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทราย มีค่าเท่ากับ 0.203 ต่อชั่วโมง เมื่อทดลองแล้วได้นับจำนวนจุลินทรีย์ในดินพบว่ามีจุลินทรีย์ในดินเท่ากับ 1,990 โคโลนี จากนั้นเมื่อทำการทดลองการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายเมื่อทำการทดลองผ่านไป 3**

ชั่วโมงพบว่าปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่เติมโซเดียมเอไซด์เพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียมีค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไปร้อยละ 39.16 มีสมการการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ y= 0.137x อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายเริ่มต้นเท่ากับ 5.844 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายมีค่าเท่ากับ 0.137 ต่อชั่วโมง แสดงดังภาพ 27 และ 28

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสารคลอร์ไพริฟอสสามารถถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทรายเนื่องจากปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าลดลง ทั้ง 2 การทดลองแสดงให้เห็นว่านอกจากจุลินทรีย์ในดินเหนียวจะย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอสในดินได้ ซึ่งสารคลอร์ไพริฟอสสามารถเกิดการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Samina, et al. [18] พบว่าช่วงแรกจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสก่อนและหลังจากนั้น 1 วันแบคทีเรียจะเกิดการย่อยสลายสารคลอร์ไพริฟอส

ภาพ 27 แสดงความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย



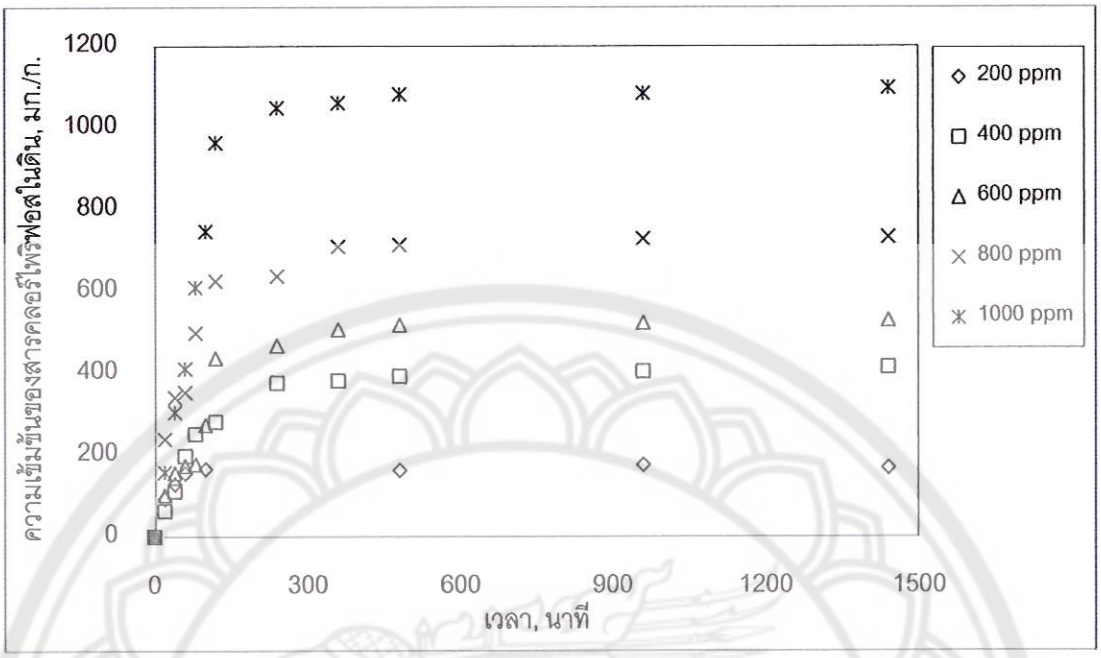
ภาพ 28 แสดงอัตราการย่อยสลายของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยจุลินทรีย์ในดินร่วนปนทราย

การดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสด้วยดินชนิดต่าง ๆ

จากการทดลองศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน 3 ชนิดซึ่งประกอบไปด้วยดินเหนียวดินทรายและดินร่วนตามวิธีของ OECD/OCDE 106 ซึ่งเป็นวิธีการทดลองการดูดซับในรูปแบบกะ (batch experiment)

1. การทดลองการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

จากการทดลองศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 120 นาที หลังจากนั้นการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แสดงดังภาพ 29



ภาพ 29 แสดงการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวที่ความเข้มข้มของต่าง ๆ

และเมื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) ของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 18.715 ลิตรต่อกรัม ในการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินได้ใช้การทดลองเพื่อหาค่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช (Freundlich) และไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir) ในการศึกษาโดยได้แสดงผลการศึกษาในภาพ 30 พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริ-ฟอสในดินเหนียวสามารถอธิบายได้ดีด้วยไอโซเทอมแบบฟรุนดิชโดยสามารถแสดงไอโซเทอมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวตามสมการ (11) ได้ดังนี้

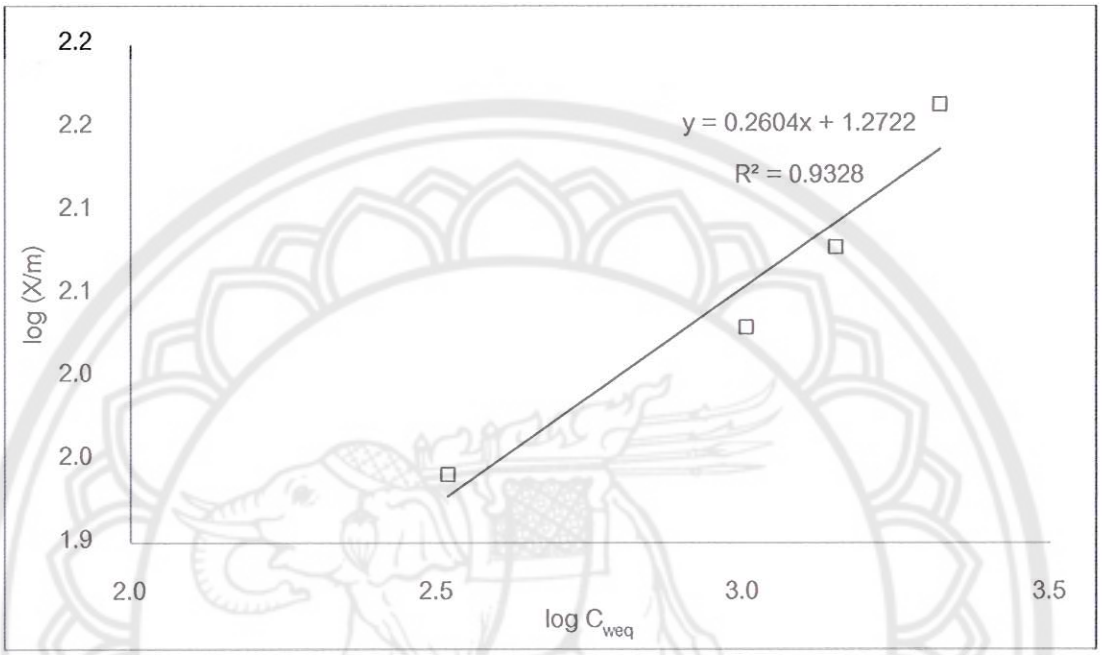
$$C_s = 18.715C_e^{0.2604} \qquad (11)$$

โดยที่ C_s คือ มวลของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักดิน (มก./ก.)

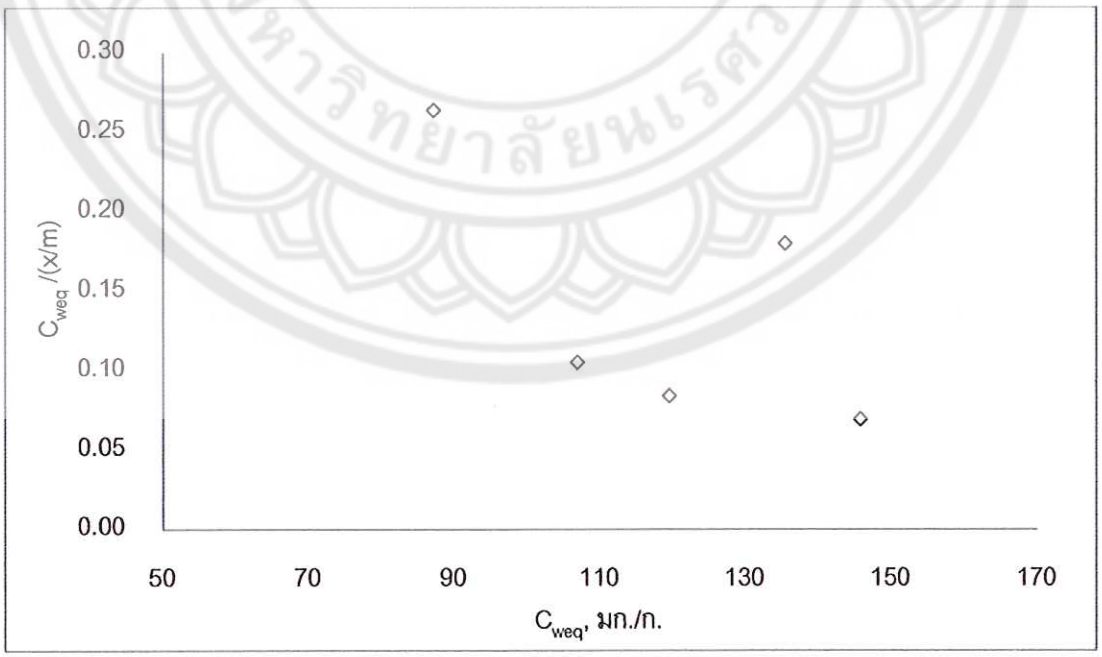
C_e คือ ความเข้มข้นสารคลอร์ไพริฟอสที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)

ในส่วนของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์นั้น ค่าที่ได้ไม่สามารถสร้างสมการเส้นตรงที่สอดคล้องกับรูปสมการของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ได้แสดงดังภาพ 31 และจากการศึกษา

พฤติกรรมการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสดังกล่าวพบว่า ดินมีการดูดซับสารลายคลอร์ไพริฟอสแบบหลายตามรูปแบบของไอโซเทอมฟรุนดิช



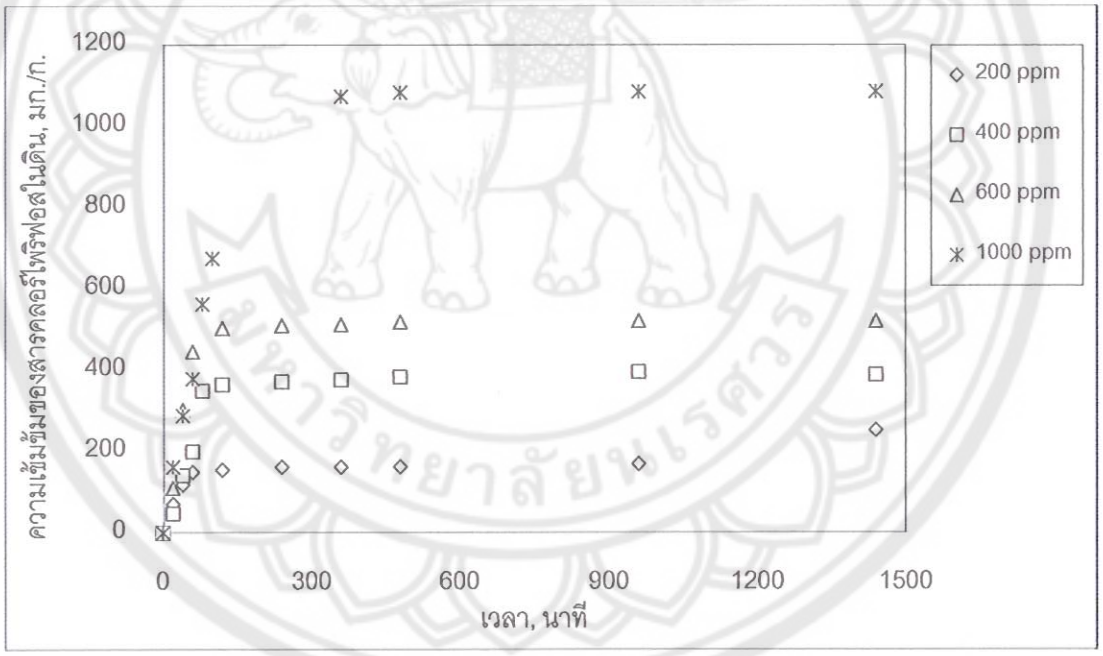
ภาพ 30 แสดงไอโซเทอมฟรุนดิชของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว



