

พฤติกรรมของโลหะภายใต้ภาวะรีดิวซ์ในบ่อเลี้ยง
และแบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*

นางสาววลัยพรรณ เกษทอง

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0678-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

METAL BEHAVIOR UNDER REDUCED CONDITION IN REARING POND AND A QUANTITATIVE
MODEL OF METAL UPTAKE BY TIGER PRAWN *Penaeus monodon*

Miss Walaipan Kesthong



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0678-2

วลัยพรรณ เกษทอง : พฤติกรรมของโลหะภายใต้ภาวะรีดิวซ์ในบ่อเลี้ยงและแบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*. (Metal Behavior under reduced condition in rearing pond and a Quantitative model of metal uptake by Tiger Prawn *Penaeus monodon*) อ. ที่ปรึกษา : ดร.อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 65 หน้า. ISBN 974-17-0678-2.

ทำการศึกษาพฤติกรรมของโลหะภายใต้ภาวะรีดิวซ์ในบ่อเลี้ยงกุลาดำแบบปรับความเค็มบริเวณ อ.พานทอง จ.ชลบุรี โดยใช้อุปกรณ์ flux chamber ฝังลงในบ่อเลี้ยงเป็นเวลา 105 วันเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำในดิน พบว่าปริมาณเหล็กและแมงกานีสมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในเชิงบวก โดยพบการเคลื่อนตัวของจุดที่มีความเข้มข้นแมงกานีสสูงสุดมาทางด้านบนตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการสะสมของตะกอนในบ่อที่มีมากขึ้นตามระยะเวลาเช่นกัน ส่วนสังกะสีไม่สามารถพบความสัมพันธ์ที่เด่นชัดกับค่าศักย์ไฟฟ้าได้

ทำการสร้างแบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำ โดยใช้หลักการทาง elemental fractionation เลือกใช้ฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมเป็นตัวแทนของการส่งผ่านด้วยกระบวนการทางชีวภาพและกระบวนการทางกายภาพตามลำดับ พบว่ากุ้งมีกำจัดโลหะทางมูลมากกว่าการกำจัดทางการลอกคราบ โดยสังกะสีเป็นโลหะที่มีการสะสมอยู่ในกุ้งมากที่สุด รองลงมา เป็นเหล็กและแมงกานีส นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะที่สะสมอยู่ในกุ้งส่วนใหญ่มาจากกระบวนการกิน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172435423 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: REDUCED ENVIRONMENT /METAL /SEDIMENT BIOGEOCHEMISTRY

WALAIPAN KESTHONG : METAL BEHAVIOR UNDER REDUCED CONDITION IN REARING POND AND A QUANTITATIVE MODEL OF METAL UPTAKE BY TIGER PRAWN *Penaeus monodon* THESIS ADVISOR : DR. ANOND SNIDVONGS, 65 pp. ISBN 974-17-0678-2.

The study on metal behavior under reduced condition in rearing pond, was conducted in the shrimp grow-out pond at Panthong, Chonburi Province. Flux chamber, the new equipment is designed to use to collect the data of porewater, was buried in the pond sediment for 105 days. The result showed that there are uniform relationship between the redox potential and the concentration of iron and manganese. The concentration of these metals will increase with the lowering redox potential. The result showed the shift of manganese's peak to the overlying sediment over the period. This also correspondent to the grow-up of the new sediment. The relationship between zinc and redox potential is not clarified.

The quantitative model of metal uptake by tiger prawn, was established with the elemental fractionation Phosphorus and aluminium were chosen to be the normalizing element for the biological and physical process of metal uptake. The result showed that the fecal egestion is the important process to release the unused metal to the environment. Among these metals, zinc is the most accumulated. Feed uptake was the most important process for the shrimp's metal accumulation metal.

Department.....Marine Science..... Student's signature.....

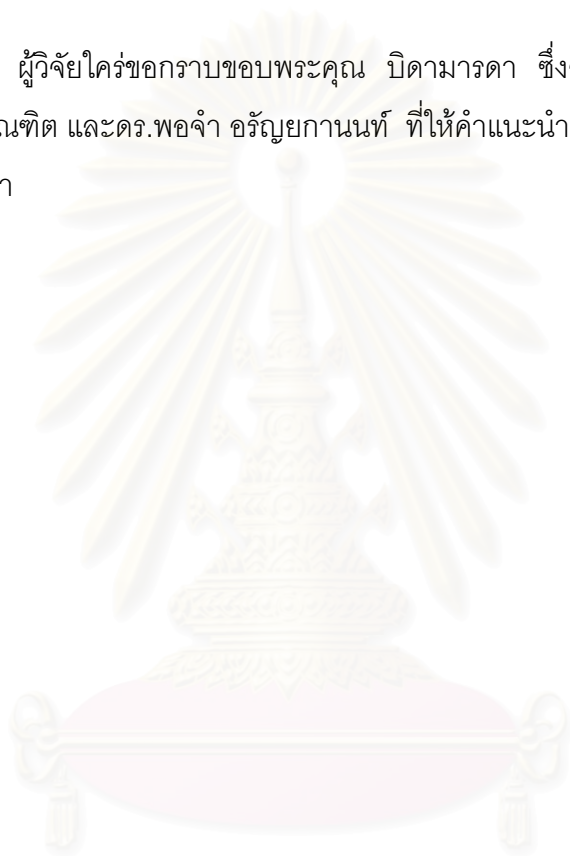
Field of study....Marine Science..... Advisor's signature.....

Academic year.....2001..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลวรรณ อุทุมพุกษ์พร และรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรวิจิตรกุล คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการวิจัยมาด้วยดีตลอด

รวมทั้ง ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และคุณสุรพล ชุณหภัณทิต และดร.พอจำ อรัญยกานนท์ ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ณ

บทที่

1. บทนำ	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. วิธีดำเนินการวิจัย	9
4. ผลการวิจัย	16
5. อภิปรายผลการวิจัย	37
6. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
รายการอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

๗

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในอาหาร	48
2	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในเนื้อกึ่ง	48
3	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในเปลือกกึ่ง และการหาค่า R2 จากเปลือกกึ่ง	48
4	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในมูลกึ่ง	49
5	ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณในแบบจำลอง	49
6	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินโดยคำนวณจากการกำจัด ออกทางการลอกคราบ ในแต่ละช่วงเวลาการเลี้ยง	49
7	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินโดยคำนวณจากการกำจัด ออกทางการลอกคราบ ในแต่ละช่วงเวลาการเลี้ยง	50
8	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินทั้งหมด ในแต่ละช่วงเวลา .	50
9	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินสะสม ในแต่ละช่วงเวลาใน การเลี้ยง	51
10	ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่ง	51
11	สัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสและโลหะทางมูลต่อการกำจัดทางการลอกคราบ ...	51
12	สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่ง .	52
13	สัดส่วนของปริมาณเหล็กส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่ง	52
14	สัดส่วนของปริมาณแมงกานีสส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่ง .	52
15	สัดส่วนของปริมาณสังกะสีส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่ง	53
16	สัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากตัวกึ่งทางมูลและทางการลอกคราบ	53
17	สัดส่วนของการกำจัดเหล็กออกจากตัวกึ่งทางมูลและทางการลอกคราบ	53
18	สัดส่วนของการกำจัดแมงกานีส ออกจากตัวกึ่งทางมูลและทางการลอกคราบ	54
19	สัดส่วนของการกำจัดสังกะสีจากตัวกึ่งทางมูลและทางการลอกคราบ	54
20	สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในส่วนที่กินสะสมกับส่วนที่อยู่ในเนื้อ	54
21	ปริมาณโลหะที่เข้าสู่ร่างกายโดยทางการกินแล้วขับออก คำนวณจาก R2 มูล	55
22	ปริมาณโลหะที่เข้าสู่ร่างกายโดยทางการกินแล้วขับออก คำนวณจาก R2 เปลือกกึ่ง .	55

สารบัญภาพ

ณ

ภาพที่	หน้า
1 ลำดับของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับจุลชีพ	5
2 การกระจายตัวของเหล็กและแมงกานีสในตะกอนดินจากทะเลสาบ ซึ่งมีผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh และ pH	6
3 Flux Chamber ที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโลหะในน้ำในดิน	10
4 ตำแหน่งของฟลักซ์ที่ทำกรฝัง flux chamber	11
5 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1	17
6 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2	17
7 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3	18
8 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4	18
9 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	19
10 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1	20
11 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2	20
12 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3	21
13 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4	21
14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณเหล็กในดิน	22
15 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	22
16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณเหล็กในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	23
17 ปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1	24
18 ปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2	24
19 ปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3	25
20 ปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4	25
21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณแมงกานีสในดิน	26
22 ปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	26
23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณแมงกานีสในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	27
24 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1	28
25 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2	28
26 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ญ

ภาพที่	หน้า
27 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4	29
28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพรีดอกซ์กับปริมาณสังกะสีในดิน	30
29 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	30
30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพรีดอกซ์กับปริมาณสังกะสีในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	31
31 สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน	33
32 สัดส่วนของปริมาณเหล็กที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน	33
33 สัดส่วนของปริมาณแมงกานีสที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน	34
34 สัดส่วนของปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน	34
35 ปริมาณฟอสฟอรัสที่กินสะสมและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อกึ่ง	35
36 ปริมาณเหล็กที่กินสะสมและปริมาณเหล็กในเนื้อกึ่ง	35
37 ปริมาณแมงกานีสที่กินสะสมและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อกึ่ง	36
38 ปริมาณสังกะสีที่กินสะสมและปริมาณเหล็กในเนื้อกึ่ง	36
39 การเคลื่อนที่ของ peak ของปริมาณแมงกานีสในน้ำในดิน	38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กึ่งกุลาดำเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยอย่างมหาศาล ซึ่งในปัจจุบันผลผลิตเกือบทั้งหมดได้มาจากการเพาะเลี้ยง ในสภาพการเพาะเลี้ยงในบ่อดินเกษตรกรรมมักจะเน้นให้ความสำคัญส่วนใหญ่ไปที่คุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยงและอาหาร ส่วนสภาพของดินก้นบ่อนั้นยังมีการกล่าวถึงน้อยมาก บ่อเลี้ยงกึ่งกุลาดำเกือบทั้งหมดเป็นบ่อดิน ภายในดินเป็นที่สะสมสารต่าง ๆ จำนวนมากซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนกับน้ำที่อยู่ในบ่อตลอดเวลา สภาพของดินจึงมีผลกับคุณภาพของน้ำในบ่อและย่อมส่งผลไปยังตัวกุ้งที่เลี้ยงอย่างแน่นอน ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติ สภาพของดิน และกระบวนการหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินย่อมให้ประโยชน์กับการเพาะเลี้ยงกึ่งกุลาดำ

กระบวนการรีดอกซ์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการเลี้ยงกุ้งในบ่อดินอย่างสูง เนื่องจากกระบวนการทางชีววิทยาซึ่งมีผลกับสภาพของดิน คุณภาพของน้ำและผลผลิตของสิ่งมีชีวิตเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ทั้งสิ้น ตัวอย่างเช่น กระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นกระบวนการรีดอกซ์ขึ้นอย่างหนึ่ง โดยคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ถูกตรึงไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของคาร์โบไฮเดรตพร้อมทั้งดึงพลังงานเข้ามาสะสมไว้ด้วย กระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ก็เป็นกระบวนการออกซิเดชันอย่างหนึ่งโดยคาร์บอนในรูปสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และให้พลังงานออกมา แต่การหายใจของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์สารในบ่อดินมักมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเข้าไปมากกว่าอัตราการแพร่ของออกซิเจนผ่านลงมาจากดินชั้นบนสู่ดินชั้นล่าง จึงทำให้เกิดการแบ่งชั้นในแนวตั้งตามตัวรับอิเล็กตรอนที่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหายใจ ที่ชั้นผิวของดินยังมีออกซิเจนอยู่ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่ลึกลงไปปริมาณออกซิเจนจะน้อยลงมากจุลินทรีย์จะสลับไปใช้ในเตรท, เหล็ก, แมงกานีส, ซัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนหรือตัวออกซิไดซ์ในกระบวนการหายใจแทนตามลำดับ ถึงแม้ว่าสารที่ละลายน้ำเหล่านี้ในสภาพปกติจะมีโอกาสไม่มากที่จะแพร่เข้าสู่บ่อเลี้ยงเนื่องจากถูกกักอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำที่ชั้นของดินที่ผิวด้านบนซึ่งมีออกซิเจน (aerobic) แต่การกวนตะกอนของสัตว์หน้าดิน การให้อาหารอย่างมาก รวมทั้งการเลี้ยงแบบหนาแน่นสูง (superintensive) ในสภาพการเลี้ยงจริงก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารเหล่านี้มีโอกาสแพร่สู่ชั้นน้ำในบ่อเลี้ยงได้ เพราะการนำเข้ามาของอินทรีย์สารสู่ระบบในระหว่างการเลี้ยงเป็นจำนวนมากทั้งจากอาหารที่ให้และของเสียจากสัตว์ ทำให้เกิดชั้นดินที่ขาดออกซิเจน (anaerobic) ที่ผิวน้ำของดินก้นบ่อ แม้ว่าบริเวณดินที่รอยต่อระหว่างน้ำและดินส่วนใหญ่มักจะไม่มีอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนทั้งหมดแต่ก็อาจเกิดขึ้นในบางบริเวณได้ แต่จากการพิจารณาพบว่าเมื่อเกิดสภาพแวดล้อมที่ขาดออกซิเจนขึ้นในบ่อแม้เพียงน้อยก็ทำให้ปริมาณโลหะมีการ

เปลี่ยนแปลงได้ จากการศึกษาของ Boyd (1995) พบว่าอินทรีย์สารและอนุภาคดินที่ถูกกวมาจากดิน ก้นบ่อบางส่วนจะมีการสะสมอยู่ที่บริเวณกลางบ่อเลี้ยง ตะกอนที่สะสมเหล่านี้มักจะมีผิวหน้าที่เป็นชั้น ดินที่ขาดออกซิเจนจึงทำให้สารที่อยู่ในสภาพถูกรีดิวซ์แพร่ออกสู่น้ำด้านบน การให้อากาศในบ่อก็เป็น ปัจจัยหนึ่งที่กวนตะกอนก้นบ่อโดยพบว่าบ่อที่มีการให้อากาศจะมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าบ่อ ที่ไม่ได้ให้อากาศ เนื่องจากการกวนดินก้นบ่อโดยแรงของกระแสจะนำเอาไนโตรเจนจากชั้นดินที่ขาด ออกซิเจนเข้าสู่ผิวน้ำ เราพบว่าปัจจัยตัวหนึ่งซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพขาดออกซิเจนก็คือค่าศักย์ออกซิ เดชั่น-รีดักชั่นหรือค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นหรือรี ดักชั่นในกระบวนการเคมี ดังนั้นเกษตรกรบางแห่งจึงมีการวัดค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินในบ่อเพื่อ ตรวจสอบสภาพของดิน แต่ความรู้ในการแปรผลที่ได้จากการวัดเพื่อใช้ในการจัดการ คุณภาพบ่อก็ยังมี อยู่ไม่มากนัก

โดยปกติในบ่อที่ทำการเลี้ยงจะมีออกซิเจนในปริมาณที่ปกติเช่นเดียวกับที่มีอยู่ใน ธรรมชาติเนื่องจากการให้อากาศจะรักษาระดับของศักย์รีดอกซ์ให้มีค่าสูงและทำให้สารที่เคยถูกรีดิวซ์ เหล่านี้ถูกออกซิไดซ์ แต่ถ้าอัตราการแพร่ของสารในรูปรีดิวซ์ที่มาจากชั้นดินที่ขาดออกซิเจนเกินกว่า อัตราการออกซิไดซ์สารเหล่านี้ เราก็จะสามารถพบสารรูปรีดิวซ์ในระดับความเข้มข้นสูงในบ่อที่มีการให้ออกซิเจนอย่างมากได้ การเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันส่วนใหญ่มีการเลี้ยงแบบความหนาแน่นสูง ซึ่งต้องให้อาหารปริมาณมากในแต่ละมื้อ อาหารส่วนที่เหลือรวมทั้งของเสียจากกุ้งย่อมทำให้ระบบต้องใช้ออกซิเจนไปในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนได้

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกเหล็ก แมงกานีสและสังกะสีมาทำการศึกษาผลของสภาพรีดิวซ์ ที่มีต่อโลหะเนื่องจากโลหะเหล่านี้เป็นพวกที่มีอยู่เป็นปริมาณมากในดิน จึงสามารถตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนแปลงของโลหะเหล่านี้ได้โดยง่าย ซึ่งถ้าทำการศึกษากับโลหะกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูงซึ่งไวต่อสภาพรีดิวซ์แต่มีปริมาณน้อย เช่น พรอท ตะกั่ว อาจไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ และเนื่องจากธาตุที่ทำการศึกษานี้มีพฤติกรรมที่ตอบสนองต่อภาวะรีดิวซ์ในการทำงานของเดียวกันกับธาตุ ปริมาณน้อยดังกล่าว ดังนั้นจึงสามารถนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเป็นพิษของโลหะปริมาณน้อยเหล่านี้ได้ โดยจะเลือกใช้เหล็กและแมงกานีสเป็นตัวแทนโลหะกลุ่มที่ละลายน้ำได้ มากขึ้นและใช้สังกะสีเป็นตัวแทนกลุ่มที่ละลายน้ำได้น้อยลงเมื่อเกิดสภาพรีดิวซ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำเอาข้อมูลของโลหะในดิน กุ้งและอาหารของกุ้งมาสร้างเป็นแบบจำลอง เพื่อศึกษาปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งเนื่องจากการกินโดยใช้เทคนิคทางด้าน elemental fractionation (รายละเอียดโดยย่ออยู่ในวัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ทั้งสองนี้สามารถนำ การประยุกต์ใช้สำหรับประเมินความเป็นพิษของโลหะปริมาณน้อยที่มีความไวต่อสภาพรีดิวซ์ เช่น พรอท ตะกั่ว เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่งสำหรับการจัดการสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงกุ้ง กูลาดำ รวมทั้งสามารถใช้หลักการจากการใช้แบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะ สำหรับศึกษาการส่งผ่าน