ภาพ 31 แสดงไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

2. การทดลองการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

จากการทดลองการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายพบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายจะเกิดปฏิกิริยาการดูดซับอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาประมาณ 360 นาที จากนั้นจึงจะเข้าสู่สมดุล หลังจากนั้นการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งใช้เวลานานกว่าดินเหนียวชนิดแรก ต่อมาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนเข้าสู่สมดุลแสดงดังภาพ 32 และเมื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) ของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายมีค่าเท่ากับ 1.12×10^{-13} ลิตรต่อกรัม ในการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของสารละลายคลอร์ไพริฟอสในดินได้ใช้การทดลองการดูดซับเพื่อหาค่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิชและไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ในการศึกษาโดยได้แสดงผลการศึกษาในภาพ 33



ภาพ 32 แสดงการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายที่ความเข้มข้นต่างๆ

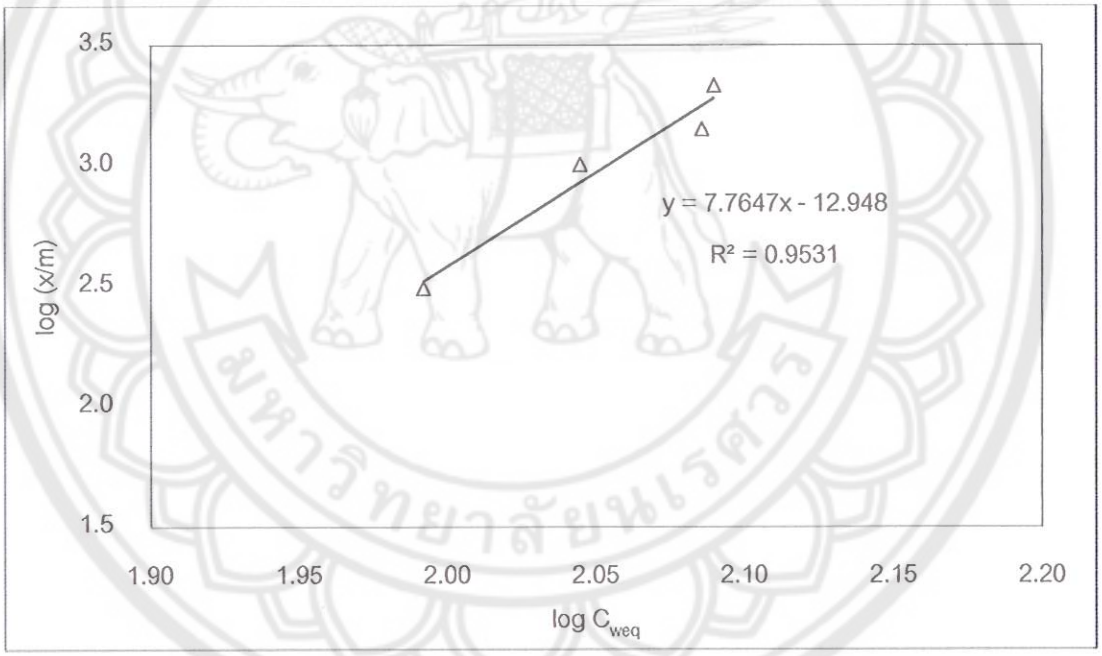
พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวสามารถอธิบายได้ดีด้วยไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช โดยสามารถแสดงไอโซเทอมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวตามสมการ (12) ได้ดังนี้

$$C_s = 1.12\times10^{-13}C_e^{7.765} \quad (12)$$

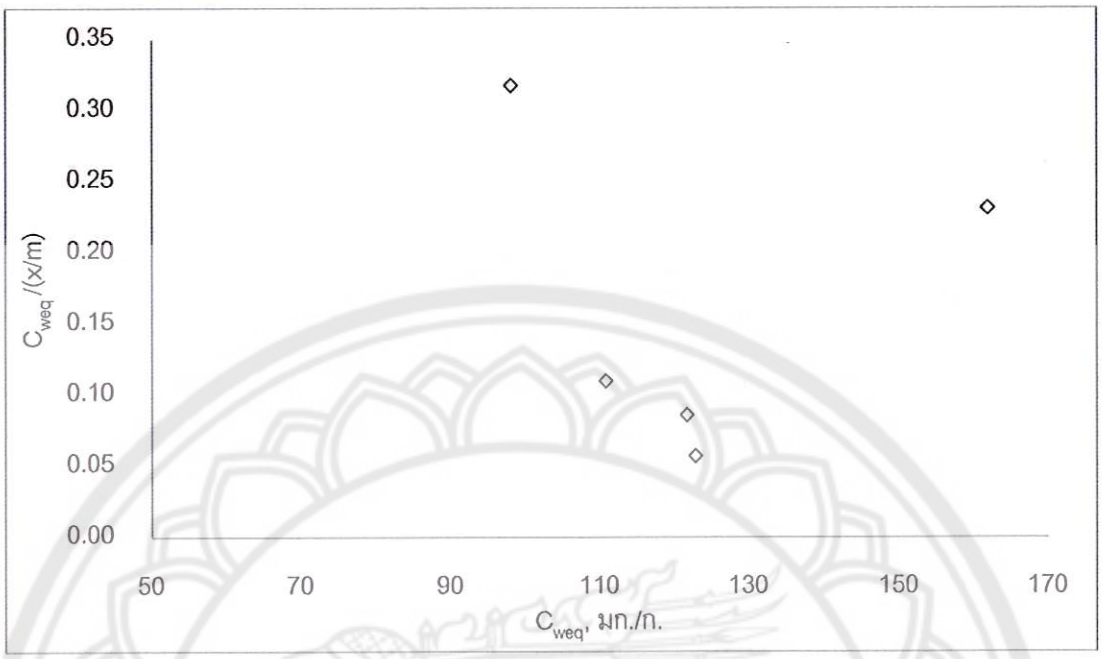
โดยที่ C_s คือ มวลของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักดิน (มก./ก.)

C_e คือ ความเข้มข้นสารคลอร์ไพริฟอสที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)

ในส่วนของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์นั้น ค่าที่ได้ไม่สามารถสร้างสมการเส้นตรงที่สอดคล้องกับรูปสมการของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ได้แสดงดังภาพ 34 และจากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสดังกล่าวพบว่า ดินมีการดูดซับสารสารละลายคลอร์ไพริฟอสแบบหลายชั้น ตามรูปแบบของไอโซเทอมฟรุนดิช



ภาพ 33 แสดงไอโซเทอมฟรุนดิชของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย



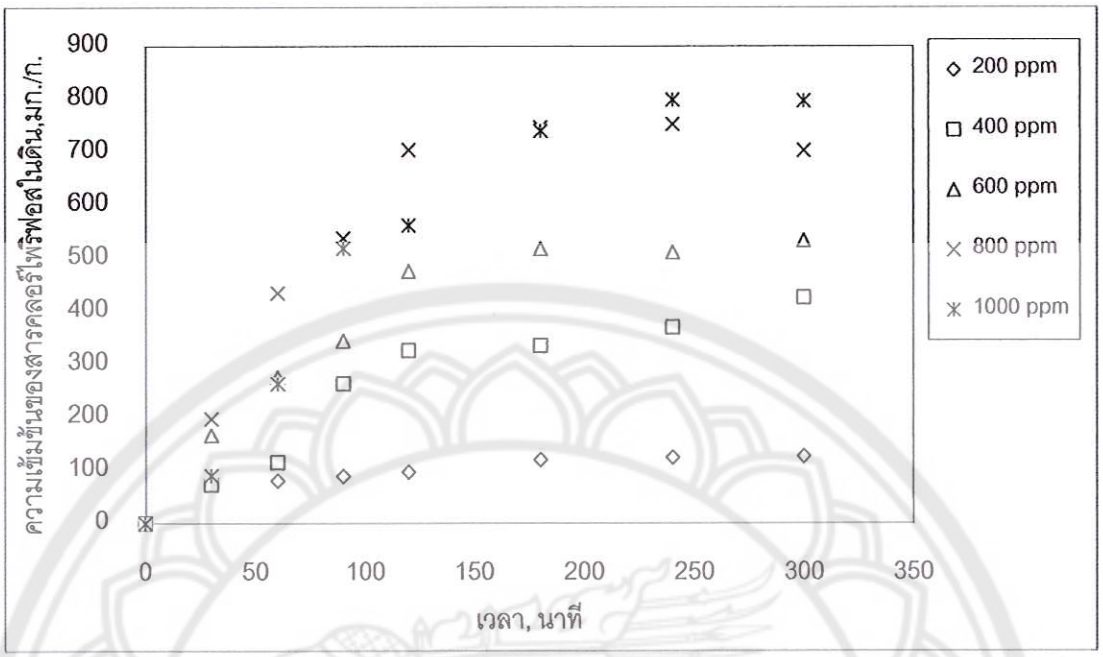
ภาพ 34 แสดงไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

3. การทดลองการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

การดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที หลังจากนั้นการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แสดงดังภาพ 35

และเมื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient) ของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายมีค่าเท่ากับ 4.4×10^{-8} ลิตรต่อกรัม ในการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของสารคลอร์-ไพริฟอสในดินได้ใช้การทดลองเพื่อหาค่าไอโซเทอมแบบฟรุนดิช และไอโซเทอมแบบแลงเมียร์

ในการศึกษาไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช โดยได้แสดงผลการศึกษาในภาพ 36 พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวสามารถอธิบายได้ดีด้วยไอโซเทอมแบบฟรุนดิชโดย**สามารถแสดงไอโซเทอมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวตามสมการ (13) ได้ดังนี้**



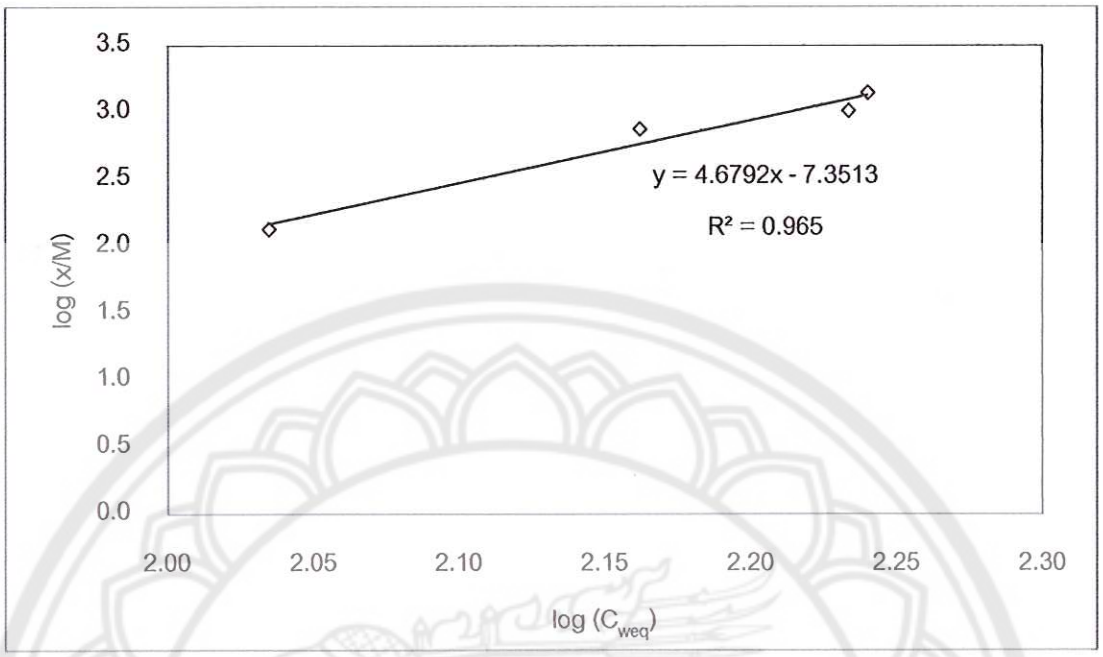
ภาพ 35 แสดงการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

$$C_s = 4.4\times10^{-8}C_e^{4.6792} \qquad (13)$$

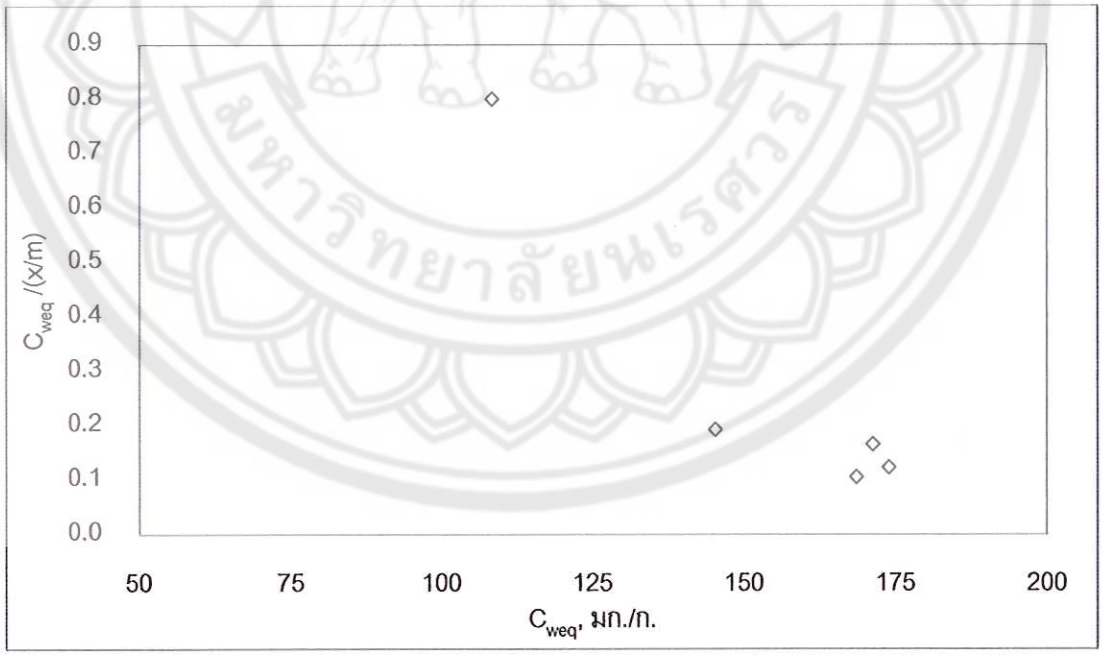
โดยที่ C_s คือ มวลของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักดิน (mg/g) และ

C_e คือ ความเข้มข้นสารคลอร์ไพริฟอสที่สภาวะสมดุล (mg/L)

ในส่วนของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์นั้น ค่าที่ได้ไม่สามารถสร้างสมการเส้นตรงที่สอดคล้องกับรูปสมการของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ได้ แสดงดังภาพ 37 และจากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสดังกล่าวพบว่า ดินดูดซับสารละลายคลอร์ไพริฟอสแบบหลายชั้นตามรูปแบบของไอโซเทอมฟรุนดิช



ภาพ 36 แสดงไอโซเทอมฟรุนดิชของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย



ภาพ 37 แสดงไอโซเทอมแลงเมียร์ของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

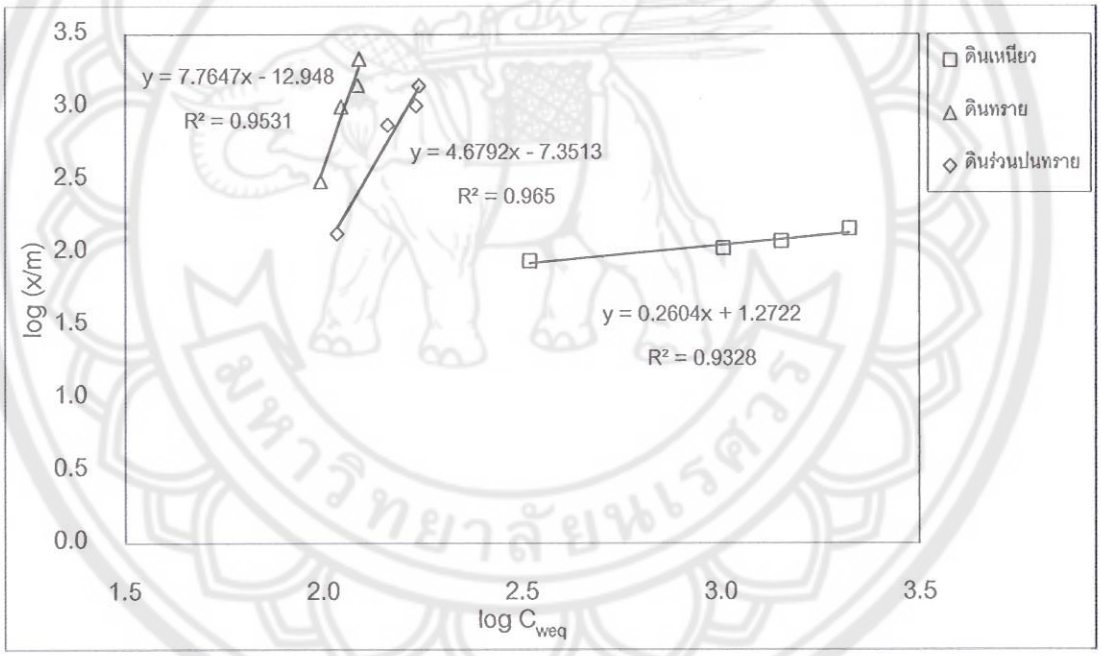
4. การเปรียบเทียบการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด

จากการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิดพบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสจะเกิดการดูดซับขึ้นอย่างรวดเร็วในดินทั้ง 3 ชนิดภายในเวลา 100-360 นาที เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณมากจึงเกิดการดูดซับขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิดจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 100-360 นาที ดินทั้ง 3 ชนิดสามารถดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารละลายคลอร์ไพริฟอสทั้งหมด โดยการดูดซับเริ่มต้นในช่วงแรกเกิดการดูดซับที่พื้นผิวอย่างรวดเร็ว จากนั้นสารคลอร์ไพริฟอสจะเคลื่อนที่และแพร่เข้าไปในสารอินทรียวัตถุและโครงสร้างของดินโดยการดูดซับในดินเหนียวสามารถดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้มากที่สุดโดยสามารถดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้เท่ากับร้อยละ 68.01 ของสารละลายคลอร์ไพริฟอสทั้งหมด มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวเท่ากับ 18.715 ลิตรต่อกรัม ซึ่งดินร่วนปนทรายสามารถดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้เท่ากับร้อยละ 52.56 ของสารละลายคลอร์ไพริฟอสทั้งหมด มีสัมประสิทธิ์การกระจายตัวการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายเท่ากับ 4.4×10^{-8} ลิตรต่อกรัม และดินทรายสามารถดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้เท่ากับร้อยละ 50.94 ของสารละลายคลอร์ไพริฟอสทั้งหมด มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายเท่ากับ 1.12×10^{-13} ลิตรต่อกรัม จากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับปริมาณสารอินทรียวัตถุและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินทั้ง 3 ชนิดคือดินเหนียวปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินเหนียวและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินเหนียวมีมากที่สุดจากดินทั้ง 3 ชนิด รองลงมาคือดินร่วนปนทรายจากนั้นคือดินทรายที่มีปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินทรายและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินทรายน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินที่มีปริมาณแตกต่างกันมีผลต่อการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสซึ่ง จากการศึกษาคุณสมบัติของสารคลอร์ไพริฟอสพบว่าสารคลอร์ไพริฟอสเป็นสารที่สามารถรวมตัวกับอินทรียวัตถุได้ดีมากเพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว ($\log K_{ow}$) เท่ากับ 4.82 [8] และความสามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในดินมีผลต่อการดูดซับในดินทั้ง 3 ชนิดจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด พบว่าไอโซเทอมการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสของดินทั้ง 3 ชนิดเป็นแบบไอโซเทอมแบบฟรุนดิชแสดงดังภาพ 38 ซึ่งจะเป็นการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสแบบหลายชั้น [3] จากการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินของ Valverde, et al. พบว่า ไอโซเทอมการดูดซับ

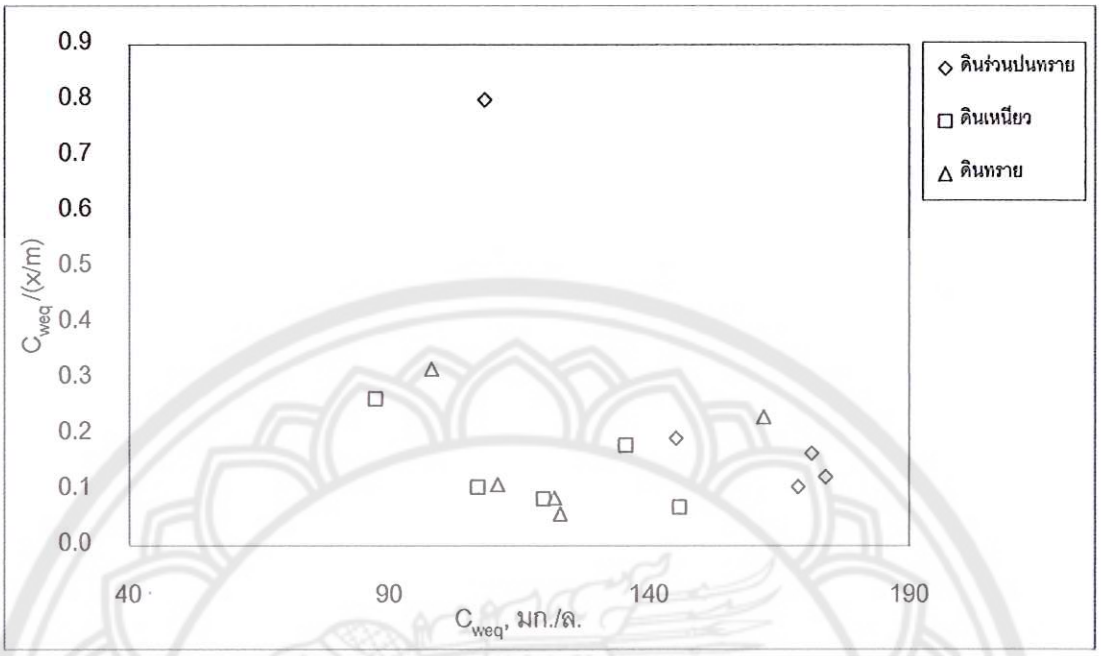
ของสารคลอร์ไพริฟอสเป็นแบบฟลุนดิชโดยมีค่า Kf อยู่ในช่วง 598 ถึง 1723 ลิตรต่อกรัม และมีค่า n อยู่ในช่วง 1.08 ถึง 1.83 ซึ่งจะได้ว่าค่า Kf และ n [8]