ของมวลสารอื่นเข้าสู่ตัวกั๋งเนื่องจากการกิน ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพอาหารที่ใช้สำหรับการเลี้ยงกั๋งต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเหล็ก แมงกานีสและสังกะสีในบ่อเลี้ยงกั๋งกุลาดำ
2. เพื่อพัฒนาโมเดลเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกั๋งกุลาดำ

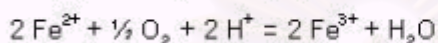
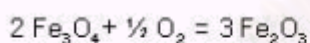


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านออกซิเจนหรืออิเล็กตรอน ดังตัวอย่างสมการ

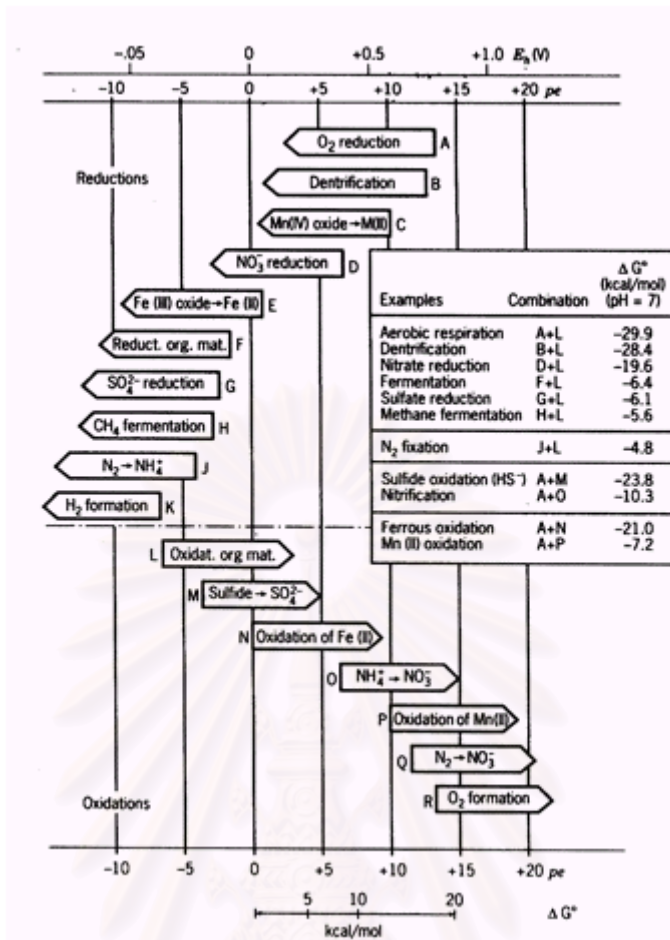


โดย e^- จะแทนอิเล็กตรอน

ในทางเคมีแล้วเรามักจะพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นการถ่ายเทอิเล็กตรอนมากกว่า เพราะปฏิกิริยารีดอกซ์จำนวนมากไม่ได้เกี่ยวข้องกับออกซิเจนโดยตรง สมการที่ 1 และ 2 ไม่ได้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ สมการนี้เพียงแค่แสดงถึงการขนถ่ายอิเล็กตรอนอิสระในสารละลาย โดยในสมการนี้เหล็กจะเป็นผู้ให้อิเล็กตรอน ส่วนน้ำจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ในสมการนี้แสดงปฏิกิริยารีดักชันของ Fe (III) ไปเป็น Fe (II)

ปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับธาตุปริมาณน้อย โดยปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกี่ยวพันกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมและโมเลกุล อิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่จนกระทั่งสารตั้งต้นและผลผลิตของปฏิกิริยามีระดับของพลังงานอิสระต่ำสุด โดยที่สภาวะนี้เราจะเรียกว่าอยู่ในสภาพสมดุล (equilibrium) ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (E_{cell}) จะเป็นตัวที่ใช้วัดว่าปฏิกิริยาใกล้ถึงจุดสมดุลหรือยัง แนวโน้มที่อิเล็กตรอนจะถ่ายเทจากสารที่เป็นตัวถูกรีดิวซ์ไปยังสารที่เป็นตัวถูกออกซิไดซ์จะถูกแสดงในรูปของ electron activity หรือค่า pE ดังนั้นปฏิกิริยารีดอกซ์จึงเป็นกระบวนการที่มีทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันควบคู่กันไป เลขออกซิเดชันของอะตอมที่เกิดกระบวนการออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่อะตอมที่มีกระบวนการรีดักชันจะมีเลขลดลง

กระบวนการรีดอกซ์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการเลี้ยงกุ้งในบ่อดินอย่างสูง เนื่องจากกระบวนการทางชีววิทยาซึ่งมีผลกับสภาพของดิน คุณภาพของน้ำและผลผลิตของสิ่งมีชีวิตเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ทั้งสิ้น โดยจุลชีพจะเป็นมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการนี้ในบ่อดิน ในสภาพที่มีออกซิเจนจุลชีพจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์สาร แต่เมื่ออยู่ในสภาพขาดออกซิเจน จุลชีพจะใช้ตัวรับอิเล็กตรอนอื่น (ภาพที่ 1)

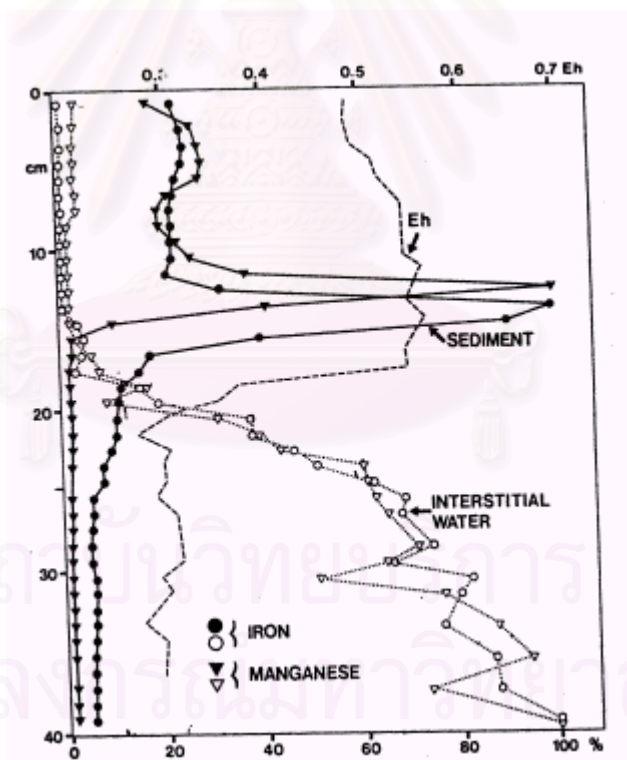


ภาพที่ 1 ลำดับของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับจุดรีดอกซ์ : ลูกศรแสดงทิศทางของปฏิกิริยา. จุดเริ่มต้นของลูกศรแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในแต่ละครั้งปฏิกิริยา (Stumm, W.S. and J.J. Morgan, 1981)

จากกระบวนการจะเห็นได้ว่าเมื่อตัวทำปฏิกิริยาหนึ่งหมดลง ตัวต่อไปก็จะแทนที่เข้าสู่กระบวนการรีดอกซ์ ในที่ซึ่งไม่มีอินทรีย์สาร ตัวรีดิวซ์ที่มีพลังงานมากที่สุดและจะถูกใช้โดยจุลชีพก็คือไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยพบว่ากระบวนการนี้จะให้พลังงานน้อยกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของอินทรีย์สารพอสมควร จากภาพที่ 1 จะเห็นว่ากระบวนการเหล่านี้จะทำให้โลหะซึ่งเดิมอยู่ในสภาพของแชนเจอร์ดิทซ์และละลายออกมาอยู่ในน้ำในดินมาก ซึ่งถ้าหากมีการกวนตะกอนที่พื้นบ่อ โอกาสที่โลหะที่ละลายน้ำเหล่านี้จะออกมาสู่มวลน้ำก็จะมากขึ้นไปด้วย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tessenow และ Baynes (1975) ทำการศึกษาการกระจายของเหล็กและแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณทะเลสาบ Feldsee ประเทศเยอรมันตะวันตก พบว่าการเพิ่มปริมาณของเหล็กและแมงกานีสในดินตะกอนและในน้ำในดินจะเกี่ยวพันกับภาวะรีดอกซ์ โดยที่ความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะมีการลดลงอย่างมาก และที่เวลาเดียวกันจะมีการเหล็กและแมงกานีสจะมีการเพิ่มปริมาณขึ้นในตะกอนที่ความลึกระหว่าง 15 และ 10 เซนติเมตร เขาพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ จะมีผลกับการแพร่มาที่ผิวของโลหะ ในขณะที่โลหะทางด้านล่างจะละลายเนื่องจากกระบวนการรีดักชันทางด้านบนก็จะมีการตกตะกอนที่ผิว ทำให้เหล็กและแมงกานีสที่เคลื่อนที่มาเกิดการสะสมตัวที่บริเวณชั้นล่างสุดของบริเวณที่ยังออกซิเจนอยู่ และหลังจากนั้นเมื่อมีตะกอนมาตกทับถมอีก เหล็กและแมงกานีสที่เคยสะสมตัวนี้ก็จะมีการรีดิวซ์อีกและจะเคลื่อนที่ขึ้นมาที่ผิวอีกครั้ง ทำให้สัดส่วนของความลึกที่มีการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การกระจายตัวของเหล็กและแมงกานีสในตะกอนดินจากทะเลสาบ ซึ่งมีผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh และ pH (Tessenow and Baynes, 1975)

อิออนโลหะที่มาจากน้ำด้านบนหรือจากการแพร่ของน้ำในดินสู่ด้านบนจะมีการดูดซับที่ผิวของชั้นที่เป็นออกไซด์ของแมงกานีสหรือเหล็กที่ใกล้กับผิวของตะกอน ยังผลให้เกิดการสะสมตัวของโลหะออกไซด์ที่ด้านใต้ของดินบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นที่มีออกซิเจน (oxidized) และชั้นที่ขาดออกซิเจน (reduced) และเมื่อออกไซด์ของแมงกานีสหรือเหล็กถูกรีดิวซ์ โลหะเหล่านี้ที่ดูดซับอยู่ก็จะถูกปล่อยออกมาด้วย (Morgan and Stumm, 1964) แต่ถ้าหากว่าในน้ำในดินพบซัลไฟด์อิออนได้แล้ว ก็จะทำให้ผลให้โลหะมีการรวมตัวกับซัลไฟด์ ทำให้การเคลื่อนที่ของโลหะเหล่านี้ก็จะลดลง เมื่อพิจารณาถึงค่าความสามารถในการละลายของสารประกอบซัลไฟด์ พบว่าธาตุหลายตัว เช่น ตะกั่ว โคบอลต์ นิกเกิล โปรท เจน ทองแดงและสังกะสีจะยังคงอยู่ในภายในน้ำในดินของตะกอนที่ถูกรีดิวซ์ และมีความเข้มข้นของซัลไฟด์ประมาณ 10^{-9} mol/l (Thomson *et al.* 1975)

Lu และ Chen (1977) ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของโลหะปริมาณน้อยระหว่างชั้นรอยต่อของน้ำทะเลและดินตะกอน พบว่าภายใต้สภาพรีดิวซ์ ความเข้มข้นของแคดเมียม, โปรทและตะกั่วในน้ำในดินจะถูกควบคุมโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับซัลไฟด์ ส่วนความเข้มข้นของเหล็กและนิกเกิลจะถูกควบคุมโดยการเกิดสารประกอบอินทรีย์ ความเข้มข้นของแมงกานีสจะถูกควบคุมโดยการเกิดสารประกอบคลอไรด์ และสำหรับโครเมียมจะเกิดสารประกอบไฮดรอกไซด์

Nissenbaum และ Swaine (1976) ทำการวิเคราะห์โลหะที่ยึดติดอยู่กับโพลิเมอร์อินทรีย์ในน้ำในดินตะกอนที่ถูกรีดิวซ์ พบว่าสังกะสีทั้งหมดจะยึดติดกับสารประกอบฮิวมิก ในขณะที่เหล็กและแมงกานีสจะมียึดติดเพียงบางส่วนเท่านั้น พบว่าโลหะที่มีความเข้มข้นสูงที่พบในน้ำในดินจะมีการเพิ่มขึ้นในดินตะกอนที่มีองค์ประกอบของสารประกอบฮิวมิก ยกเว้นเหล็กซึ่งมักจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์มากกว่า

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Cline และ Upchurch (1973) พบว่าการเคลื่อนที่มาด้านบนของโลหะในน้ำในดินอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากกระบวนการกำจัดน้ำออกซึ่งเป็นผลเนื่องมากจากการอัดทับของตะกอน (compaction) ได้ แต่พบว่าส่วนใหญ่แล้วปัจจัยหลักมักจะเกิดจากกระบวนการของจุลชีพมากกว่า

ในบ่อเลี้ยงกุ้งมักมีค่าศักย์รีดอกซ์ตั้งแต่ 0.14 ถึง - 0.46 V ซึ่งพบว่าในดินที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เท่ากับ -0.125 V ดินจะมีสีดำของ ferrous iron (Shigeno, 1978) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นค่าของศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะลดลง และจะพบว่าซัลไฟด์, แอมโมเนีย และไนโตรทในดินตะกอนจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Chein, 1989) จากผลการศึกษาดังกล่าว Chein (1989) จึงได้จำแนกดินในบ่อตามค่าศักย์รีดอกซ์ ดังนี้ 1) oxidized คือพวกที่มีค่า 0.40-0.70 V 2)moderated oxidized คือพวกที่มีค่า 0.10-0.40 V 3)reduced คือพวกที่มีค่า -0.10 - 0.10 V และ 4)highly reduced คือพวกที่มีค่า -0.10 ถึง -0.30 V

จากการศึกษาของ Masuda และ Boyd (1994) พบว่าน้ำที่อยู่เหนือพื้น 5 เซนติเมตรมี ปริมาณ ferrous iron 30-60 ppm ปริมาณแอมโมเนีย 2-25 ppm ปริมาณไนโตรที่ได้ออก 0.1-0.2 ppm และปริมาณ sulfide 0.03-0.1 ppm โดยพบว่าความเข้มข้นของสารเหล่านี้ที่ละลายน้ำในดิน ที่มีค่าศักย์รีดอกซ์ต่ำกว่า -0.100 V จะมีค่าสูงขึ้น 20-80 เท่าของน้ำด้านบนที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์สูงกว่าหรือเท่ากับ 0.050 V โดยพบว่าบ่อที่มีการให้อากาศจะมีค่าความเข้มข้นของไนโตรที่ สูงกว่าบ่อที่ไม่ได้ให้อากาศ เนื่องจากการกวนดินก้นบ่อโดยแรงของกระแส น้ำจะนำเอาไนโตรที่จาก ชั้นดินที่ขาดออกซิเจนเข้าสู่มวลน้ำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

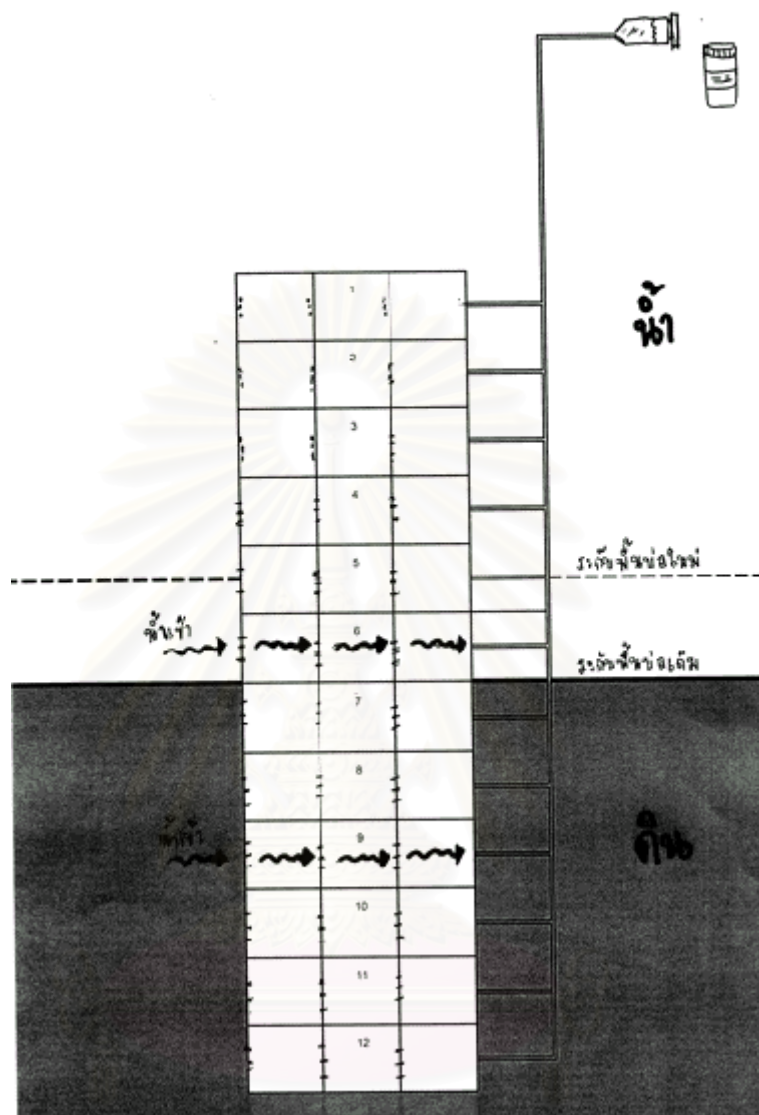
ระบบที่ศึกษา

บ่อดินสำหรับเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาดประมาณ 2.5 ไร่ บริเวณอำเภอบ้านทอง จังหวัดชลบุรี ความลึกของน้ำระหว่างการเลี้ยงประมาณ 1.5 เมตร จำนวน 1 บ่อ

การศึกษาพฤติกรรมของโลหะภายใต้สภาพชีวิตในบ่อเลี้ยง

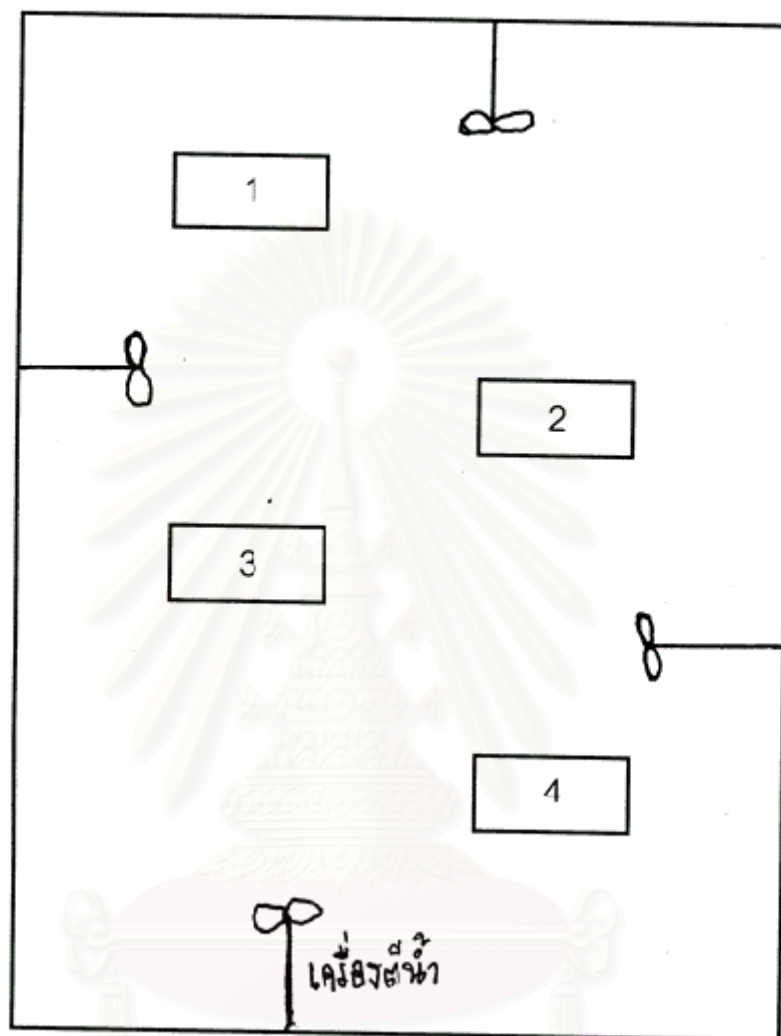
1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาปริมาณโลหะในน้ำในดินส่วนใหญ่ มักจะมีการทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ core sampler ทำการตัด section ออกแล้วนำดินแต่ละส่วนมาคั้นเอาน้ำในดินออกมา จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่สนใจ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปทางสมุทรศาสตร์เคมี แต่สำหรับการศึกษาครั้งนี้เราทำการศึกษาในบ่อดิน ซึ่งสภาพของดินไม่เหมาะต่อการเก็บตัวอย่างด้วย core sampler เนื่องจากดินมีสภาพเหลว ดังนั้นเมื่อใช้ core sampler จะทำให้เกิดการอัดตัว (compaction) ทำให้น้ำในดินในชั้นที่ติดกันมารวมกันได้ ซึ่งจะทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของปริมาณโลหะในน้ำในดินในแต่ละชั้นความลึกที่ทำการศึกษา ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ flux chamber ซึ่งมีลักษณะเป็นกล่องพลาสติกสี่เหลี่ยมขนาด 5x15x5 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ภายในมีการแบ่งซอยย่อยออกเป็น 3 ห้องแต่ละห้องมีการเจาะรูให้น้ำผ่านได้ทั่วถึงกัน แต่ละชุดของอุปกรณ์จะซ้อนกล่องดังกล่าวจำนวน 12 ชั้นต่อเข้าด้วยกัน โดยด้านหนึ่งเจาะรูให้น้ำในดินด้านนอกกล่องแพร่เข้ามา และอีกด้านหนึ่งเจาะรูและต่อท่ออากาศเพื่อใช้ในการดูดเก็บตัวอย่างน้ำในกล่อง (ภาพที่ 3) โดยขณะนั้นผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าความเข้มข้นของโลหะของน้ำในกล่องและน้ำในดินขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำที่อยู่ภายนอกและภายในกล่องจะมีการแพร่ของโลหะที่ละลายอยู่จนเข้าสู่จุดสมดุล เราจึงสามารถใช้ตัวอย่างน้ำในกล่องเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำในดินที่ความลึกเดียวกันได้ ทำการฝัง flux chamber ลงไปในดินโดยฝังส่วน 6 ชั้นแรกลงไปในดินและให้ส่วนที่เหลืออีก 6 ชั้นอยู่บนผิวดิน โดยทำการฝังชุดอุปกรณ์ดังกล่าวลงจำนวน 4 จุดกระจายตามพื้นที่บ่อ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 flux chamber ที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโลหะในน้ำในดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4 ตำแหน่งของพื้นที่ปอที่ทำกรฝัง flux chamber

2. การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยง ที่บริเวณกลางบ่อและริมบ่อจำนวน 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างดินที่ก้นบ่อที่บริเวณที่ทำการฝัง flux chamber จำนวน 4 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำในดิน จาก flux chamber ทั้ง 4 สถานีจำนวน 48 ตัวอย่างทุก ๆ 30 วัน นอกจากนี้จะมีการวัดค่าปัจจัยแวดล้อมในบ่อ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม พีเอชและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ รวมทั้งบันทึกค่าพีเอช และศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในตัวอย่างน้ำในดินทันทีที่เก็บขึ้นมา

3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1 ตัวอย่างน้ำที่ผิวและน้ำในดิน นำตัวอย่างน้ำที่เก็บมารองทันทีผ่านกระดาษกรอง

nucleopore ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติก ใส่กรดไนตริกเข้มข้นลงไปประมาณ 0.6 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นนำตัวอย่างน้ำในดินไปวัดปริมาณโลหะในรูปที่ละลายน้ำโดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry ได้โดยตรง เนื่องจากโลหะที่ต้องการศึกษามีปริมาณสูงพอ ส่วนตัวอย่างน้ำเลี้ยงจะต้องมีการ preconcentration ก่อนการนำไปวัดด้วย AAS โดยใช้วิธี Cobalt APDC precipitation

3.2 ตัวอย่างดิน นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธี Air Dry แล้วนำมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงในลอนขนาด 65 ไมครอน จากนั้นนำไปย่อยด้วยกรด จนได้สารละลายใส จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยวิธี AAS

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

4.1 นำค่าปริมาณเหล็ก แมงกานีสและสังกะสีในน้ำในดินแต่ละค่าสังเกตมาสร้างแผนภูมิการกระจายของโลหะตามความลึก ในแต่ละช่วงเวลา และแต่ละสถานี

4.2 นำค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ที่วัดได้จากน้ำในดินในแต่ละค่าสังเกต มาสร้างแผนภูมิการกระจายของค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ตามความลึก ในแต่ละช่วงเวลา และในแต่ละสถานี

4.3 สร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์และปริมาณโลหะ ตามความลึก ในแต่ละช่วงเวลา และแต่ละสถานี

5. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโลหะที่ได้จากการศึกษาในสภาพการเลี้ยงจริงแล้ว จึงทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบว่าพฤติกรรมของโลหะว่าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับค่าจากสภาพการเลี้ยงจริงหรือไม่ โดย

5.1 ทำการฝัง flux chamber แบบเดียวกับที่ใช้ในการศึกษาในภาคสนามฝังลงไปดิน เติมน้ำทะเลที่มีความเค็มประมาณ 2-4 ppt (เป็นความเค็มเฉลี่ยที่ใช้เลี้ยงกุ้งในบ่อ) แล้วเก็บ

ตัวอย่างน้ำในดิน รวมทั้งบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์และค่าพีเอช ทุก 7 วันเป็นเวลารวมทั้งสิ้น 35 วัน

5.2 นำตัวอย่างน้ำ ไปทำการกรองและเติมกรด ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะโดยตรง ด้วยวิธี AAS

5.3 นำข้อมูลมาสร้างแผนภูมิการกระจายของโลหะ รวมทั้งหาความสัมพันธ์ของโลหะกับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เช่นเดียวกับการศึกษาในสภาพจริง

5.4 นำผลการศึกษาที่ได้จากการสภาพห้องปฏิบัติการ ไปเปรียบเทียบกับผลจากสภาพการเลี้ยงจริง

การศึกษาแบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ่มกุลาดำ

1. แบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะ

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าโลหะมีการเข้าสู่ตัวกุ่มได้โดยกระบวนการหลัก

2 กระบวนการคือ

1.1 จากการแพร่และการดูดซับที่เนื้อเยื่อ

โลหะที่เข้าสู่กุ่มโดยกระบวนการแพร่และการดูดซับจะเป็นพวกที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ จึงมักจะมาสะสมตัวอยู่ที่ส่วนเปลือกและส่วนเหงือกของกุ่ม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะที่มีอยู่ในส่วนของเหงือกและเปลือกเหล่านี้เทียบกับปริมาณโลหะที่อยู่ในตัวกุ่มทั้งหมด (ส่วนเปลือก เหงือกและส่วนเนื้อ) เพื่อที่จะหาว่าโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ่มมาจากกระบวนการแพร่และการดูดซับเป็นสัดส่วนเท่าใด

1.2 จากการกิน

กระบวนการกินเป็นกระบวนการหนึ่งที่กุ่มสามารถได้รับโลหะทั้งสามชนิดเข้าไปได้ เราไม่สามารถหาปริมาณโลหะที่เข้าสู่กุ่มโดยการกินได้โดยตรงจากปริมาณโลหะทั้งหมดที่อยู่ในเนื้อกุ่มได้เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ากุ่มก็สามารถได้รับโลหะจากการแพร่ได้เช่นกัน ฟอสฟอรัสเป็นธาตุหนึ่งที่มีอยู่มากในอาหารกุ่มและเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของกุ่ม ดังนั้นในการศึกษาหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ฟอสฟอรัสเป็นตัวติดตาม (tracer) การขนส่งของโลหะผ่านตัวกุ่มเนื่องจากการกิน แต่ดังที่ทราบกันแล้วว่าฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่กุ่มสามารถนำไปใช้ในกระบวนการของร่างกายได้ ดังนั้นในระหว่างการขนส่งมวลสารปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงไม่สามารถที่จะเปรียบเทียบโลหะกับฟอสฟอรัสได้โดยตรง

อลูมิเนียมเป็นธาตุหนึ่งที่ไม่ค่อยเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมี จึงไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณในขณะที่มีการขนส่ง และเป็นธาตุที่ใช้เป็น normalizing element ในการศึกษาโลหะทั่วไป ธาตุทั้งสองคือฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมมีการได้รับจากการดูดซึมและขับ

ออกมาในรูปแบบอื่น เช่น ทางการหายใจน้อยมาก ทำให้ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าธาตุทั้งสองน่าจะมิกสไกในการส่งผ่านเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้อลูมิเนียมมาเป็นดัชนีเพื่อหาปริมาณของฟอสฟัสโดยทางอ้อม เทคนิคที่ใช้เรียกว่า elemental fractionation (ซึ่งมีสมมติฐานว่า ธาตุแต่ละชนิดมีลักษณะการส่งผ่านแตกต่างกัน) โดยเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมในกระบวนการส่งผ่าน

ให้ P_1 และ Al_1 เป็นปริมาณฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมที่กิ้งกินเข้าไป
 P_2 และ Al_2 เป็นปริมาณฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมที่กำจัดออกมา
 (ในส่วนี้จะเป็นอลูมิเนียมและฟอสฟอรัสที่อยู่ในอุจจาระและส่วนเปลือกเนื่องจากกิ้งมีการกำจัดโลหะทางคราบด้วย)

$$\Delta P = \text{ผลต่างระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในส่วนเนื้อระยะเริ่มต้นและในระยะถัดมา}$$

$$= P_1 - P_2$$

$$\Delta Al = \text{ผลต่างระหว่างปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในส่วนเนื้อระยะเริ่มต้นและในระยะถัดมา}$$

$$= Al_1 - Al_2$$

$$R_1 = \text{สัดส่วนระหว่างฟอสฟอรัสต่ออลูมิเนียมในอาหารที่กินเข้าไป}$$

$$= P_1 / Al_1$$

$$R_2 = \text{สัดส่วนระหว่างฟอสฟอรัสต่ออลูมิเนียมในอาหารที่อยู่ในส่วนที่กำจัดออกมา}$$

$$= P_2 / Al_2$$

จะได้ว่า

$$P_1 = \frac{R_1(\Delta P - R_2 \Delta Al)}{(R_1 - R_2)}$$

เมื่อทราบค่า P_1 ก็จะสามารถหาค่า P_2 ได้เช่นกัน (วิธีการคำนวณอยู่ในภาคผนวก)

การที่เราจะต้องมีการหาค่า P_1 เพราะเราไม่สามารถทราบได้จริงว่ากิ้งมีการกินอาหารเข้าไปจริงเท่าไรและมีการขับถ่ายออกมาเท่าไร แต่สิ่งที่เราทราบก็คือสัดส่วนของฟอสฟอรัสต่ออลูมิเนียมในอาหารและในมูล ดังนั้นเราจึงนำค่าเหล่านี้มาใช้สำหรับการคำนวณในโมเดล เราก็จะสามารถทราบค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่กิ้งกินเข้าไปโดยคร่าว ๆ ได้ และเมื่อเราได้ทราบค่าปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่อยู่ในกระบวนการขนถ่ายผ่านตัวกึ่งแล้ว เราก็สามารถนำเอาปริมาณโลหะที่ทราบจากการวิเคราะห์และผ่านการ normalizing กับอลูมิเนียม มาเปรียบเทียบกับฟอสฟอรัส ก็จะทราบว่าโลหะมีการขนถ่ายผ่านกระบวนการกินเท่าไร

6. การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างกึ่ง ตัวอย่างอาหารสำเร็จรูปและตัวอย่างมูลกึ่ง จำนวนอย่างละ 3 ตัวอย่าง ทุก 30 วัน

7. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

7.1 ตัวอย่างกึ่ง นำตัวอย่างกึ่งมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นแยกเปลือกและเนื้อออกจากกัน นำแต่ละส่วนไปย่อยด้วยกรดจนได้สารละลายสีเหลืองใส ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยวิธี AAS รวมทั้งนำไปหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี perchoric acid และ Ascorbic Acid Method (American Public Health, 1992)

7.2 ตัวอย่างอาหารและมูลกึ่ง นำตัวอย่างอาหารมาบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงไนลอนขนาด 65 ไมครอน จากนั้นนำไปย่อยด้วยกรดจนได้สารละลายสีเหลืองใส ก่อนจะไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยวิธี AAS รวมทั้งนำไปหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยวิธี perchoric acid และ Ascorbic Acid Method

8. การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

นำข้อมูลปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ฟอสฟอรัสและอลูมิเนียมในตัวอย่างอาหาร ตัวอย่างกึ่ง (ส่วนเปลือกและเนื้อ) และตัวอย่างมูลกึ่ง มาคำนวณตามวิธีการในภาคผนวก เพื่อที่จะหาปริมาณโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน ปริมาณโลหะที่กึ่งกินเข้าไปและถูกกำจัดโดยทางมูล และปริมาณโลหะที่ถูกกำจัดโดยการลอกคราบ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ปัจจัยแวดล้อมของบ่อ

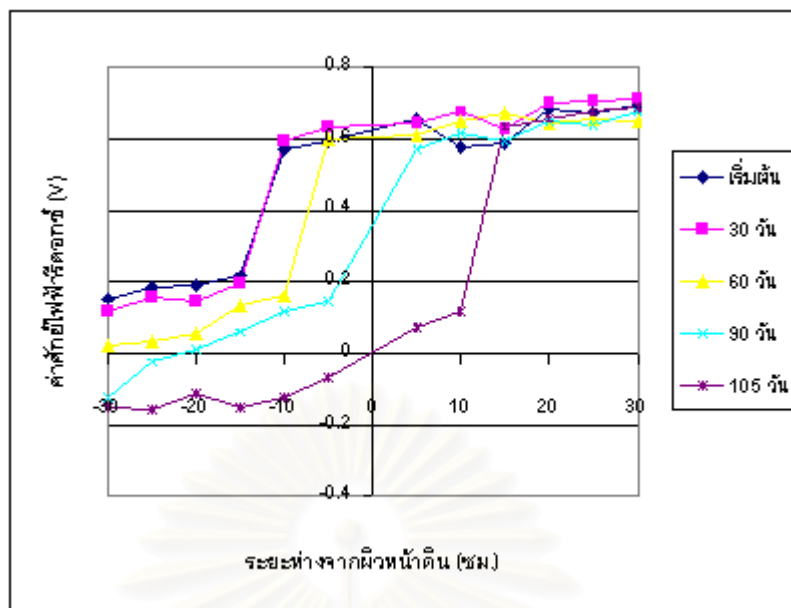
จากการวัดค่าปัจจัยแวดล้อมของบ่อในระหว่างการเลี้ยง พบว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงมีค่าพีเอชระหว่าง 7.8- 8.1 มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ระหว่าง 0.67-6.69V และมีอุณหภูมิตลอดการเลี้ยงอยู่ระหว่าง 27-28 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในดินพื้นบ่อ ตลอดการเลี้ยง พบว่าปริมาณเหล็กมีค่าระหว่าง 15,000 – 17,000 $\mu\text{g/g}$ ปริมาณแมงกานีสระหว่าง 1600 – 1800 $\mu\text{g/g}$ และปริมาณสังกะสีระหว่าง 20 – 35 $\mu\text{g/g}$