ตาราง 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ไอโซเทอมการดูดซับแบบไอโซเทอมแบบฟลุนดิชของดินทั้ง 3 ชนิด

ชนิดของดิน	n	K_f	R^2
ดินเหนียว	0.260	18.715	0.966
ดินทราย	7.765	1.12×10^{-13}	0.9328
ดินร่วนปนทราย	4.679	4.4×10^{-05}	0.965



ภาพ 38 แสดงไอโซเทอมแบบฟรุนดิชของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน 3 ชนิด



ภาพ 39 แสดงไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ของการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน 3 ชนิด

หมายเหตุ: C_{weq} คือ ความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสที่สภาวะสมดุล,
x/m คือ มวลของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักดิน

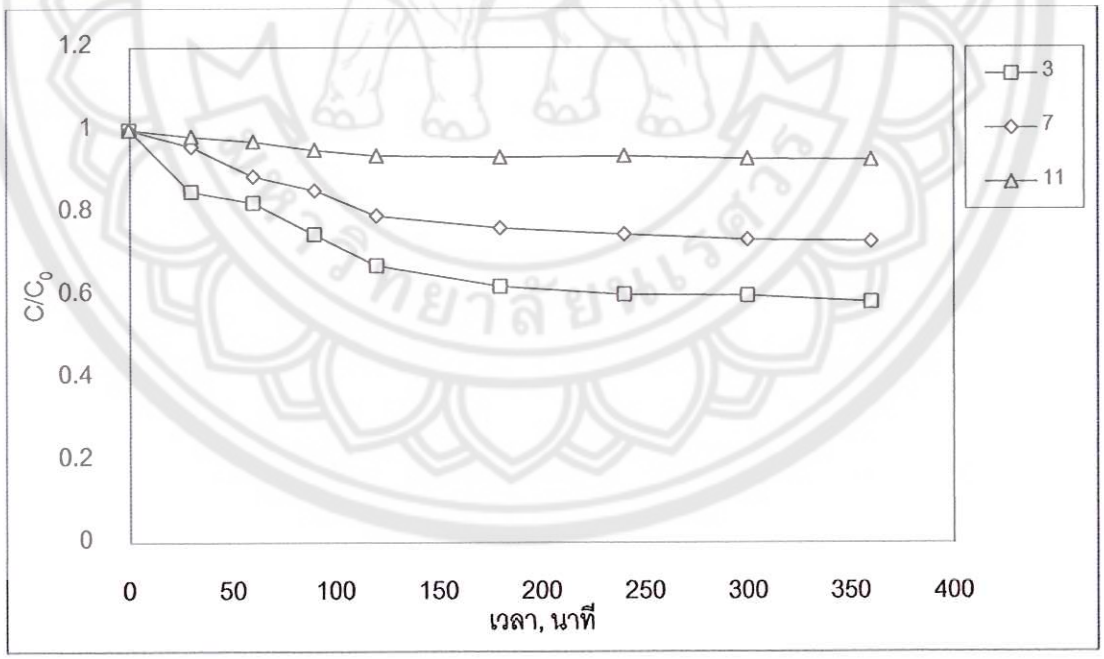
ผลการทดลองและการวิเคราะห์การดูดซับในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสแตกต่างกัน

จากการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกันคือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3, 7 และ 11 ในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทรายได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองเพื่อการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ความเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของสารคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกันในดินเหนียว

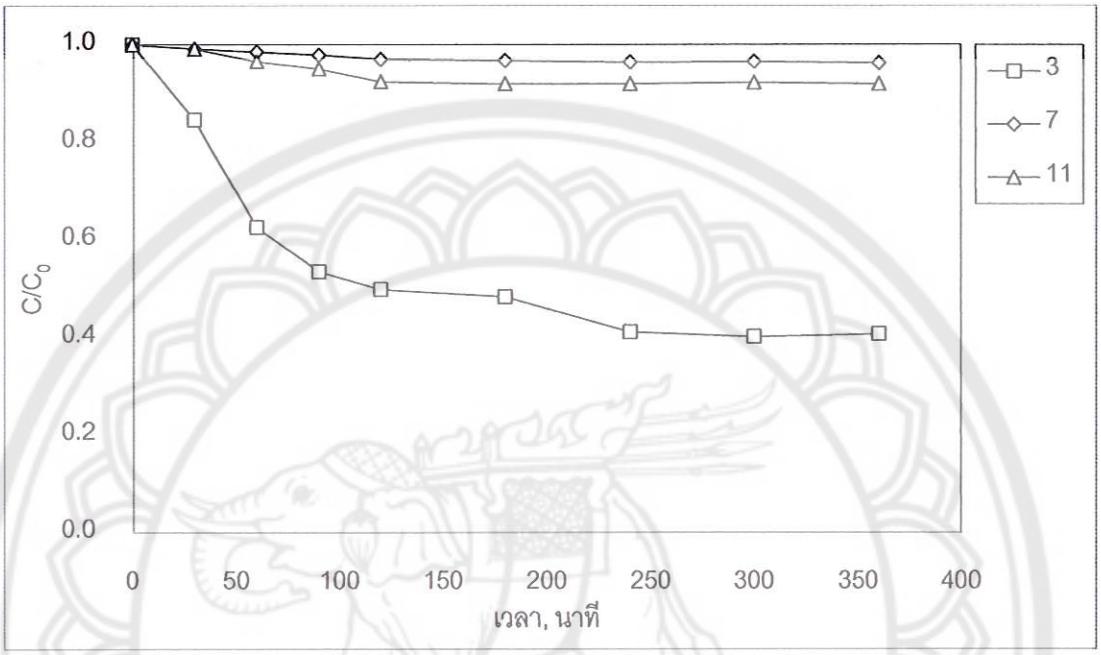
จากการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกัน พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 มีความสามารถในการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสสูงที่สุด ตามด้วยการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีความสามารถในการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสรองลงมา และการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ

11 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด แสดงดังภาพ 40 ซึ่งจากผลการทดลองเป็นเช่นนี้ เนื่องจากสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าคงที่การแตกตัวของโปรตรอนออกมาจากสารอินทรีย์ (pKa) เท่ากับ 4.55 ซึ่งเมื่อสารคลอร์ไพฟอสมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 4.55 นั้นจะแตกตัวเป็นโปรตรอน (H^+) เมื่อสารคลอร์ไพริฟอสเกิดการแตกตัวทำให้ประจุบวกเกิดการดูดติดกับประจุลบที่อยู่บนพื้นที่ผิวของดินทำให้สารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 4.55 ดังนั้นเมื่อการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.55 ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลงแสดงดังภาพ 17 ซึ่งการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีค่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไปตามลำดับ แต่การดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 เกิดขึ้นได้ เนื่องจากกลไกการดูดซับของอินทรียวัตถุในดินของดินเหนียวที่มีค่าสูงมาก ซึ่งดินเหนียวมีค่าปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินสูง จะเห็นได้ว่าที่สารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสน้อยกว่าสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ตามลำดับ เนื่องจากไม่มีการแตกตัวเป็นไอออนของสารคลอร์ไพริฟอส



ภาพ 40 แสดงผลการทดลองการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3, 7 และ 11 ตามลำดับ

2. ผลการทดลองเพื่อการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ความเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของสารคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกันในดินทราย



ภาพ 41 แสดงผลการทดลองการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3, 7 และ 11 ตามลำดับ

จากการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกัน พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 มีความสามารถในการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสสูงที่สุด ตามด้วยการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสารละลายคลอร์ไพริฟอสรองลงมา และการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด แสดงดังภาพ 41 ซึ่งจากผลการทดลองเป็นเช่นนี้เนื่องจากสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าคงที่การแตกตัวของโปรตรอนออกมาจากสารอินทรีย์ (pKa) เท่ากับ 4.55 ซึ่งเมื่อสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 4.55 นั้นสารคลอร์ไพริฟอสจะแตกตัวเป็นโปรตรอน (H^+) ซึ่งเมื่อสารคลอร์ไพริฟอสเกิดการแตกตัวทำให้ประจุบวกเกิดการดูดติดกับประจุลบที่อยู่บนพื้นที่ผิวของดินทำให้สารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือนั้นกว่า 4.55 นั้นเกิดการดูดซับได้ดีกว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็น

กรด-ด่างมากกว่า 4.55 ดังนั้นเมื่อการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.55 ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลงแสดงดังภาพ 18

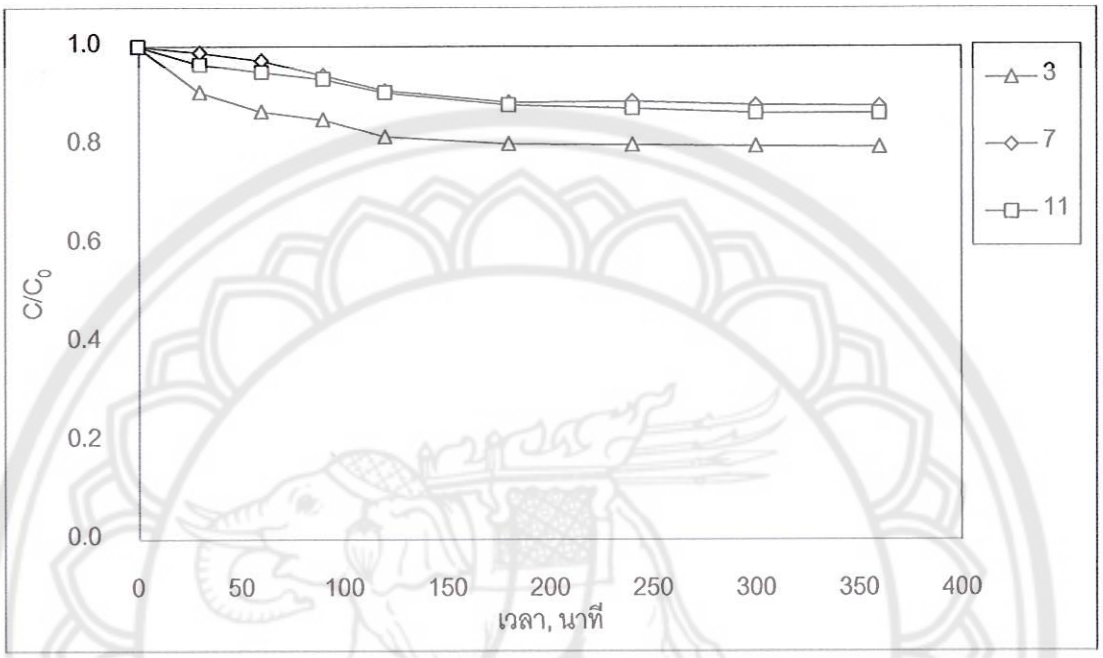
ซึ่งการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีค่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไปตามลำดับ จากการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 เกิดขึ้นได้เนื่องจากกลไกการดูดซับของอินทรียวัตถุในดินของดินทรายถึงแม้ว่าในดินทรายจะมีค่าปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินต่ำแต่สารคลอร์ไพริ-ฟอสยังสามารถดูดซับในสารอินทรียวัตถุในดินทรายได้ จะเห็นว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีการดูดซับแต่น้อยกว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ตามลำดับเนื่องจากไม่มีการแตกตัวเป็นไอออนของสารคลอร์ไพริฟอส