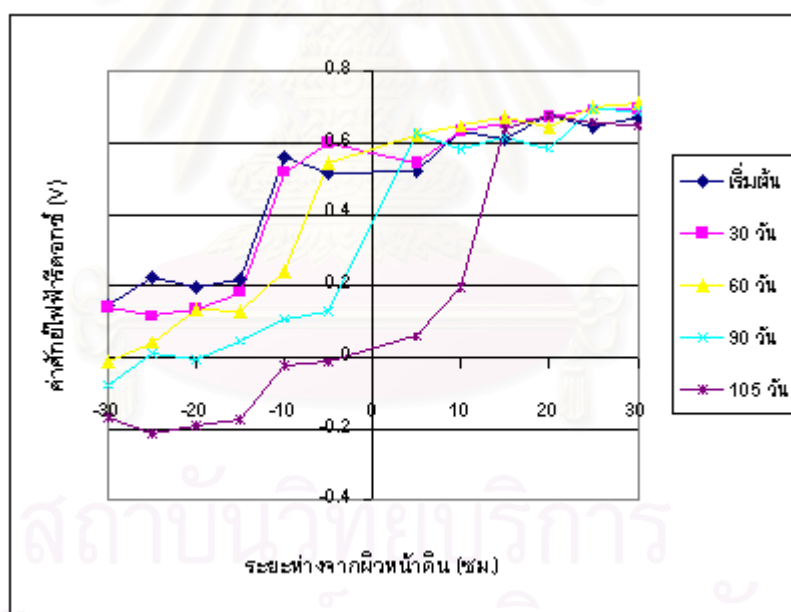
ส่วนปริมาณโลหะในน้ำเลี้ยง พบว่าปริมาณเหล็กในรูปที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 18.4 – 35 $\mu\text{g/l}$ ปริมาณแมงกานีสในรูปที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 10.5-20.34 $\mu\text{g/l}$ และปริมาณสังกะสีในรูปที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 0.98-2.5 $\mu\text{g/l}$ โดยที่ปริมาณเหล็กในรูปตะกอนแขวนลอยมีค่าระหว่าง 150 – 320 $\mu\text{g/l}$ ปริมาณแมงกานีสในรูปแขวนลอยมีค่าระหว่าง 56 – 110 $\mu\text{g/l}$ และสังกะสีในรูปแขวนลอยมีค่าระหว่าง 2.7 – 13.5 $\mu\text{g/l}$

ค่าพีเอชจากน้ำในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 7.6 – 8.2 โดยพบว่าในชั้นที่เป็นน้ำจะมีค่าโดยรวมสูงกว่าส่วนที่เป็นดินเล็กน้อย

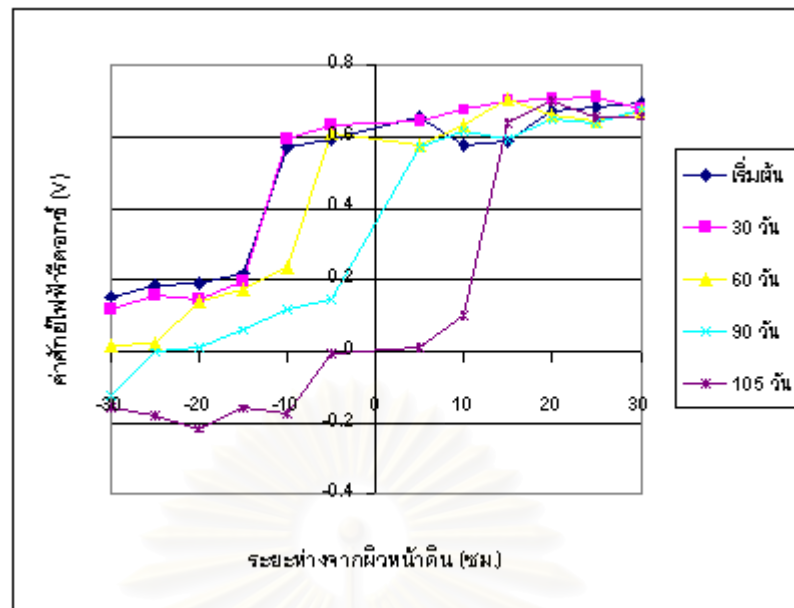
ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดินที่เวลาในการเลี้ยงเดียวกัน ที่บริเวณสถานีที่ 1 จะมียาลดลงตามความลึก โดยที่ระดับความลึกเดียวกันพบว่าเมื่อเวลาในการเลี้ยงเพิ่มขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในส่วนที่เป็นน้ำมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ส่วนน้ำในดินจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาของการเลี้ยง (ภาพที่ 5) เมื่อพิจารณาค่าในสถานี 2, 3 และ 4 พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสถานีที่ 1 (ภาพที่ 6, 7 และ 8)



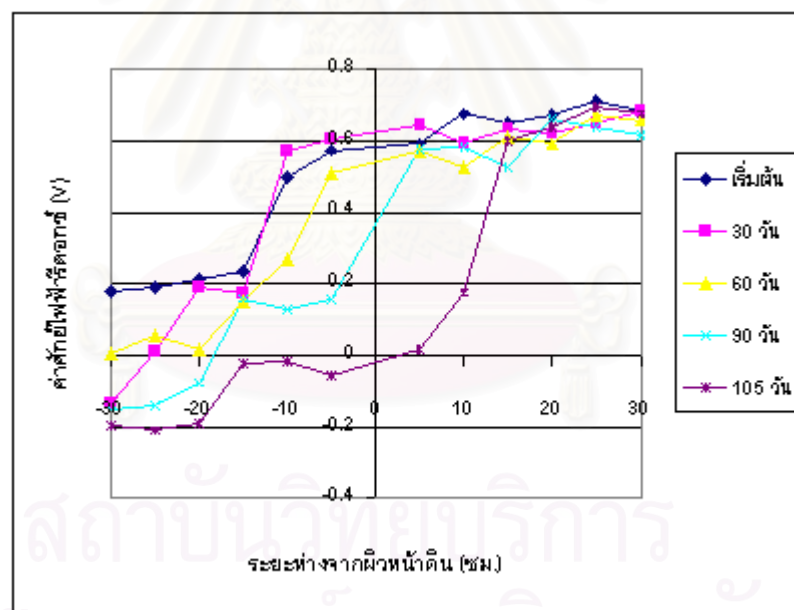
ภาพที่ 5 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1



ภาพที่ 6 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2



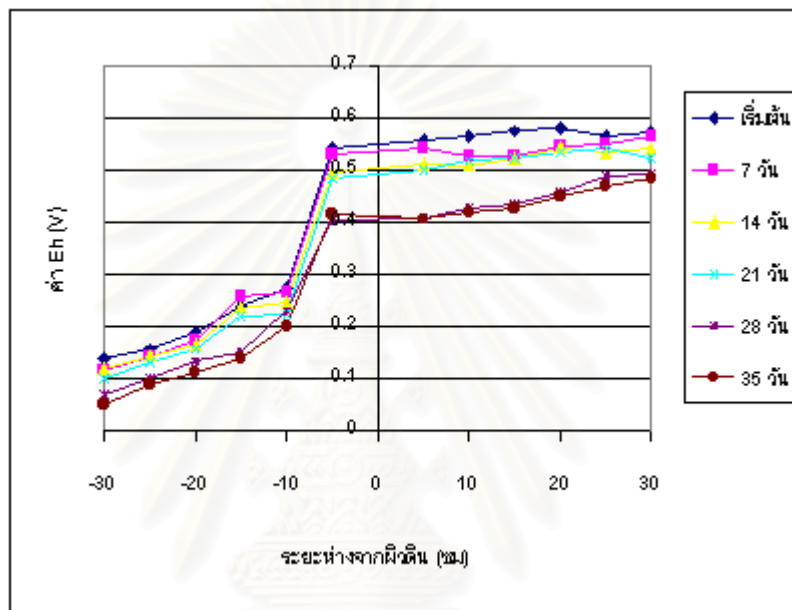
ภาพที่ 7 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3



ภาพที่ 8 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ของน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4

สภาพแวดล้อมของการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตลอดการทดลองน้ำในดินมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.6 – 7.1 โดยในชั้นที่เป็นน้ำจะมีค่าพีเอชสูงกว่าชั้นที่เป็นน้ำในดินเล็กน้อย จากการพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำในดินพบว่าการลดลงตามความลึก ณ ช่วงเวลาเดียวกัน โดยที่ระดับความลึกเดียวกันพบว่าเมื่อเวลาในการทดลองมากขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในส่วนที่เป็นน้ำ (ส่วนที่ห่างจากผิวดินเป็นบวก) มีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนในดินพบว่าการเปลี่ยนแปลงมากนัก (ภาพที่ 9)

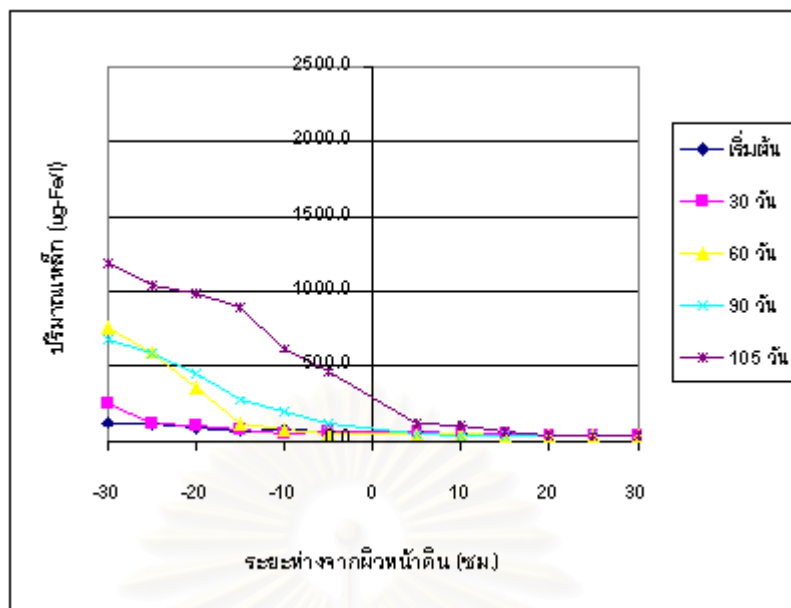


ภาพที่ 9 ค่าศักย์รีดอกซ์ของน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

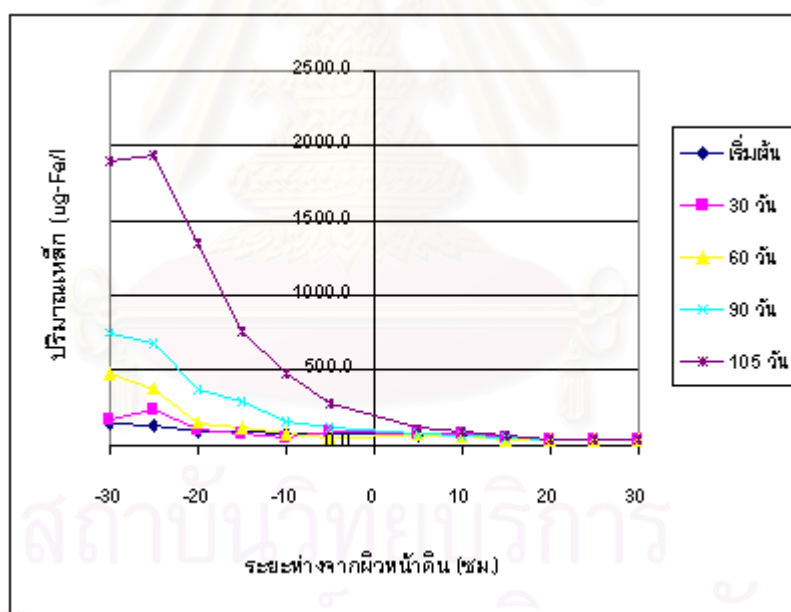
พฤติกรรมของโลหะภายใต้ภาวะรีดิวซ์ในบ่อเลี้ยง

1. เหล็ก

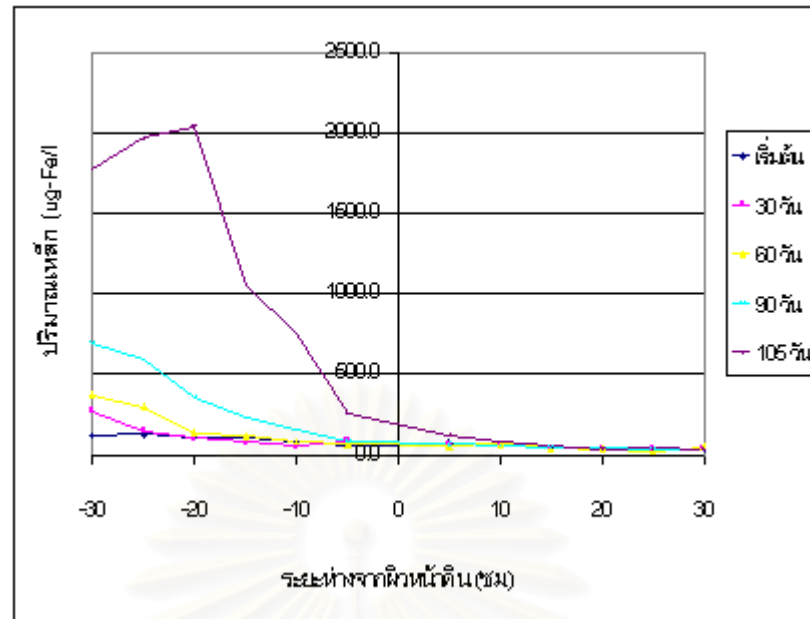
จากการวิเคราะห์ปริมาณของเหล็กจากตัวอย่างน้ำในชั้นน้ำและชั้นดิน พบว่าที่เวลาเดียวกัน ในส่วนของชั้นน้ำ ปริมาณเหล็กมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความลึก ส่วนในชั้นดินจะมีปริมาณเหล็กมากกว่าในชั้นน้ำ โดยที่ปริมาณเหล็กมีการเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 10, 11, 12 และ 13) ซึ่งที่ความลึกเดียวกัน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเลี้ยงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน ลักษณะความสัมพันธ์ของค่าสังเกตดังกล่าวในแต่ละสถานีที่ทำการเก็บตัวอย่าง พบว่าไม่แตกต่างกัน และพบว่าปริมาณเหล็กในน้ำในดินมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (Eh) (ภาพที่ 14) คือเมื่อค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ลดลง ปริมาณเหล็กก็ลดลงด้วย



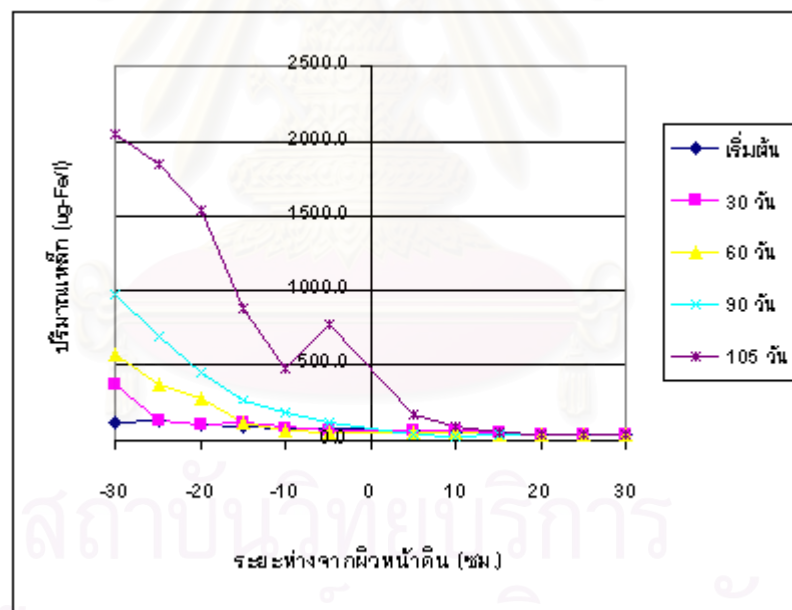
ภาพที่ 10 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1



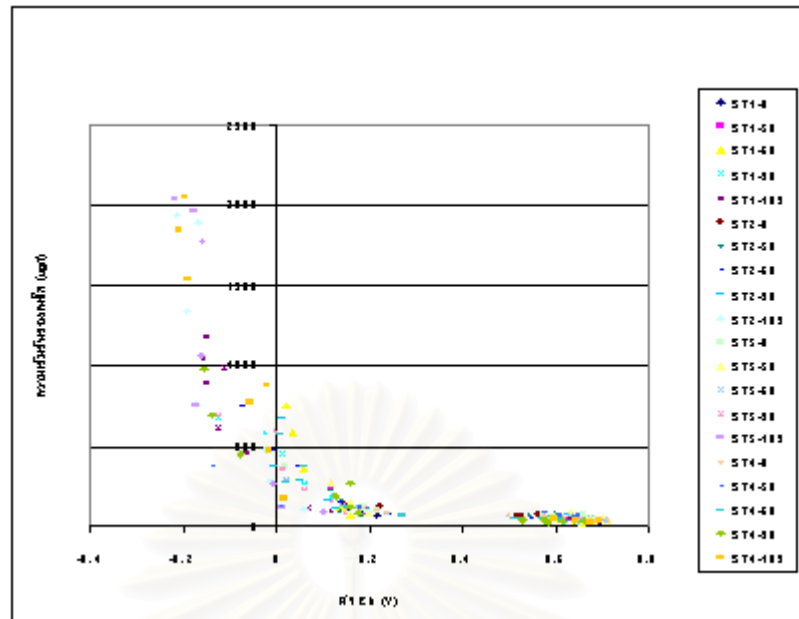
ภาพที่ 11 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2



ภาพที่ 12 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3

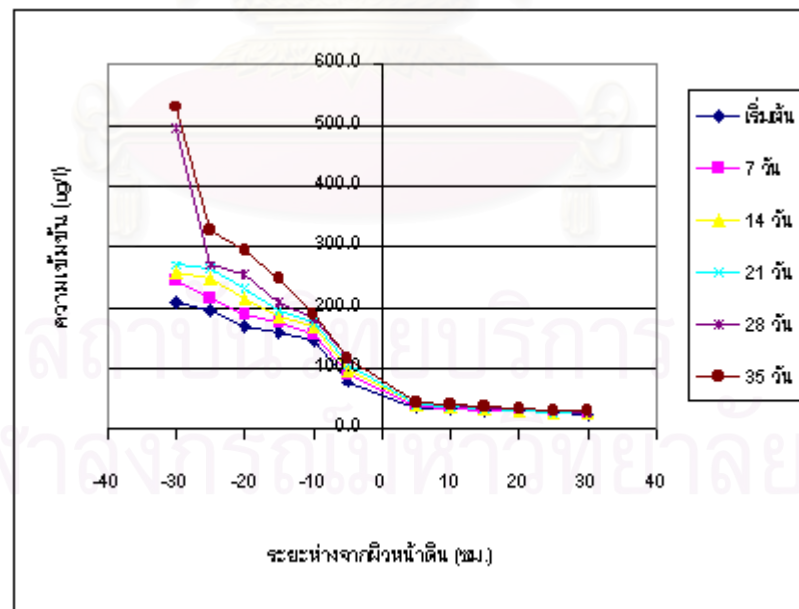


ภาพที่ 13 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4

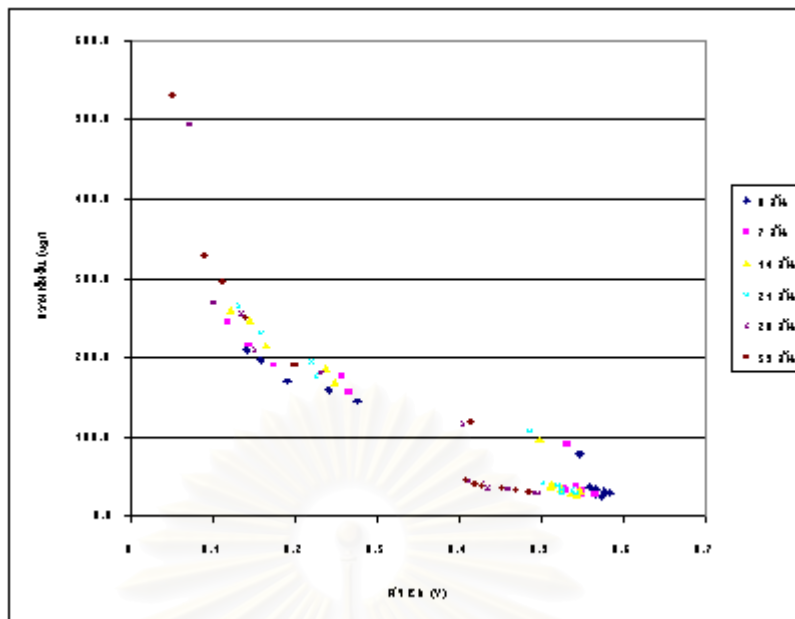


ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยรีดออกซ์กับปริมาณเหล็กในน้ำในดิน

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของเหล็กในน้ำในชั้นดิน ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีการเพิ่มปริมาณขึ้นตามความลึก (ภาพที่ 15) และมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่าศักยไฟฟ้ารีดออกซ์เช่นเดียวกันกับผลศึกษาจากสภาพการเลี้ยงจริง (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 15 ปริมาณเหล็กในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

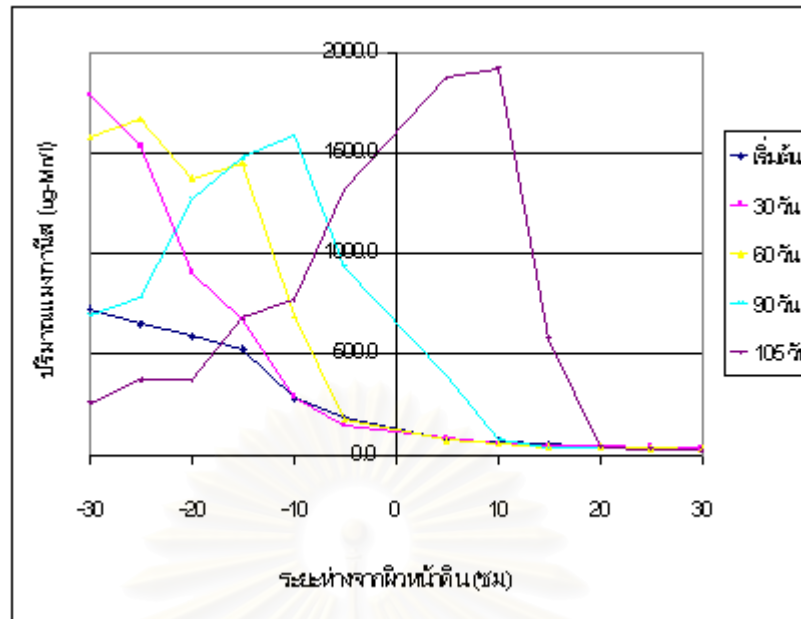


ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณเหล็กในน้ำในดินจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

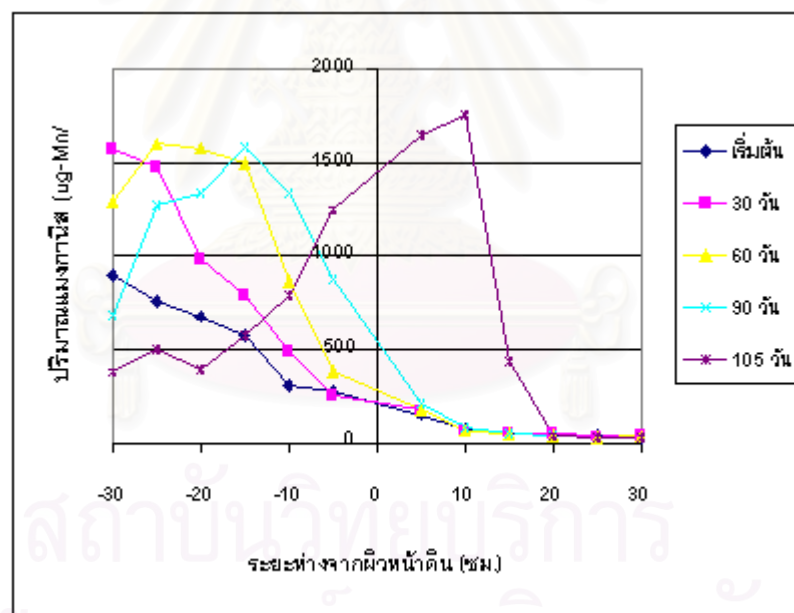
2. แอมกานีส

จากการศึกษาปริมาณของแอมกานีสในรูปที่ละลายน้ำจากน้ำในชั้นน้ำและชั้นดินพบว่าในส่วนของชั้นที่ป็นน้ำ ปริมาณแอมกานีสมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความลึก ส่วนในชั้นดินจะมีปริมาณแอมกานีสมากกว่าในชั้นน้ำ โดยที่เวลาในการเลี้ยง 30 และ 60 วัน ปริมาณแอมกานีสมีการเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 17 และ 18) แต่ที่เวลาในการเลี้ยง 90 วันและ 105 วัน กลับพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมกานีสเป็นสองช่วงคือ ปริมาณในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความเข้มข้นสูงสุด แล้วจึงพบปริมาณที่ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นในช่วงหลัง (รูปที่ 19 และ 20) ลักษณะความสัมพันธ์ของค่าสังเกตดังกล่าวในแต่ละสถานที่ที่เก็บตัวอย่าง ไม่พบความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์พบว่าแอมกานีสมีความสัมพันธ์กันเป็น 2 ลักษณะเช่นเดียวกับลักษณะที่พบในปริมาณแอมกานีสตามความลึก (รูปที่ 21)

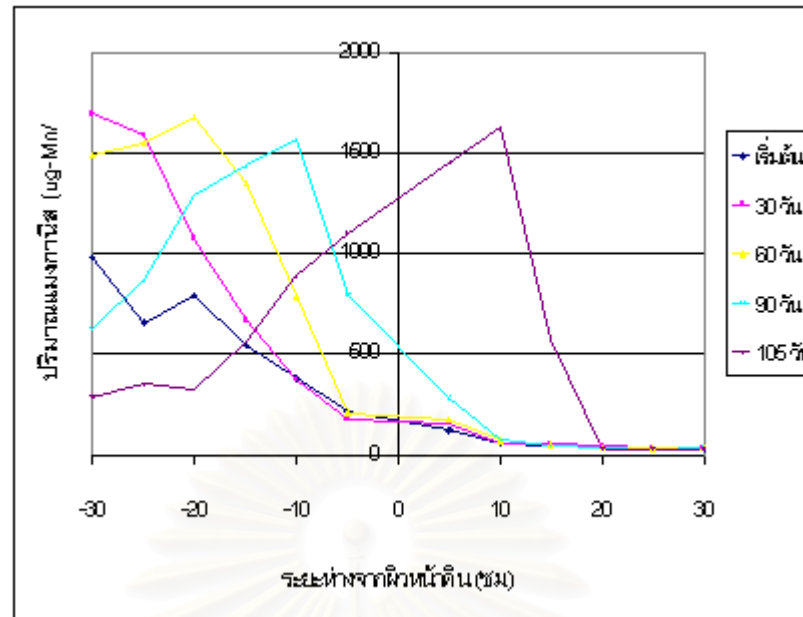
เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของแอมกานีสในน้ำในดิน ในสภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าการเพิ่มปริมาณขึ้นตามความลึก โดยไม่พบการเลื่อนของ peak ของแอมกานีสมาทางด้านบน (ภาพที่ 22) และปริมาณแอมกานีสมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เช่นเดียวกันกับผลศึกษาจากสภาพการเลี้ยงจริง (ภาพที่ 23)



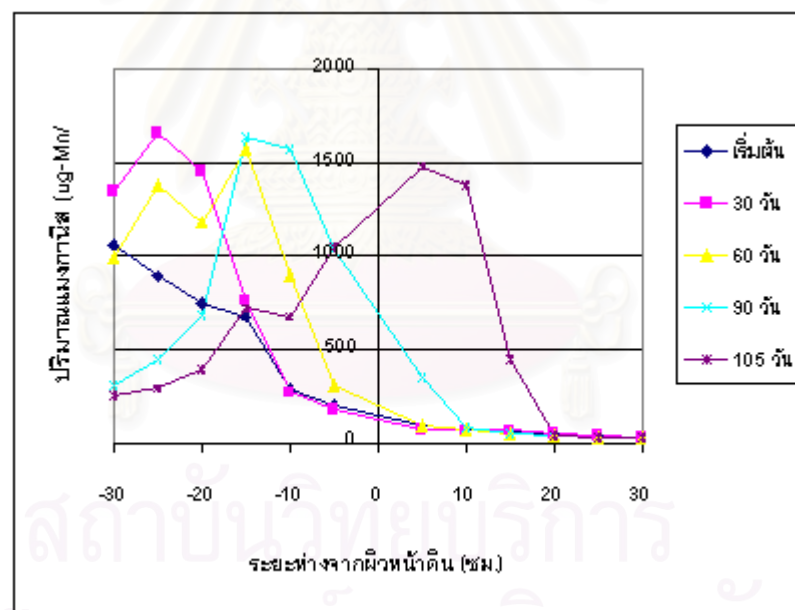
ภาพที่ 17 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1



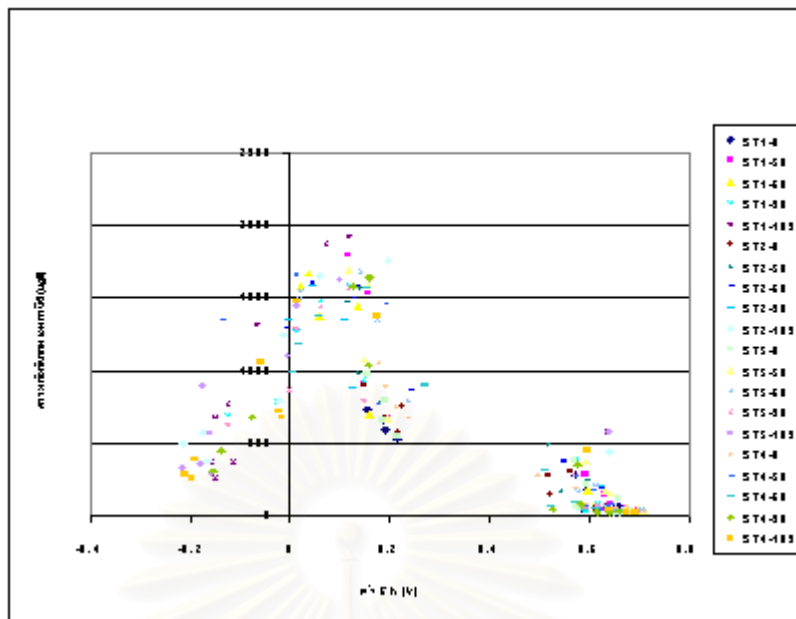
ภาพที่ 18 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2



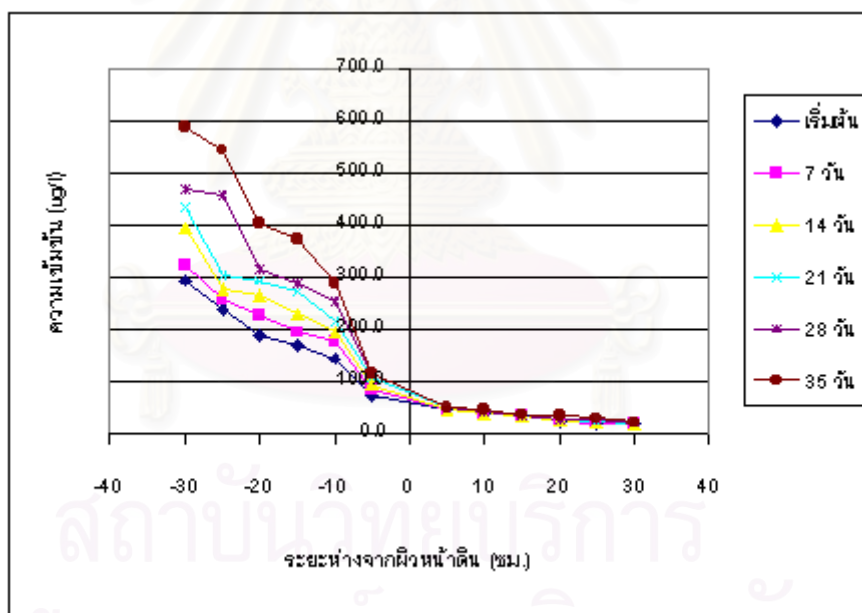
ภาพที่ 19 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3



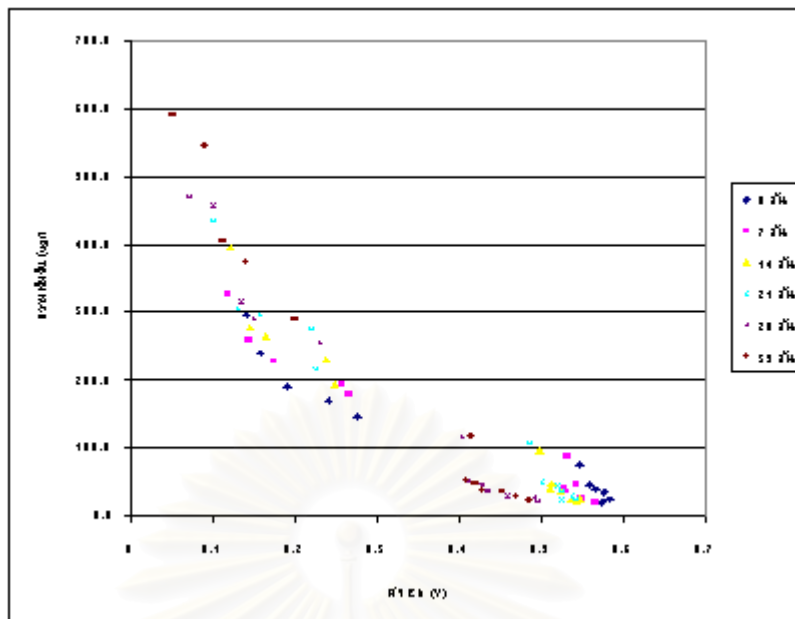
ภาพที่ 20 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพออกซ์กับปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน



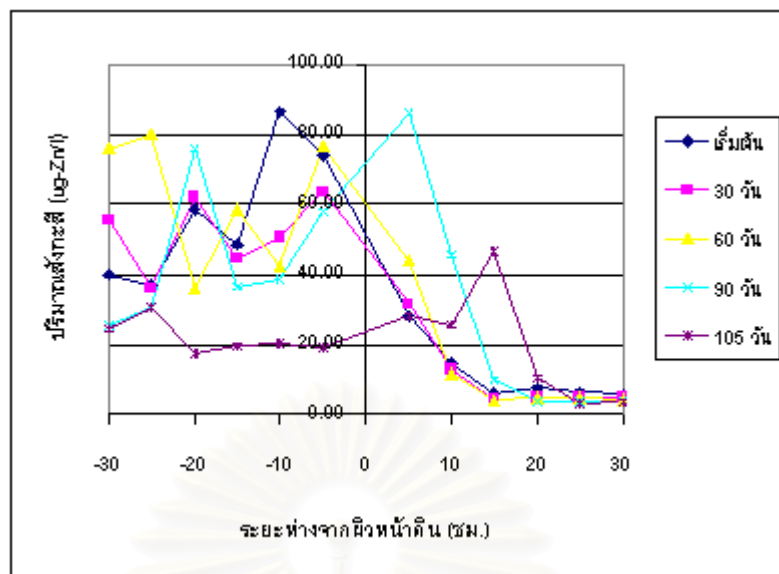
ภาพที่ 22 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ



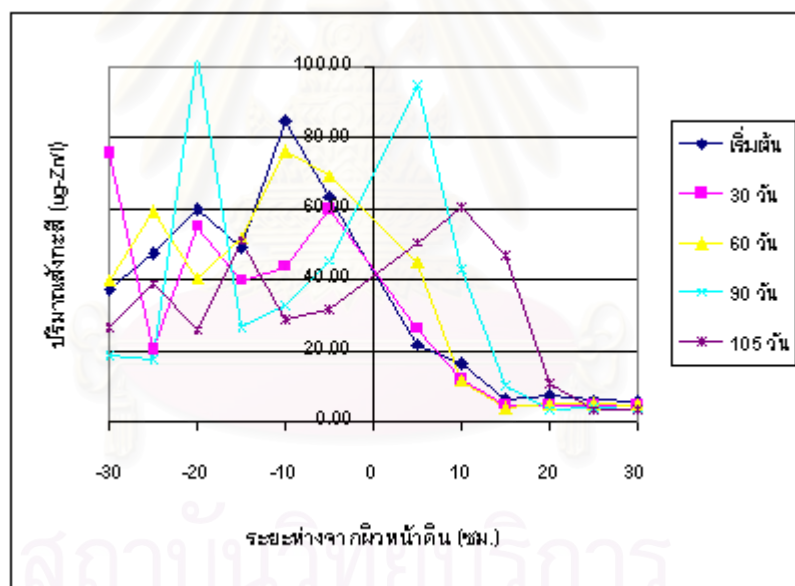
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์รีดอกซ์กับปริมาณแมงกานีสในน้ำในดินจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3. สังกะสี

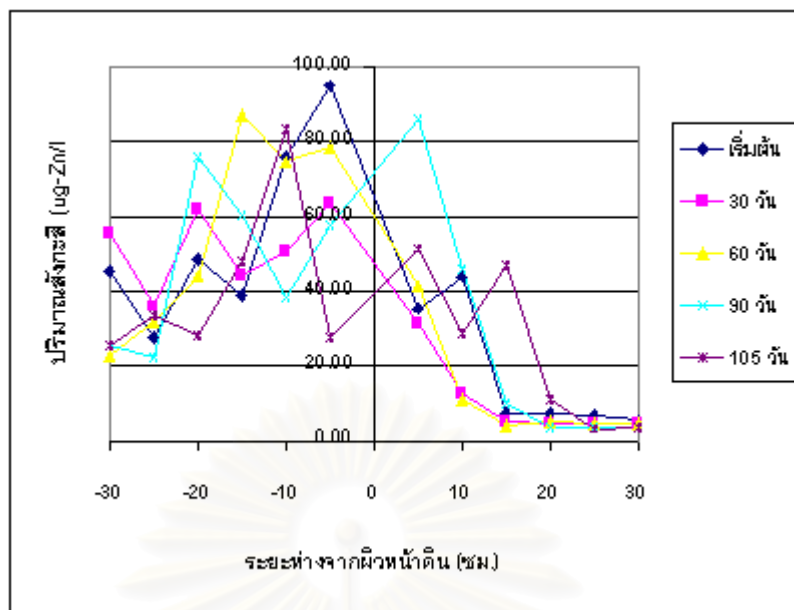
จากการศึกษาปริมาณของสังกะสีในรูปที่ละลายน้ำจากน้ำในชั้นน้ำและชั้นดิน พบว่าใน ส่วนของชั้นน้ำปริมาณสังกะสีมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความลึก ส่วนในชั้นดิน พบว่าปริมาณ สังกะสีที่พบมีค่าสูงกว่าในชั้น แต่ไม่สามารถสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสังกะสีใน น้ำในดินได้ชัดเจน เนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูลมาก (รูปที่ 24, 25, 26 และ 27) และเมื่อ พิจารณาความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (Eh) พบว่าไม่เห็นความสัมพันธ์ที่เด่นชัด เช่นเดียวกับเหล็กและแมงกานีส (รูปที่ 28) เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของสังกะสีในน้ำในดิน ใน สภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีปริมาณในน้ำและน้ำในดินมีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน โดยค่าในชั้นดินมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 29) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ารี ดอกซ์กับเหล็ก แมงกานีสและสังกะสี จะพบการละลายของโลหะทั้ง 2 ลดลงในขณะที่สังกะสีจะ พบว่าแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกมีค่าค่อนข้างคงที่ ($Eh \sim 0.4-0.6$) และกลุ่มที่ 2 เป็น ความสัมพันธ์ในลักษณะบวกกับค่ารีดอกซ์ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 30)



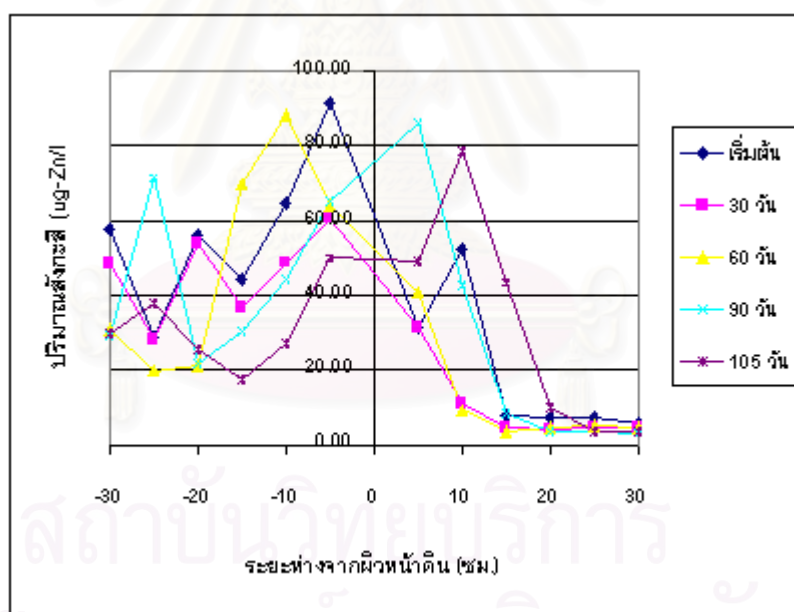
ภาพที่ 24 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 1



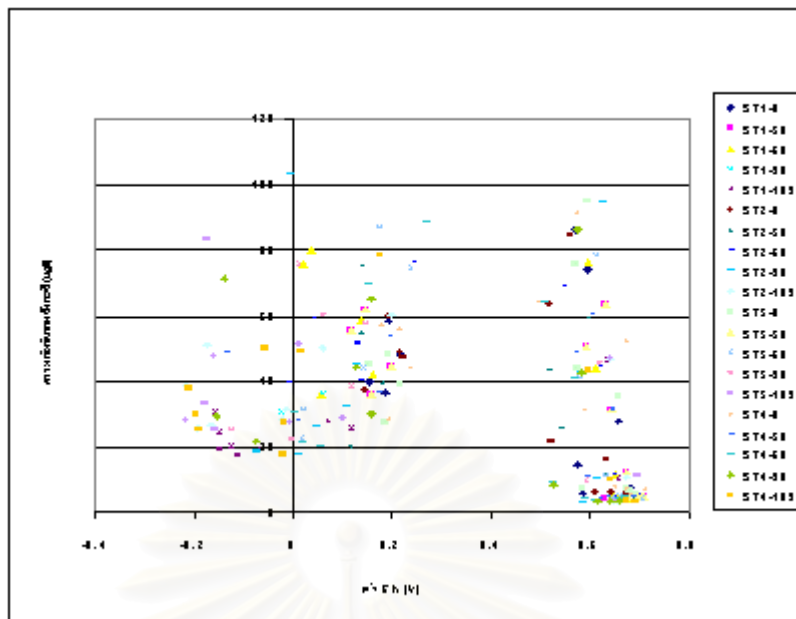
ภาพที่ 25 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 2



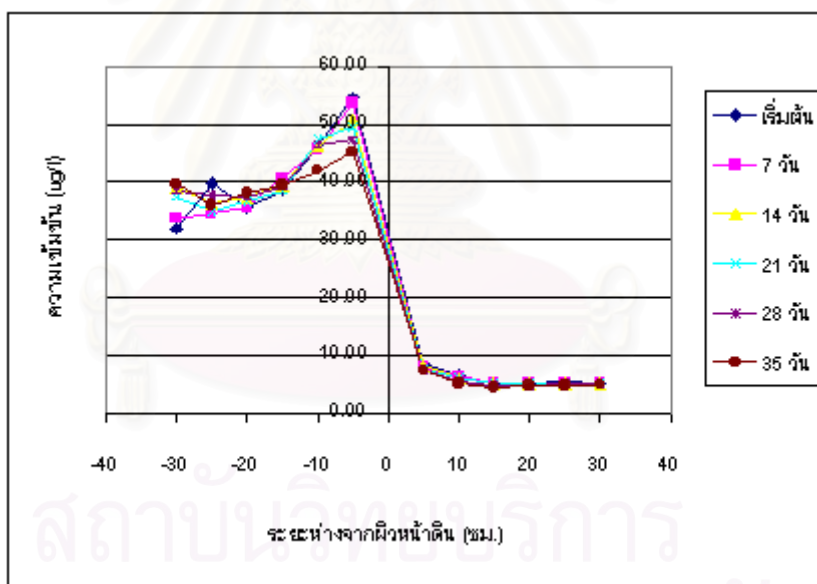
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 3



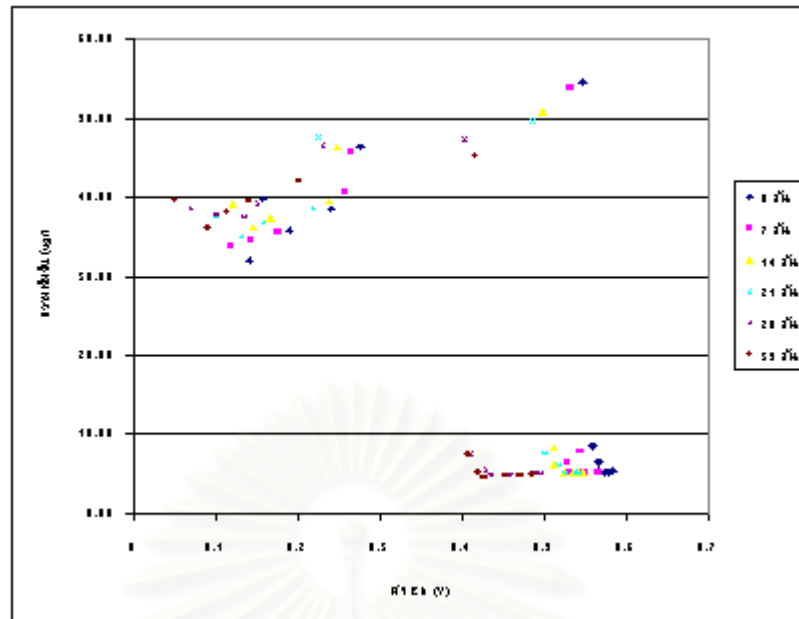
ภาพที่ 27 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน บริเวณสถานีที่ 4



ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน



ภาพที่ 29 ปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพรีดอกซ์กับปริมาณสังกะสีในน้ำในดินจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

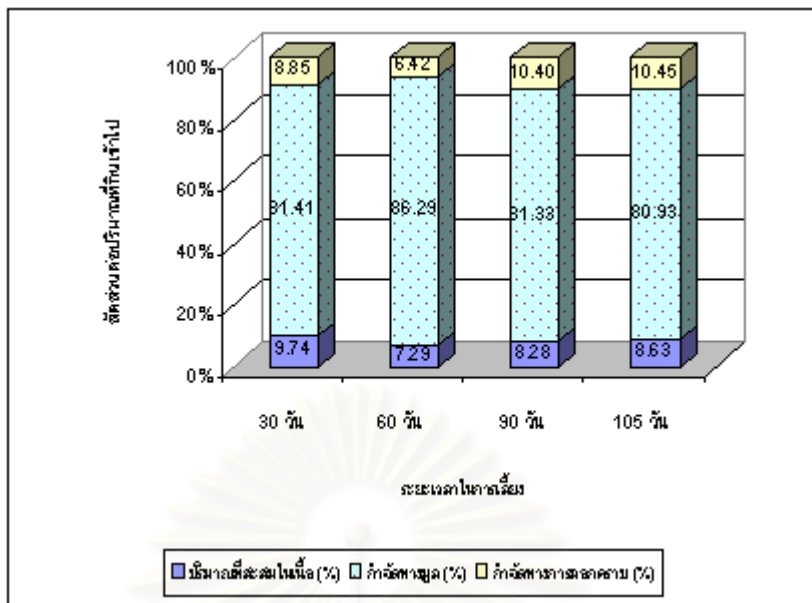
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*

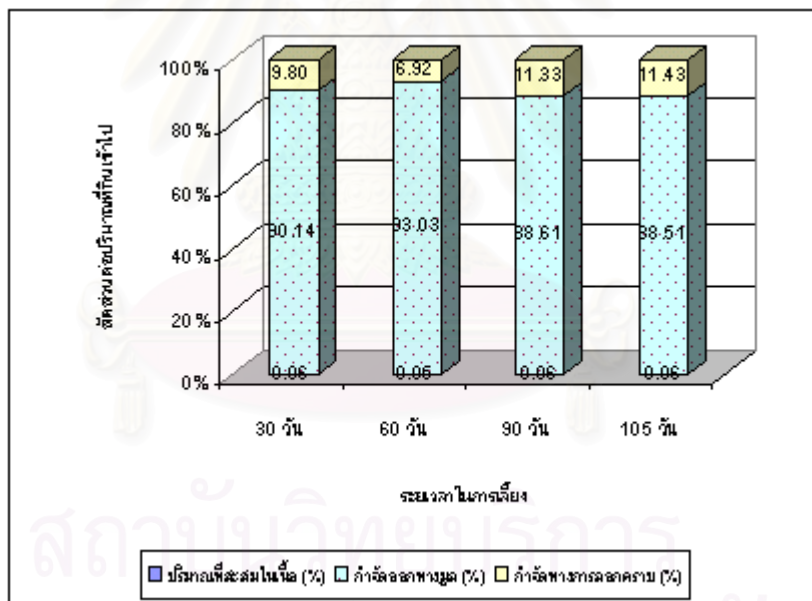
ทำการคำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีที่เข้าสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกิน ด้วยแบบจำลองเชิงปริมาณ (ตามขั้นตอนในภาคผนวก) โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างอาหารกุ้ง ตัวอย่างกุ้ง (ส่วนเนื้อและเปลือก) และตัวอย่างมูลกุ้ง พบว่าฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีการสะสมในเนื้อกุ้งมากที่สุด (7.3-9.7%) รองลงมาเป็นสังกะสี (1-1.2%) เหล็ก (0.05-0.06%) และแมงกานีส(0.04-0.05%) ตามลำดับ โดยพบว่ากุ้งมีการสะสมโลหะ 3 ตัวหลังในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับฟอสฟอรัส ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของการสะสมและการกำจัดในแต่ละช่วงเวลา พบว่าสัดส่วนของการสะสมฟอสฟอรัสและโลหะแต่ละชนิดในแต่ละช่วงไม่แตกต่างกันนัก ฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่กุ้งโดยการกินส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกโดยทางมูล มีเพียงส่วนน้อยที่ถูกกำจัดออกโดยผ่านทางกรลอกคราบ โดยพบว่าในช่วงระยะเวลา 90 วัน และ 105 วัน ฟอสฟอรัสและโลหะทุกตัวมีการกำจัดออกทางมูลลดลงเล็กน้อย ในขณะที่สัดส่วนการกำจัดทางการลอกคราบมีค่าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 31, 32, 33 และ 34)

ปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีที่สะสมอยู่ในเนื้อกุ้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่เข้าสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกิน (ภาพที่ 35, 36, 37 และ 38) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในเชิงบวก ($P < 0.05$)