3. ผลการทดลองเพื่อการศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินที่ความเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างของสารคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกันในดินร่วนปนทราย

จากการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกัน พบว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 มีความสามารถในการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสสูงที่สุด ตามด้วยการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 มีความสามารถในการดูดซับสารละลายคลอร์ไพริฟอสรองลงมาและการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด แสดงดังภาพ 42 ซึ่งจากผลการทดลองเป็นเช่นนี้เนื่องจากสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าคงที่การแตกตัวของโปรตรอนออกมาจากสารอินทรีย์ (pKa) เท่ากับ 4.55 ซึ่งเมื่อสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 4.55 นั้นสารคลอร์ไพริฟอสจะแตกตัวเป็นโปรตรอน (H^+) ซึ่งเมื่อสารละลายคลอร์ไพริฟอสเกิดการแตกตัวทำให้ประจุบวกเกิดการดูดติดกับประจุลบที่อยู่บนพื้นที่ผิวของดินทำให้สารคลอร์ไพฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับหรือน้อยกว่า 4.55 นั้นเกิดการดูดซับได้ดีกว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.55 ดังนั้นเมื่อการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.55 ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลงแสดงดังภาพ 42 ซึ่งการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีค่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสลดลงไปตามลำดับ

แต่การดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 เกิดขึ้นได้เนื่องจากกลไกการดูดซับของอินทรียวัตถุในดินของดินร่วนปนทรายถึงแม้ว่าในดินทรายจะมีค่าปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินสูงทำให้สารคลอร์ไพริฟอสยังสามารถดูดซับในสารอินทรียวัตถุในดินร่วนปนทรายได้ จะเห็นว่าที่สารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 มีการดูดซับแต่

น้อยกว่าสารคลอร์-ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 ตามลำดับเนื่องจากไม่มีการแตกตัวเป็นไอออนของสารคลอร์ไพริฟอส



ภาพ 42 แสดงผลการทดลองการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

4. ผลการทดลองเพื่อศึกษาการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่แตกต่างกันในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทราย

เมื่อทำเปรียบเทียบการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3, 7 และ 11 พบว่าการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 สามารถเกิดดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้มากกว่าการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11เนื่องจากสารคลอร์ไพริฟอสจะเกิดการแตกตัวเป็น TCP ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.55 ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ได้แก่ปฏิกิริยาการระเหยของสาร (evaporation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ปฏิกิริยาย่อยสลายด้วยแสง (photolysis) และปฏิกิริยาย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ เป็นต้น จากการแตกตัวของสารคลอร์ไพริฟอสเมื่อทดลองที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 พบว่าสารคลอร์ไพริฟอสความสามารถดูดซับในดินได้มากกว่าสารคลอร์ไพริฟอสที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 11 เนื่องจากโปรตรอนที่เกิดจากการแตกตัวในสภาวะที่เป็นกรดเกิดการดูดกับประจุลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งส่วนใหญ่ก็

เกิดจากการแตกตัวของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือกลุ่มฟินอลิก (phenolic OH group) แสดงดังภาพ 43

ส่วนที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 ไม่เกิดการแตกตัวของคลอร์ไพริฟอสแต่เกิดการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสเนื่องจากสารคลอร์ไพริฟอสมี สัมประสิทธิ์การกระจายตัวหรือค่า partition coefficient, K_{ow} เท่ากับ 50,000 หรือค่า log K_{ow} เท่ากับ 4.82 [14] (*n*-octanol/water) แสดงให้เห็นว่าสารคลอร์ไพริฟอสเป็นสารอินทรีย์ที่มีแนวโน้มที่ถูกดูดซับได้ดีในดินด้วยคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ดังนั้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 11 ในดินทั้ง 3 ชนิดซึ่งมีอินทรียวัตถุสูงจึงทำให้เกิดการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสเกิดขึ้น

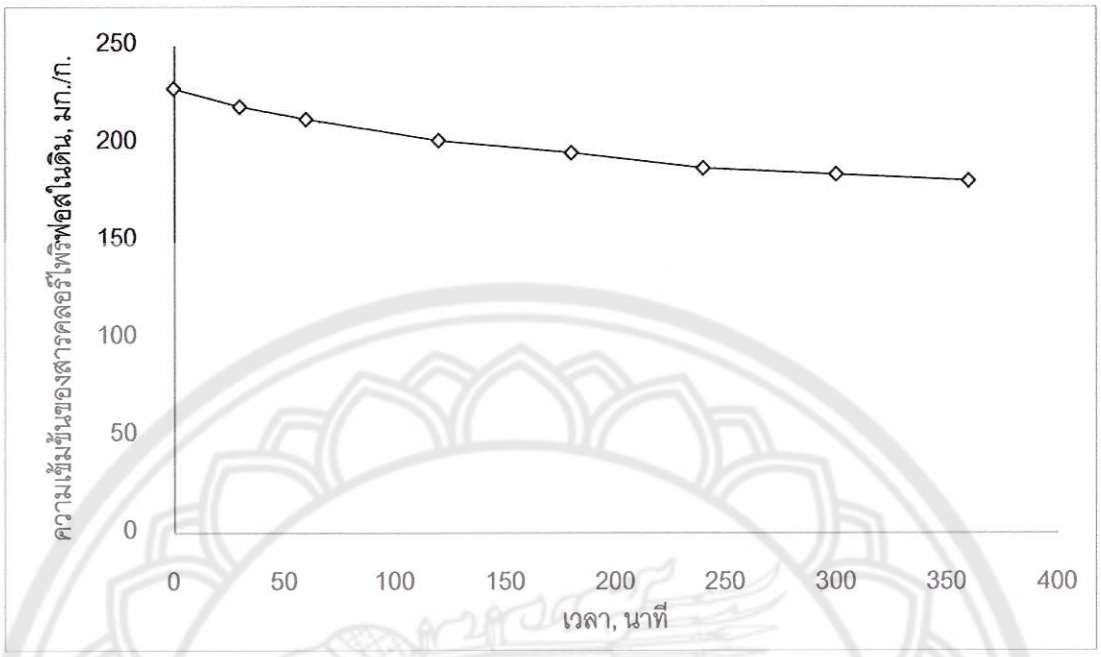
ภาพ 43 แสดงโครงสร้างของกลุ่มฟินอลิก [20]

ผลการทดลองและการวิเคราะห์การคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน

การทดลองการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทราย ตาม OECD/OCDE 106 เป็นการใช้การทดลองแบบกะ (batch equilibrium method) ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

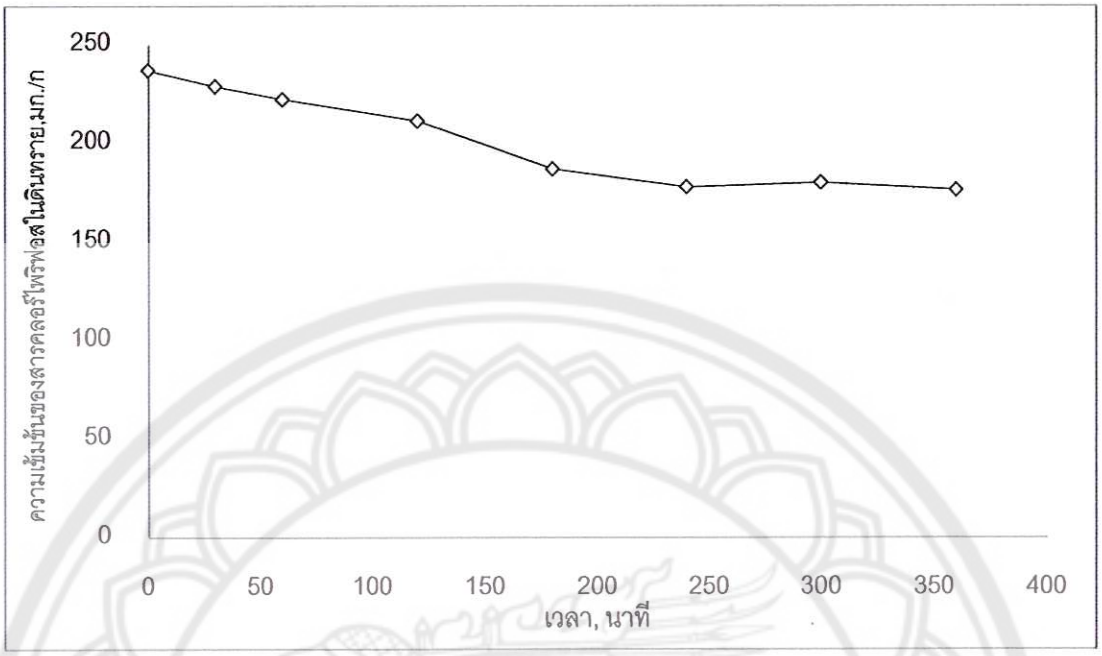
จากการทดลองเพื่อศึกษาการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่าการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 300 นาทีหลังจากนั้นการคายซับจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสไม่เปลี่ยนแปลง (เข้าสู่สมดุล) **สารคลอร์ไพริฟอสสามารถคายซับออกมาได้ร้อยละ 20.75 ของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับทั้งหมด แสดงดังภาพ 44**