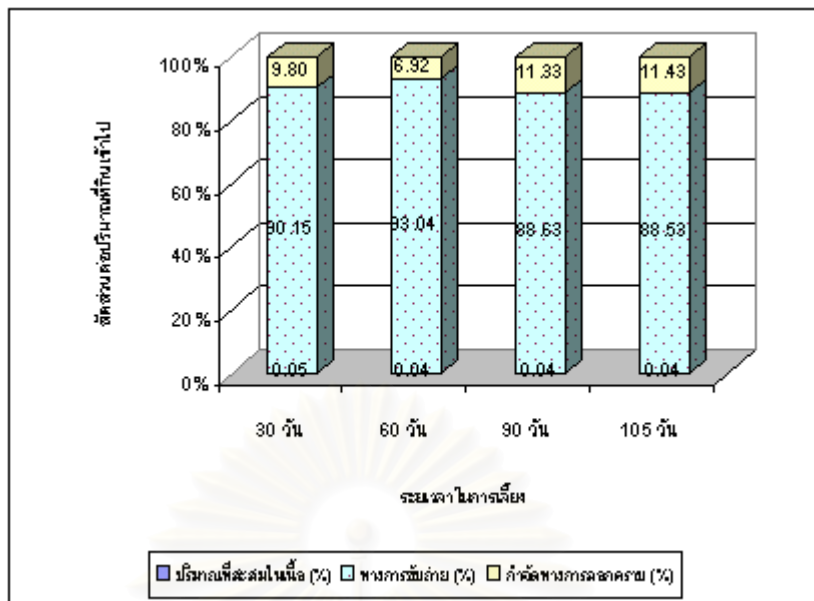
จากการคำนวณค่าปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่ถูกกำจัดออก (P2) โดยใช้แบบจำลองเทียบกับการคำนวณโดยใช้สัดส่วนของการกำจัดโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งด้วยวิธีการขับถ่ายทางมูลและทางการลอกคราบ พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากสัดส่วนของการกำจัดโลหะโดยทางมูลมีค่าใกล้เคียงกับ กับค่าที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองด้วยค่าสัดส่วนของฟอสฟอรัสและสังกะสี (R2) จากการกำจัดทางมูล (ตารางที่) ส่วนค่าที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนของการกำจัดโลหะทางการลอกคราบมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากแบบจำลองที่คำนวณด้วย R2 จากเปลือกมาก ซึ่งเมื่อนำเอาสองส่วนมารวมกันจะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองวิธีมีค่าค่อนข้างต่างกัน



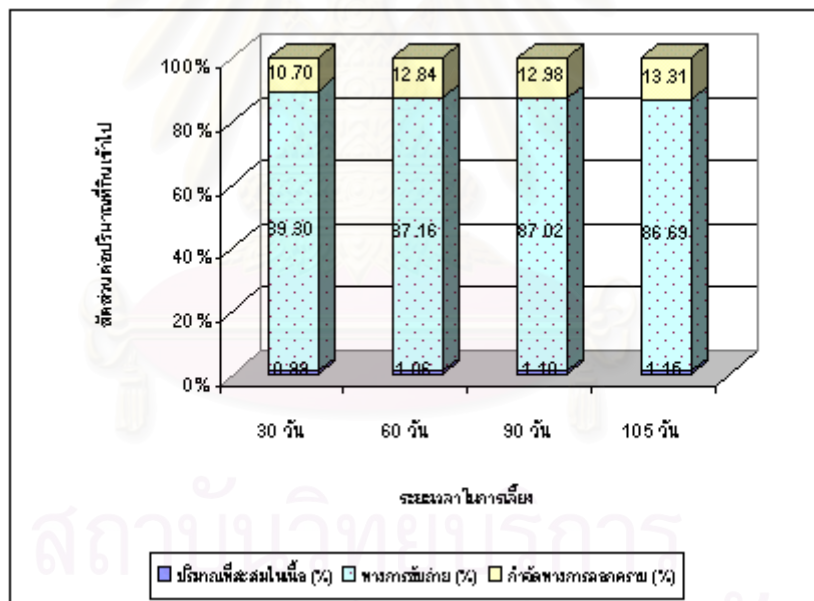
ภาพที่ 31 สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน



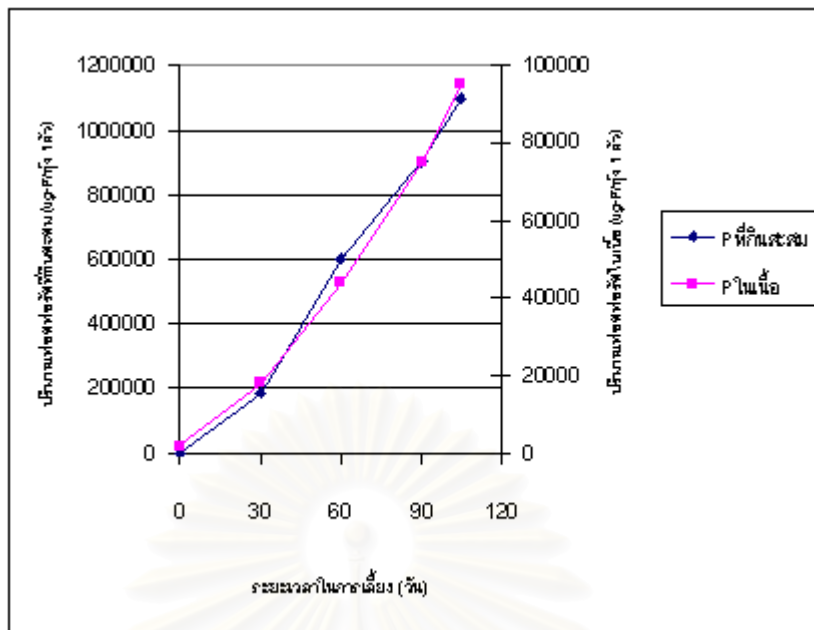
ภาพที่ 32 สัดส่วนของปริมาณเหล็กที่เข้าสู่ตัวกึ่งเนื่องจากการกิน



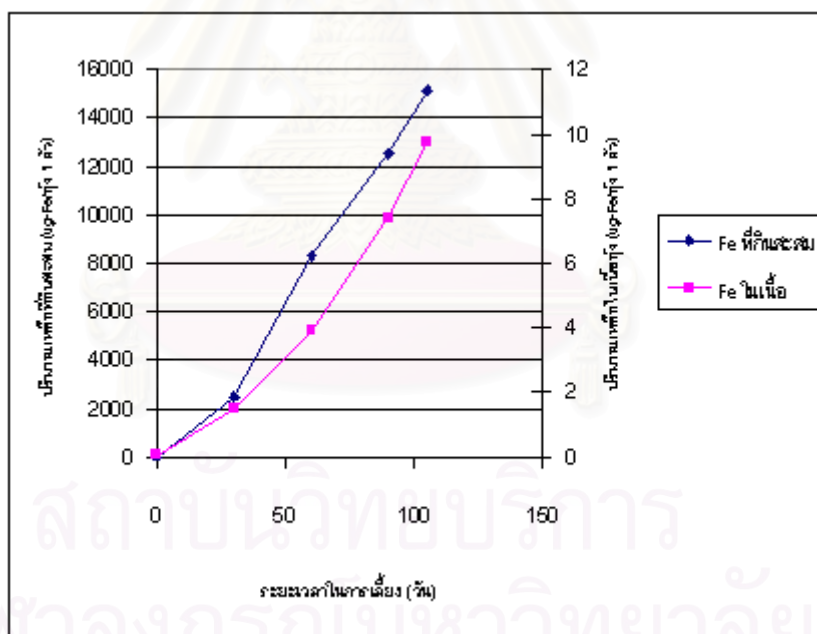
ภาพที่ 33 สัดส่วนของปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ตัวกุ้งเนื่องจากการกิน



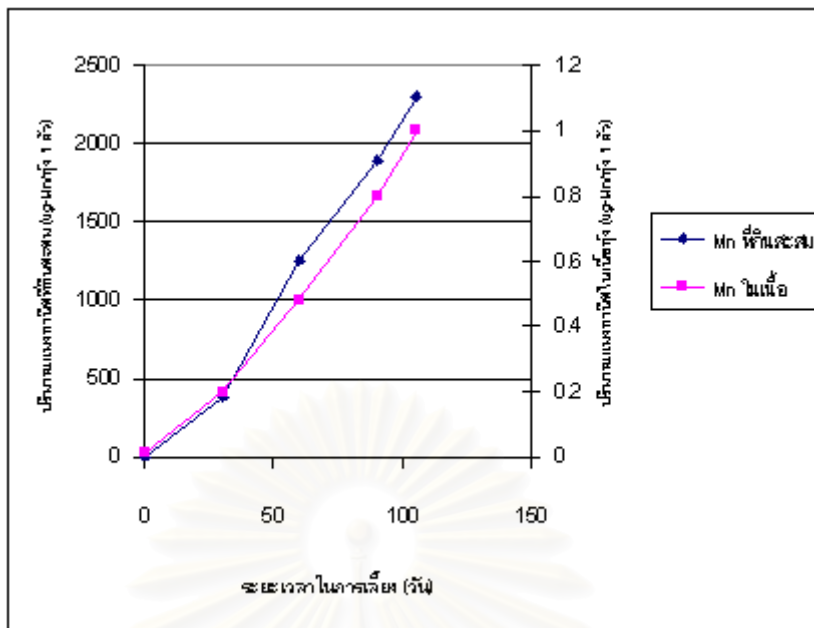
ภาพที่ 34 สัดส่วนของปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ตัวกุ้งเนื่องจากการกิน



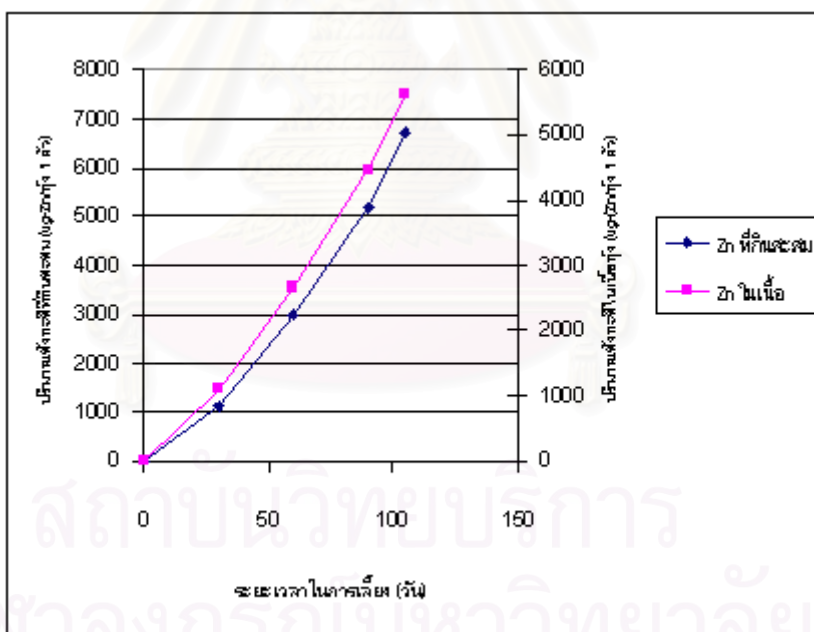
ภาพที่ 35 ปริมาณฟอสฟอรัสที่กินสะสมและปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อกุ้ง



ภาพที่ 36 ปริมาณเหล็กที่กินสะสมและปริมาณเหล็กในเนื้อกุ้ง



ภาพที่ 37 ปริมาณแมงกานีสที่กินสะสมและปริมาณเหล็กในเนื้อกุ้ง



ภาพที่ 38 ปริมาณสังกะสีที่กินสะสมและปริมาณเหล็กในเนื้อกุ้ง

บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย

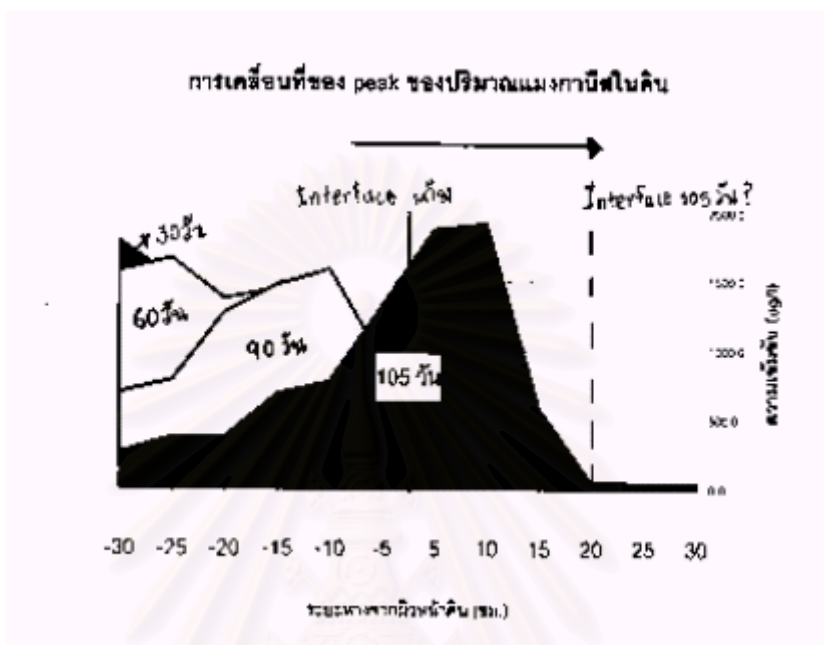
พฤติกรรมของโลหะภายใต้ภาวะรีดิวซ์ในบ่อเลี้ยง

การที่เหล็กและแมงกานีสในน้ำในชั้นดิน มีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในเชิงบวกเช่นเดียวกัน เนื่องจากธาตุทั้งสองเป็นธาตุที่มีความไวต่อกระบวนการนี้ (Masuda and Boyd, 1994 ; Tessenow and Baynes, 1975) ส่วนการที่จุดสูงสุดของปริมาณแมงกานีสในดินมีการขยับตัวขึ้นมาทางด้านบน น่าจะเป็นสาเหตุมาจากแมงกานีสในดินที่ลึกกว่าถูกรีดิวซ์จนหมด จึงมีการแพร่ขึ้นมาและจะถูกออกซิไดซ์กลับเป็นโลหะในรูปที่ไม่ละลายน้ำอีกครั้งตกเป็นตะกอนสะสมอยู่ที่บริเวณรอยต่อ และเมื่อมีการสะสมของตะกอนในระหว่างการเลี้ยง จึงทำให้ชั้นรอยต่อระหว่างน้ำและตะกอนเลื่อนขึ้นไปเรื่อย ๆ ยังผลให้แมงกานีสที่เดิมเคยมาสะสมตัวก็ถูกรีดิวซ์อีกและมาสะสมที่บริเวณรอยต่อชั้นใหม่ (ภาพที่ 39) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tessenow และ Baynes (1975) พบว่าที่ความลึกประมาณ 20 ซม. ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะลดลงมาก และในขณะเดียวกันก็จะมีมีการแพร่ขึ้นมาสะสมตัวที่ตะกอนในบริเวณที่ความลึกประมาณ 10 และ 15 เซนติเมตร โดยพบว่า gradient ของค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์น่าจะมีผลกับการแพร่ขึ้นมาด้านบนของโลหะดังกล่าว โดยเมื่อเราไปทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่มีการทับถมของตะกอนระหว่างการเก็บข้อมูลก็ไม่พบพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายของจุดสูงสุด (peak) ของปริมาณแมงกานีสเช่นในสภาพการเลี้ยงจริง ดังนั้นการสะสมของตะกอนน่าจะมีผลต่อการเคลื่อนที่มาด้านบนของจุดสูงสุดของปริมาณแมงกานีส แต่เมื่อพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของน้ำเลี้ยงซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าในน้ำในดินมาก ดังนั้นจึงค่อนข้างแน่ใจได้ว่าโลหะที่ละลายออกมาในสภาพรีดิวซ์จะไม่สามารถเข้าสู่ผิวน้ำได้ เพราะจะเปลี่ยนรูปตกเป็นตะกอนเสียก่อนที่บริเวณส่วนล่างของบริเวณรอยต่อ

การที่เราไม่พบลักษณะการเคลื่อนที่นี้กับเหล็ก น่าจะเป็นเพราะในดินมีเหล็กอยู่ในปริมาณสูงกว่าแมงกานีสมากจึงทำให้โอกาสที่เหล็กในดินที่ลึกจะถูกรีดิวซ์จนหมดมีอยู่น้อยมาก หรือไม่ก็อาจเกิดเนื่องจากการที่ปฏิกิริยา reduction ของเหล็กมีค่า Standard Electrode Potential (E^0) ต่ำกว่าปฏิกิริยา reduction ของแมงกานีส (Snoeynik and Jenkins, 1980) ดังนั้นจึงทำให้เมื่อค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ลดลง Mn (IV) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็น Mn(II) ก่อน

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 39 จะเห็นว่าช่วง peak จะมีจุดสูงสุดต่ำกว่าจุดอ้างอิงที่คิดว่าเป็นชั้นของตะกอนดินประมาณ 20 เซนติเมตร ดังนั้นในระหว่างการเลี้ยงอาจมีตะกอนมาสะสมในแนวตั้งถึง 20 เซนติเมตรก็ได้ แต่การที่เราพบตะกอนที่พอกขึ้นมาจากจุดอ้างอิงเพียง 7.5 เซนติเมตรหลังจากที่มีการจับกุ่ม ก็น่าจะเป็นเพราะว่ามีการอัดทับ (compaction) ของดินในระหว่างการสูบน้ำออก ยังผลให้ชั้นของตะกอนก้นบ่อซึ่งโดยปกติจะมีลักษณะเป็นดินเหลว ๆ มีการรวมตัว

กัน Cline และ Upchurch (1973) พบว่าการอัดทับของตะกอน (compaction) สามารถทำให้เกิดการแพร่ของโลหะขึ้นมาด้านบนได้ แต่โดยส่วนใหญ่กระบวนการทางกายภาพที่มักมีผลอย่างยิ่งกับการเคลื่อนที่ของโลหะคือ การรบกวนตะกอนดินเนื่องจากกิจกรรมของจุลชีพ