ภาพ 44 แสดงการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

2. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

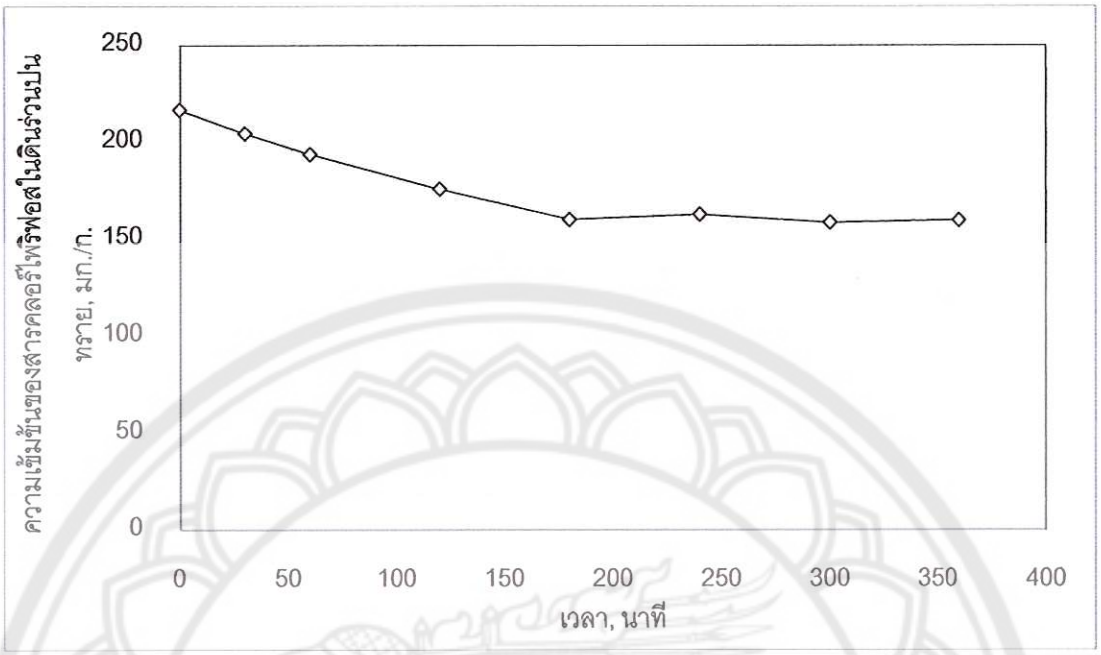
จากการทดลองเพื่อศึกษาการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายพบว่าการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 180 นาทีหลังจากนั้นการคายซับจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสไม่เปลี่ยนแปลง (เข้าสู่สมดุล) สารคลอร์ไพริฟอสสามารถคายซับออกมาได้ร้อยละ 25.54 ของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับทั้งหมด แสดงดังภาพ 45



ภาพ 45 แสดงการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

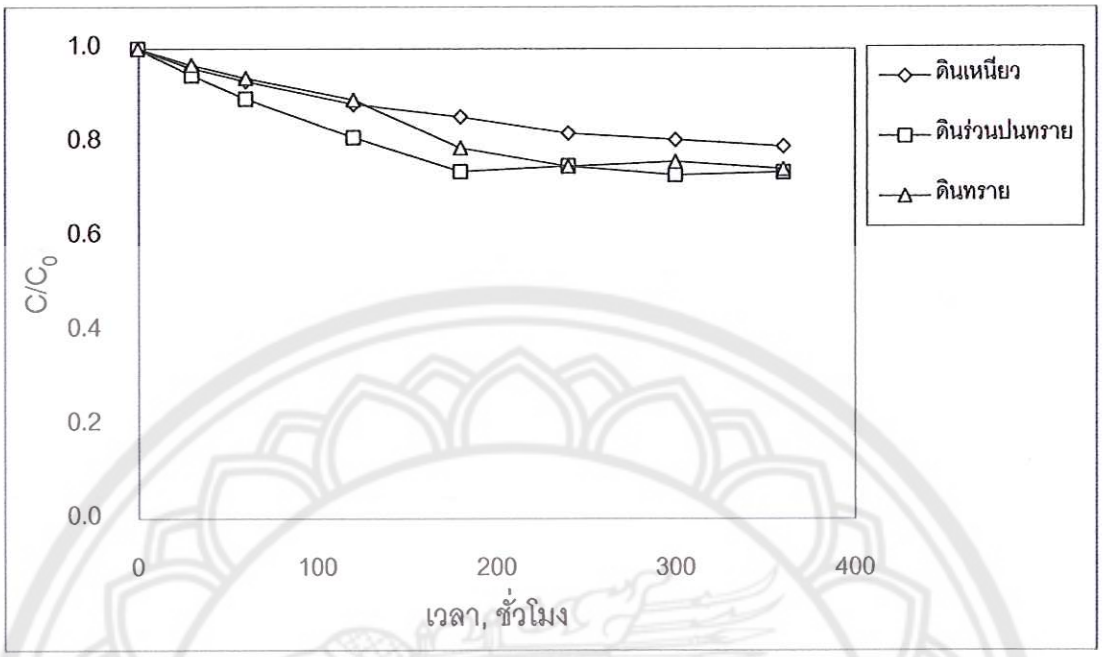
จากการทดลองเพื่อศึกษาการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายพบว่าการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 180 นาที หลังจากนั้นการคายซับจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จนค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสไม่เปลี่ยนแปลง (เข้าสู่สมดุล) สารคลอร์ไพริฟอสสามารถคายซับออกมาได้ร้อยละ 26.28 ของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับทั้งหมด แสดงดังภาพ 46



ภาพ 46 แสดงการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทราย

จากการศึกษาการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิดพบว่าการคายซับของดินทั้ง 3 ชนิดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 180-240 นาทีจากนั้นค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่เกิดจากการคายซับไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งเข้าสู่สมดุลโดยการคายซับของสารละลายคลอร์ไพริฟอสจะเกิดการคายซับออกมาร้อยละ 20-30 ของสารคลอร์ไพริฟอสที่ถูกดูดซับทั้งหมด โดยส่วนใหญ่จะเกิดการดูดซับสารคลอร์ไพริฟอสได้ดีกว่าการคายซับซึ่งการดูดซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน [10]



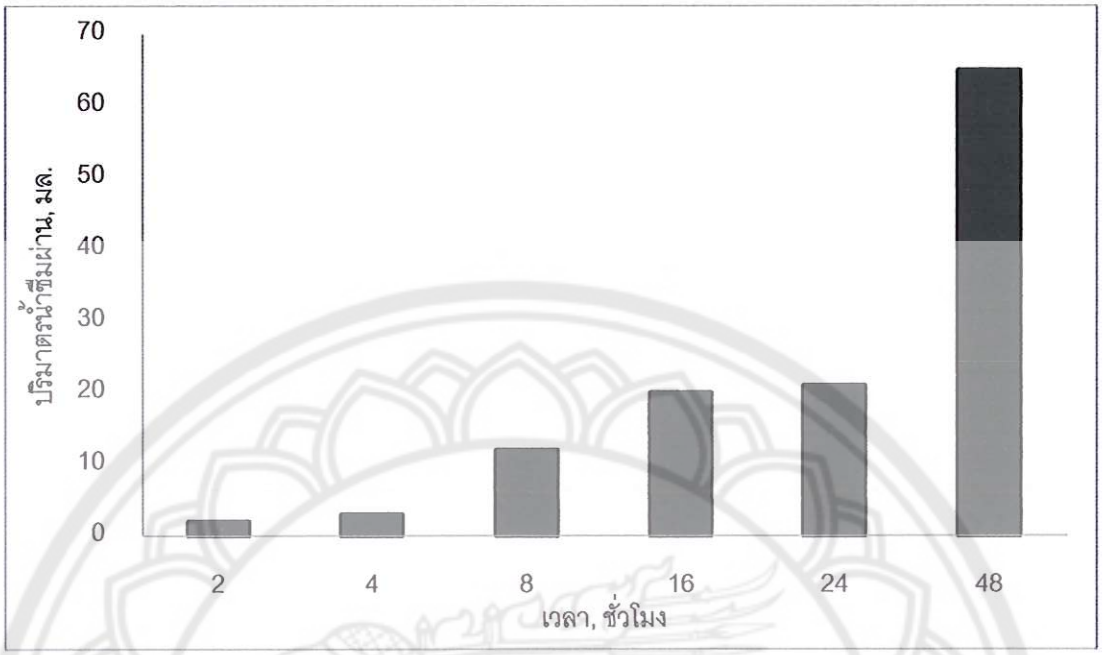
ภาพ 47 แสดงการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดิน 3 ชนิด

แบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทราย

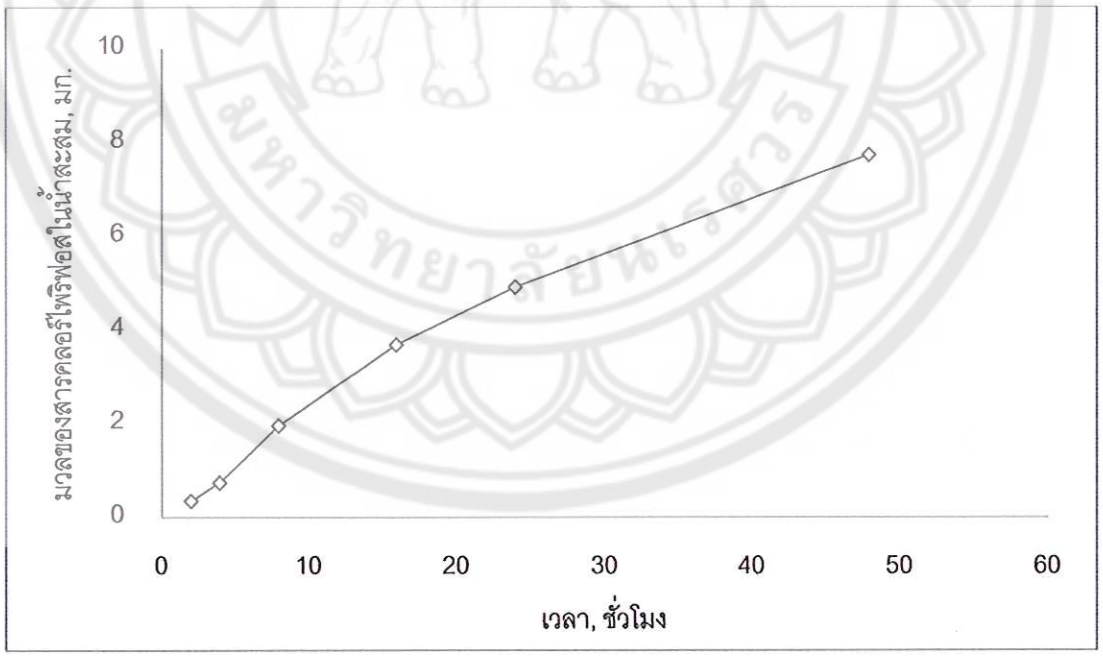
จากการทดลองศึกษาแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด โดยทำการปรับขนาดโดยมีการย่อลักษณะทางกายภาพให้มีอัตราส่วน 1:5 ผลที่ได้จากแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ การตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินและการซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินซึ่งแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

จากการทดลองการซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่าปริมาณน้ำที่ซึมผ่านจากดินในคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงและปริมาณน้ำซึมผ่านสูงสุดคือที่เวลา 48 ชั่วโมงมีปริมาตรเท่ากับ 65 มิลลิลิตรแสดงดังภาพ 48 และเมื่อนำน้ำที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสซึ่งได้ปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสสะสมเท่ากับ 7.735 มิลลิกรัมแสดงดังภาพ 49



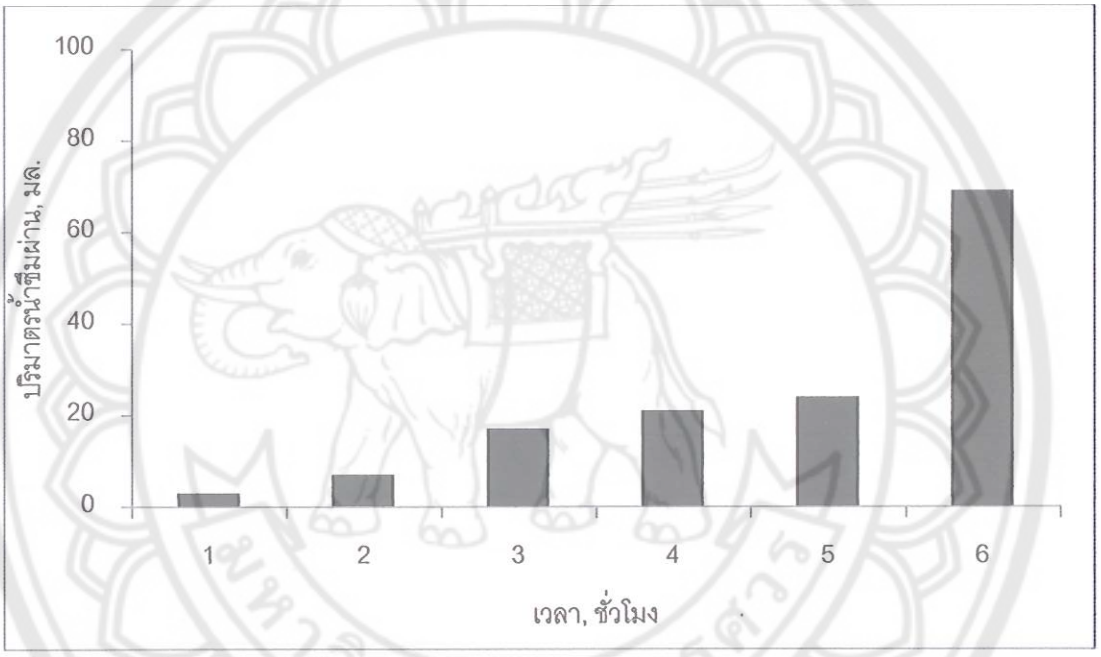
ภาพ 48 แสดงปริมาตรน้ำซึมผ่านแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว



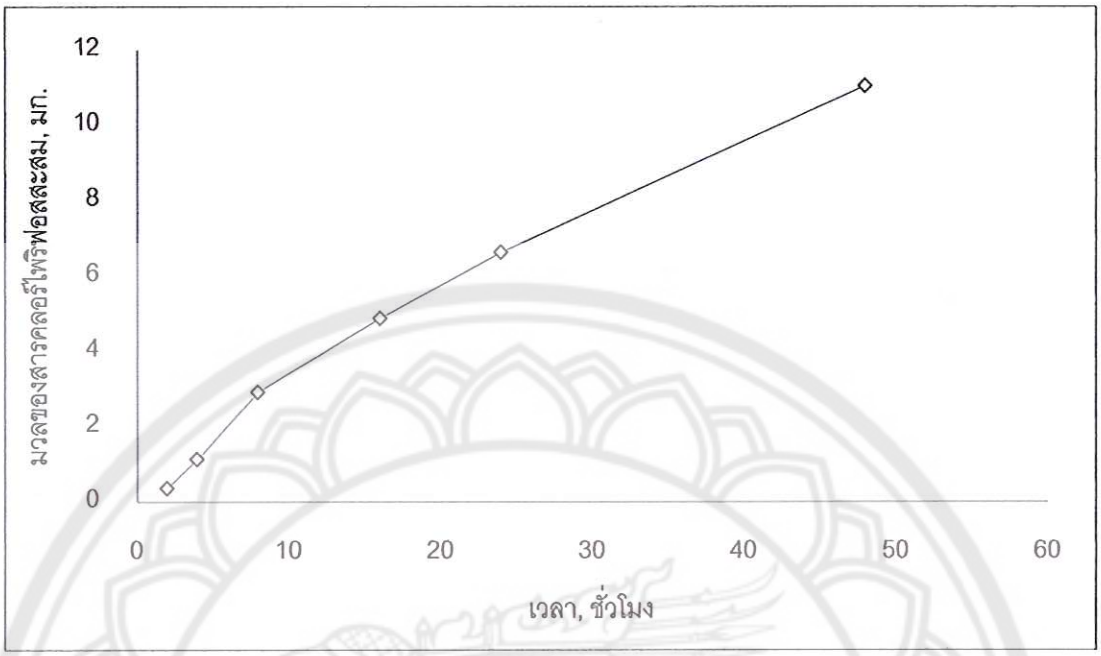
ภาพ 49 แสดงมวลของสารคลอร์ไพริฟอสสะสมในน้ำ

2. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

จากการทดลองการซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรา ยพบว่าปริมาณน้ำที่ซึมผ่านจากดินในคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง และปริมาณน้ำซึมผ่านสูงสุดคือที่เวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาตรเท่ากับ 69 มิลลิลิตรแสดงดังภาพ 50 และเมื่อนำน้ำที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสซึ่งได้ปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสสะสมเท่ากับ 11.056 มิลลิกรัมแสดงดังภาพ 51



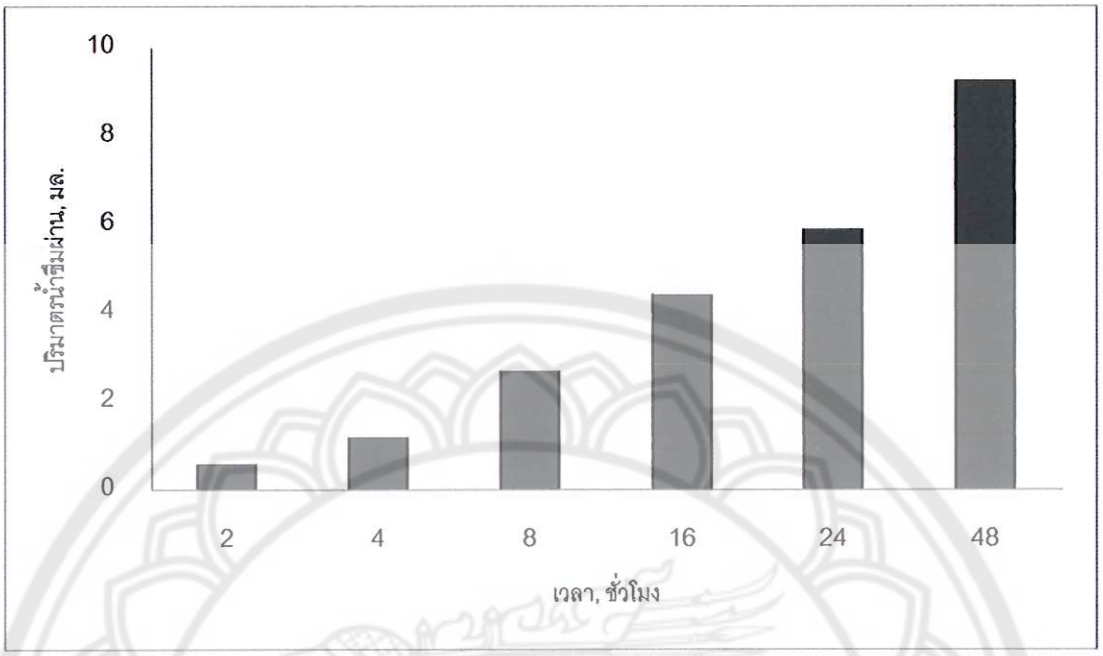
ภาพ 50 แสดงปริมาณน้ำซึมผ่านแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย



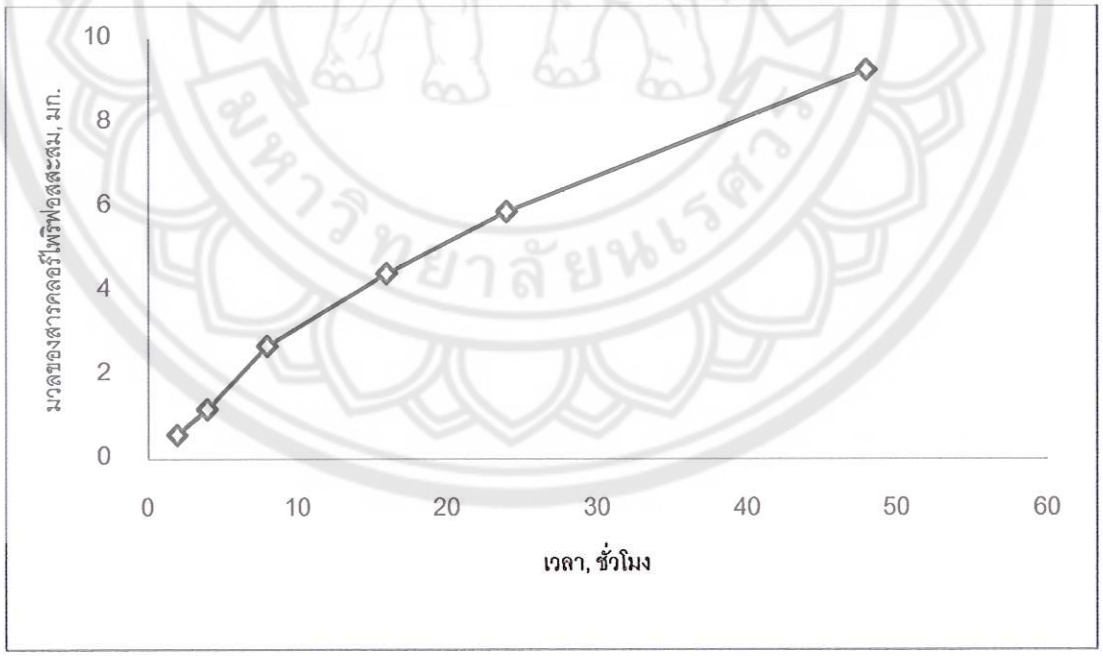
ภาพ 51 แสดงมวลของสารคลอร์ไพริฟอสสะสมในน้ำที่ซึมผ่านคอลัมน์ดินทราย

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

จากการทดลองการซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย พบว่าปริมาณน้ำที่ซึมผ่านจากดินในคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง และปริมาณน้ำซึมผ่านสูงสุดคือที่เวลา 48 ชั่วโมงมีปริมาตรเท่ากับ 73 มิลลิลิตร และนำน้ำที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสารละลายคลอร์ไพริฟอสซึ่งได้ปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสสะสมเท่ากับ 9.26 มิลลิกรัม



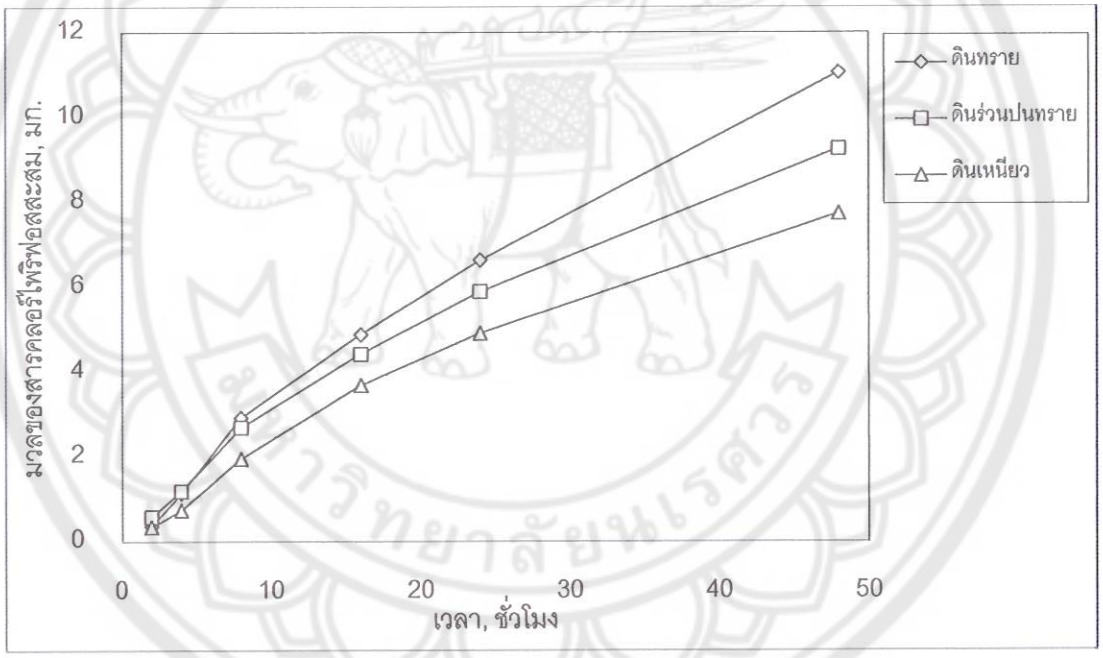
ภาพ 52 แสดงปริมาตรน้ำซึมผ่านแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย



ภาพ 53 แสดงมวลของสารคลอร์ไพริฟอสสะสมในน้ำที่ซึมผ่านคอลัมน์ดินทราย

4. การซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทราย

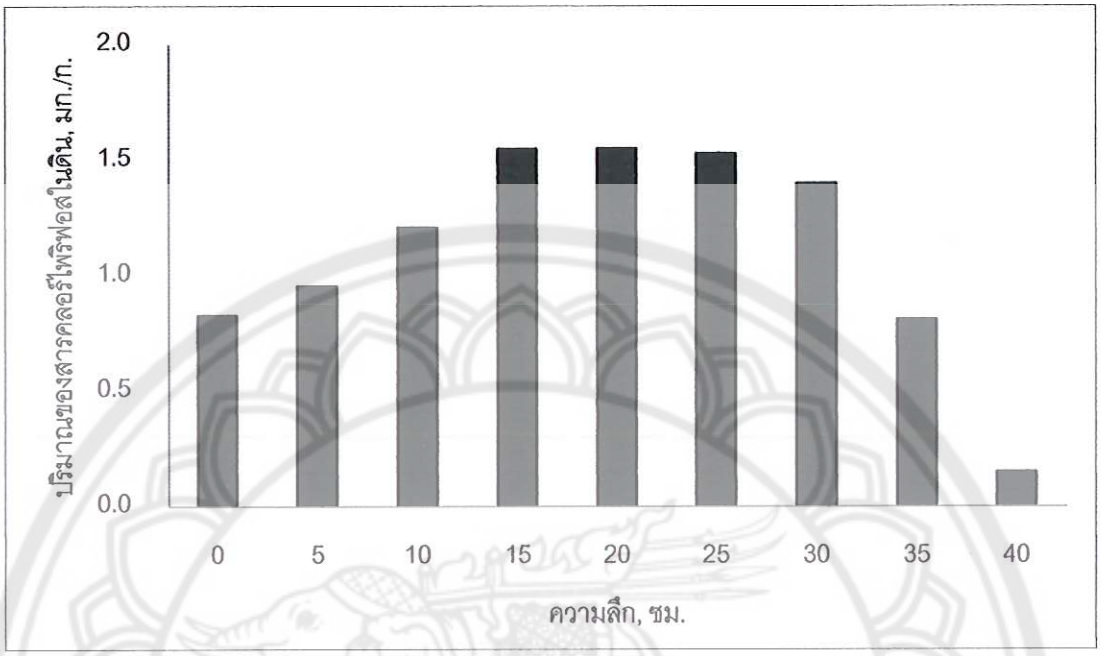
จากการทดลองเพื่อศึกษาการซึมผ่านของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทรายพบว่าปริมาณการซึมผ่านของสารละลายคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิดพบว่าปริมาณสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่ซึมผ่านแบบจำลองการปนเปื้อนของสารคลอร์ไพริฟอสมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการศึกษาปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสที่อยู่ในดินทั้ง 3 ชนิด แสดงดังภาพ 54 เมื่อทำการเปรียบเทียบการซึมผ่านของดินทั้ง 3 ชนิดในคอลัมน์พบว่าคอลัมน์ที่บรรจุดินทรายมีมวลของสารคลอร์ไพริฟอสสะสมในน้ำมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือดินร่วนปนทรายและน้อยที่สุดคือดินเหนียว เกิดเนื่องจากจากการคายซับของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวมีปริมาณการคายซับน้อยที่สุด



ภาพ 54 แสดงมวลของสารคลอร์ไพริฟอสที่อยู่ในน้ำ

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว

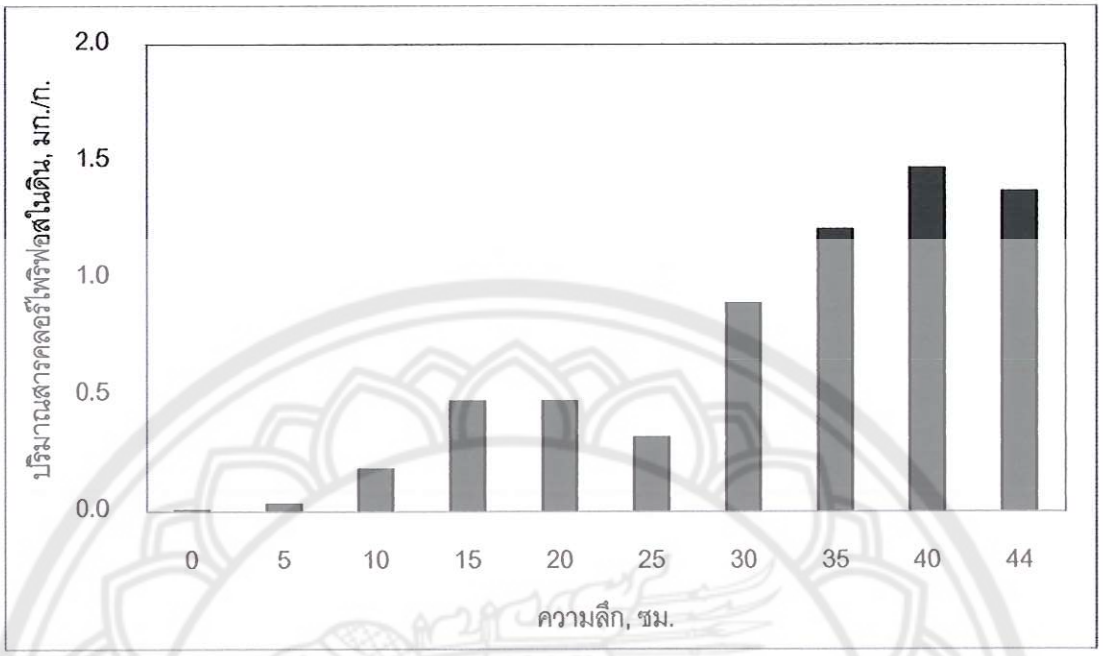
จากผลการทดลองการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่า ปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวที่ความลึก 15-25 เซนติเมตร มีปริมาณมากที่สุดซึ่งเท่ากับที่ระดับความลึกจริงเท่ากับ 75-125 เมตร และที่ระดับความลึก 40 เซนติเมตร มีปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสน้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 2 เมตรที่ระดับความลึกจริงแสดงดังภาพ 55



ภาพ 55 แสดงปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวในคอลัมน์

6. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทราย

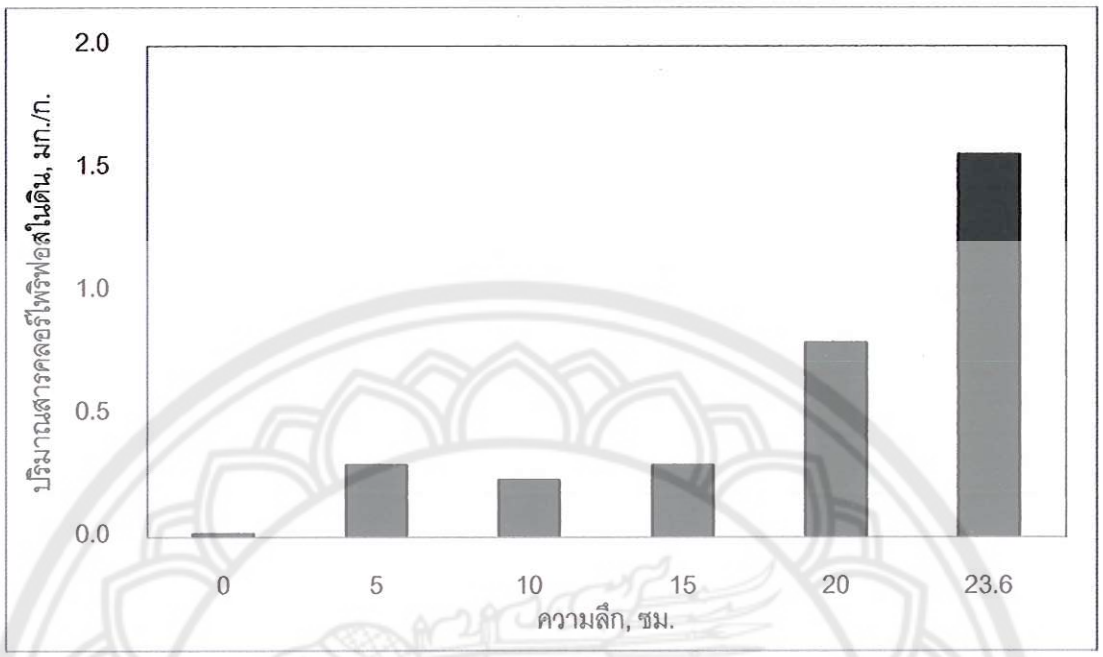
จากผลการทดลองการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียวพบว่า ปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายที่ความลึก 40 เซนติเมตร มีปริมาณมากที่สุดซึ่งเท่ากับที่ระดับความลึกจริงเท่ากับ 2 เมตร และที่ระดับความลึก 0 เซนติเมตร มีปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสน้อยที่สุด แสดงดังภาพ 56



ภาพ 56 แสดงปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายในคอลัมน์

7. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย

ผลการทดลองการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทราย พบว่าปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายที่ความลึก 23.6 เซนติเมตร มีปริมาณมากที่สุดซึ่งเท่ากับที่ระดับความลึกจริงเท่ากับ 1.18 เมตร และที่ระดับความลึก 0 เซนติเมตร มีปริมาณสารคลอร์ไพริ-ฟอสน้อยที่สุดแสดงดังภาพ 57



ภาพ 57 แสดงปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายในคอลัมน์

9. ผลการทดลองและการวิเคราะห์การตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทั้ง 3 ชนิด

จากการศึกษาการตกค้างของสารคลอร์ไพริฟอสในดินเหนียว ดินทรายและดินร่วนปนทรายพบว่า ปริมาณสารคลอร์ไพริฟอสที่ตกค้างในดินเหนียวที่ระดับความลึกจริง 0.60-1.25 เมตร ปริมาณของสารคลอร์ไพริฟอสในดินทรายที่ความลึกจริงเท่ากับ 2 เมตร และปริมาณของสารคลอร์-ไพริฟอสในดินร่วนปนทรายที่ความลึกจริงเท่ากับ 1.18 เมตร ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารคลอร์ไพริฟอสสามารถตกค้างอยู่ในดินที่ระดับความลึกต่างๆ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ข้างต้น [12] และจากค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสมีค่าสูงที่สุดในดินที่อยู่ชั้นบนสุด (0-0.05 เมตร) ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากงานวิจัยเนื่องจาก Redonode, et al. ไม่ได้ทำการเพิ่มน้ำฝนลงไปงานวิจัย [21]