ภาพที่ 39 การเคลื่อนที่ของ peak ของปริมาณแอมโมเนียมในน้ำในดิน

การที่สังกะสีไม่มีพฤติกรรมการลดลงเมื่อค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ตามข้อสมมติฐานเบื้องต้นของเรา อาจเป็นเพราะในสภาพปอดินของเรา ค่ารีดอกซ์ยังลดไม่มากถึงจุดที่เกิดปฏิกิริยา sulfate reduction ดังนั้นสังกะสีจึงยังไม่มีแนวโน้มรวมตัวกับอ็อกไซด์ของซัลไฟด์ เกิดเป็นสารประกอบของซัลไฟด์ได้ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นที่เป็นตัวกำหนดปริมาณสังกะสีในน้ำในดิน เช่น การรวมตัวของสังกะสีกับสารประกอบอินทรีย์ (Lu and Chen, 1977) โดยพบว่าสังกะสีในสภาพรีดิวซ์ส่วนใหญ่จะมีการรวมตัวกับกรดฮิวมิก โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสถียรภาพของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complex stability) ของสารประกอบโลหะกับกรดฮิวมิกแล้วพบว่าสังกะสีจะยึดกับกรดฮิวมิกได้แข็งแรงกว่าเหล็กและแมงกานีส (Forstner and Wittmann, 1981) ส่วนภายใต้สภาพออกซิไดซ์ สังกะสีจะมีการเปลี่ยนจากการเป็นสารประกอบซัลไฟด์ไปเป็นสารประกอบพวกคาร์บอเนต, ไฮดรอกไซด์หรือซิลิเกต นอกจากนี้สังกะสียังสามารถที่จะดูดซับกับสารประกอบโพลีเมอร์ได้ (Nissenbaum and Swaine, 1976) โดยพบว่าจะมีการเพิ่มปริมาณอย่างมากในตะกอนที่มีองค์ประกอบของกรดฮิวมิก ดังนั้นกรดฮิวมิกน่าจะเป็นตัวการสำคัญที่กำหนดพฤติกรรมของสังกะสีในสภาพรีดิวซ์มากกว่ากระบวนการทางรีดอกซ์

การที่ค่าปริมาณโลหะในน้ำและน้ำในดินมีค่าแตกต่างกันมาก ทำให้ข้อมูลทั้งสองกลุ่มไม่มีความสัมพันธ์ที่เชื่อมต่อกัน ดังนั้นจึงเห็นการเว้นช่วงข้อมูลในบริเวณที่เปลี่ยนจากน้ำไปเป็นน้ำในดิน ดังนั้นเราจึงสามารถอนุมานได้ว่าบริเวณที่มีค่าของปริมาณโลหะไม่ต่อเนื่องกันนี้จะเป็นบริเวณชั้นรอยต่อระหว่างน้ำและดิน (interface) และการที่เราไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของโลหะตามความลึกหรือการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะตามเวลาในชั้นน้ำก็เพราะในสภาพการเลี้ยงกุ้งจะมีการตีน้ำและให้อากาศอยู่เสมอ ซึ่งนอกจากจะทำให้มวลน้ำมีการผสมผสานกันเป็นอย่างดีแล้วการตีน้ำยังเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่กุ้งอีกด้วย

การที่ค่าพีเอชของน้ำในบ่อและน้ำในดินมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง ทั้งที่บ่อที่ทำการศึกษาคือบ่อดินที่อยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเราทราบกันดีว่าดินบริเวณนั้นเป็น acid -sulfate จึงควรจะมีค่าพีเอชต่ำกว่านี้ ก็เพราะในระหว่างการเตรียมบ่อก่อนการลงกุ้ง จะต้องมีการปรับค่าพีเอช

ปัจจัยในเรื่องของความเค็มไม่น่ามีผลต่อการแพร่ออกจากตะกอนของโลหะในระหว่างที่ทำการศึกษา เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้น้ำนาเกลือผสมกับน้ำจากธรรมชาติมาผสมกันจนได้ความเค็มประมาณ 4-5 พีพีที โดยในระหว่างการเลี้ยงจะมีการเติมน้ำจืดจนได้ความเค็มก่อนจับประมาณ 0.8- 1 พีพีที ซึ่งถือว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงของความเค็มน้อยมาก

การใช้ flux chamber เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการติดตามปัจจัยแวดล้อมของบ่อในระหว่างการเลี้ยง แต่ไม่ควรใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานานเกินไป เนื่องจากในระหว่างการเลี้ยงจะมีอนุภาคตะกอนขนาดเล็กที่สามารถแทรกผ่านเข้ามาทางรูน้ำเข้าได้ ยังผลให้ถ้าเราทิ้งกล่องไว้ในบ่อ นานเกินไป ตะกอนเหล่านี้จะมีการสะสมตัวในกล่องมากจนไปอุดรูน้ำเข้า-ออกได้

แบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*

การที่ฟอสฟอรัสมีการสะสมอยู่ในเนื้อมากกว่าโลหะทั้งสามชนิด เนื่องจากเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญโดยร่วมกับแคลเซียมในกระบวนการสร้างเปลือก นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเป็นองค์ประกอบของ phospholipid, nucleic acid, phosphoprotein และ ATP ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึม (Fast and Lester, 1992) แต่การที่เรายังพบว่าโลหะทั้งสามตัวมีการสะสมอยู่ในเนื้อ ในขณะที่อลูมิเนียมซึ่งเป็นโลหะเหมือนกันแต่ไม่พบว่ามี การสะสม ก็เนื่องจากโลหะทั้งสามชนิดนี้ยังมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีววิทยาในกุ้ง โดยเหล็กจะเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในกุ้ง เช่น cytochromes, catalyses, peroxidases และ denydrogenase แมงกานีสจะถูกใช้เป็น cofactor สำหรับเอนไซม์หลายตัว ได้แก่ phosphate transferases และ dehydrogenase, alkaline phosphatase, arginase และ hexokinase เป็นต้น ส่วนสังกะสี นอกจากจะเป็นองค์ประกอบของ metalloenzymes มากกว่า 80 ชนิดแล้วยังเป็น cofactor ใน

ระบบเอนไซม์ของกึ่งอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใส่แร่ธาตุเหล่านี้ลงไปในการกึ่งด้วย

การที่กึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการสะสมฟอสฟอรัสและโลหะทั้งสามชนิดกับปริมาณโลหะที่ผ่านเข้าสู่ร่างกายทางการกินอย่างมีนัยสำคัญสูง ดังนั้นการกินเป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่อการนำโลหะเข้าสู่ตัวกึ่ง

ธาตุอาหารจะถูกดูดซึมเข้าไปใช้จริงเพียงปริมาณน้อยมาก โดยเฉพาะแร่ธาตุที่จำเป็นต่อกึ่งเป็นปริมาณน้อย ดังนั้นกึ่งจึงมีการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกมาทั้งโดยการขับถ่ายออกมาทางมูลและการกำจัดผ่านทางกรลอกคราบ แต่การที่การกำจัดโดยการขับถ่ายทางมูลเป็นกระบวนการที่มีสัดส่วนในการกำจัดโลหะเป็นส่วนใหญ่ก็เนื่องจากกึ่งเป็นสัตว์ที่ลำไส้ตรงสั้น (วัลลภ, 2541) ดังนั้นจึงใช้เวลาเพียงไม่นานหลังจากที่กินเข้าไปก็จะขับถ่ายเอาส่วนที่ไม่ต้องการออกมา ทำให้โอกาสที่โลหะที่เข้าไปสู่ตัวกึ่งจะไปสะสมที่บริเวณเปลือกและรอการกำจัดออกทางกรลอกคราบต่อไปมีได้น้อยกว่า แต่การที่เราสังเกตเห็นว่าในช่วงหลังของการเลี้ยง คือตั้งแต่ 60 วันขึ้นไป สัดส่วนของการกำจัดโลหะทางการลอกคราบเริ่มมีค่าสูงขึ้น อาจเป็นเพราะในระยะหลังกึ่งจะมีการกินอาหารในอัตราส่วนที่ลดลงกว่าช่วงแรก โดยพบว่ากึ่งเล็กจะมีการกินอาหารมากถึง 20-25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว แต่เมื่ออายุมากขึ้นก็จะมีกรกินอาหารลดลงจนถึงเหลือเพียงประมาณ 3-5 % ของน้ำหนักตัวในช่วงก่อนที่จะถูกจับขาย ทำให้ปริมาณอาหารที่กึ่งแต่ละตัวกินเข้าไปไม่เพิ่มขึ้นนัก ยังผลให้ปริมาณมูลที่ขับถ่ายออกมาก็จะมีค่าค่อนข้างจะใกล้เคียงกันในแต่ละช่วง แต่สำหรับการลอกคราบ กึ่งจะต้องมีการลอกคราบอยู่เรื่อย ๆ ตลอดช่วงชีวิต เพื่อให้ตัวกึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตขึ้นได้ ซึ่งถึงแม้ว่ากึ่งใหญ่จะมีความถี่ในการลอกคราบน้อยกว่ากึ่งเล็ก แต่เมื่อเทียบตามน้ำหนักของคราบที่ลอกออกมาแล้ว กึ่งใหญ่จะมีน้ำหนักของคราบมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้เราพบว่ากึ่งแต่ละตัวมีสัดส่วนของการกำจัดโลหะทางการลอกคราบเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การกินอาหารต่อน้ำหนักตัวน้อยลง ดังนั้นปริมาณโลหะที่ย่อยหรือดูดซึมไม่ได้จึงถูกกำจัดออกโดยมูล

ในการใช้แบบจำลองการเพื่อศึกษาปริมาณโลหะที่เข้าสู่กึ่งโดยผ่านการกินนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาโลหะชนิดอื่น แต่ควรจะต้องเป็นโลหะที่ไม่มีการกำจัดออกด้วยกระบวนการอื่น เช่น กระบวนการหายใจ รวมทั้งธาตุที่จะนำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ ควรจะมีสัดส่วนในองค์ประกอบที่เราต้องการศึกษาใกล้เคียงกับโลหะที่เราสนใจ เพราะถ้าหากว่ามีสัดส่วนแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณ ทำให้อาจเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจน

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในภาวะรีดิวซ์ของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ การละลายน้ำของเหล็กและแมงกานีสสัมพันธ์กับค่าของศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เช่นเดียวกัน โดยมีการละลายได้มากขึ้นเมื่อศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ลดลง ส่วนการละลายน้ำของสังกะสีมีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์น้อย โดยน่าจะมีกระบวนการอื่นที่เป็นตัวกำหนดการละลายน้ำของสังกะสีมากกว่า นอกจากปัจจัยทางเคมีแล้ว ปัจจัยทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน ก็มีผลต่อพฤติกรรมของแมงกานีสในสภาพรีดิวซ์ด้วย

เราสามารถปรับแบบจำลองเชิงปริมาณเพื่อหาปริมาณโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งเนื่องจากภารกิจินได้ โดยจากผลการศึกษาพบว่าสังกะสีจะมีการสะสมในเนื้อกุ้งมากกว่าเหล็กและแมงกานีส โดยโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่จะมีการถูกกำจัดออกไปโดยกระบวนการขับถ่ายทางมูล แต่กระบวนการกำจัดโลหะทางการลอกคราบ จะมีความสำคัญเพิ่มขึ้นเมื่อกุ้งโตขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการเลี้ยงและการเก็บข้อมูล ทำให้ไม่อาจเห็นช่วงการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงน่าจะทำการเลี้ยงกุ้งเองในบ่อดิน
2. flux chamber ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อติดตามสภาพแวดล้อมของบ่อในระหว่างช่วงเวลากการเลี้ยง ซึ่งจะไม่เป็นการรบกวนกุ้งมากเกินไปเหมือนกับการเก็บตัวอย่างโดยใช้ core โดยในแต่ละครั้งที่มีการฝัง chamber ไม่ควรทิ้งไว้นานมากเกินไป เพราะจากการศึกษาพบว่ามีตะกอนดินอนุภาคเล็ก ๆ สามารถทะลุผ่านรูน้ำเข้ามาในกล่องได้ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ก็จะทำให้ตะกอนเข้ามาสะสมตัวอยู่ในกล่องมาก อาจทำให้กล่องตันได้
3. โลหะที่ทำการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณน้อย ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะน่าจะใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง เพื่อที่จะได้ไม่เกิดข้อจำกัดในการรายงานผลที่เปลี่ยนแปลง

4. ควรจะมีการนำแบบจำลองเชิงปริมาณของโลหะไปทดสอบกับธาตุชนิดอื่น เพื่อทดสอบความถูกต้องต่อไป
5. ในการใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาปริมาณโลหะที่เข้าสู่กึ่งโดยการกินนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาโลหะชนิดอื่น แต่ควรจะต้องเป็นโลหะที่ไม่มีการกำจัดออกด้วยกระบวนการอื่น เช่น กระบวนการหายใจ รวมทั้งธาตุที่จะนำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ ควรจะมีสัดส่วนในองค์ประกอบที่เราต้องการศึกษาใกล้เคียงกับโลหะที่เราสนใจ เพราะถ้าหากมีสัดส่วนแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณ ทำให้อาจเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ประจวบ หล้าอุบล. สรีรวิทยาของกุ้ง. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.
เจริญรัฐการพิมพ์, 2537.
- วัลลภ คงเพิ่มพูน. กุ้งกุลาดำ. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน. (ม.ป.ท.), 2541.

ภาษาอังกฤษ

- American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and Wastewater. 18th ed. Washington, DC. American Public Health Association. 1992.
- Boyd, C.E. Bottom sediment and pond aquaculture. New York. Chapman & Hall, 1995.
- Chien, Y.H. Study on the sediment chemistry of Tiger prawn, Kuruma prawn, and red tail prawn ponds in I-Lan Hsien. In Studies on the environment improvement and the control of the off-flavor in fish II. Fisheries Series no. 16. Taipei. Council of agriculture, 1989.
- Cline, J.T. and Upchurch, S.B. Mode of heavy metal migration in the upper strata of lake sediment. (n.p.), 1973.
- Fast, A.W. and Lester, L.J. Marine shrimp culture : principles and practices. New York. Elsevier Science, 1992.
- Fortsner, U. and Wittman, G.T. Metal Pollution in the aquatic environment. 2nd ed. New York. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.
- Lu, J.C.S. and Chen, K.Y. Migration of trace metal in interface of seawater and polluted surficial sediments. Environ. Sci. Technol. 11 (1977) : 174-182.
- Masuda, K. and Boyd, C.E. Chemistry of sediment pore water in aquaculture ponds built on clayey, Ultisols at Auburn, Alabama. J. World. Aquaculture Soc. 25. (1994) : 396-404.
- Morgan, J.J. and Stumm, W. The role of multivalent metal oxides in limnological transformations, as exemplified by iron and manganese. 2nd Int. Conf. Water Pollut. Res. 6 (1994) : 1-16.

- Nissenbaum, A. and Swaine, D.J. Organic matter-metal interactions in Recent Sediments : the role of humic substances. Geochim. Cosmochim. Acta 40 (1976) : 809-816.
- Shigeno, K. Problem in prawn culture. New Delhi. Amerind publishing, 1978.
- Snoeyink, V.L. and Weber, V.I. The surface chemistry of active carbon, a discussion of structure and surface functional groups. Environ. Sci. Technol. 1 (1967) : 228-232.
- Stumm, W. and Morgan, J.J. Aquatic chemistry. New York, Wiley, 1970.
- Tessenow, U. and Baynes, Y. Redox-dependent accumulation of Fe and Mn in a littoral sediment supporting *Isoetes lacustris*. Naturwissenschaften 62 (1975) : 342.
- Thompson, J.A.J and Turekian, K.K., and McCaffrey, R.J. The accumulation of metals in and release from sediments of Long Island Sound. In Estuarine Research Cronin, L.E. (ed). New York. Academic press, 1975.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณปริมาณและสัดส่วนของโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกิน

1. การคำนวณปริมาณโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกิน

$$\begin{aligned} \text{จากค่า } R1 &= P/AI \text{ ในอาหารกึ่ง} \\ R2 &= P/AI \text{ ในเปลือกกึ่งและมูลกึ่ง} \\ \Delta P &= \text{ปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อกึ่งที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา} \\ \Delta AI &= \text{ปริมาณอลูมิเนียมในเนื้อกึ่งที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา} \end{aligned}$$

นำค่าที่วิเคราะห์ได้จากตารางที่ 1, 2, 3 และ 4 มาคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ข้างต้น จะได้ค่าตัวแปรสำหรับใช้ในแบบจำลองดังตารางที่ 5 จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่าปริมาณ ฟอสฟอรัส (P1), ปริมาณเหล็ก (Fe1), ปริมาณแมงกานีส (Mn1) และปริมาณสังกะสีที่เข้าสู่ตัวกึ่ง โดยผ่านการกิน ได้จาก

$$\begin{aligned} P1 &= R2(\Delta P - R2\Delta AI)/(R1-R2) \\ Fe1 &= P1*Fe/P \\ Mn1 &= P1*Mn/P \\ Zn1 &= P1*Zn/P \end{aligned}$$

จะได้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินที่คำนวณจากค่า R2 ในเปลือก และ R2 ในมูลดังตารางที่ 6 และ 7

จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งสองตารางมารวมกัน จะได้เป็นได้ปริมาณ ฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินทั้งหมด (ตารางที่ 8)

ทำการหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินสะสม ในแต่ละช่วงเวลาในการเลี้ยงได้จาก การนำปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกึ่งโดยผ่านการกินทั้งหมดรวมตั้งแต่วเวลาเริ่มต้นจนถึงช่วงเวลานั้นมารวมกัน จะได้ค่าดังตารางที่ 9 หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณ ฟอสฟอรัสและโลหะที่ถูกกำจัดออกจากตัวกึ่งในแต่ละช่วงเวลา ได้จาก

$$\text{ปริมาณที่ถูกกำจัด} = \text{ปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมดสะสม} - \text{ปริมาณในเนื้อ}$$

จะได้ผลดังตารางที่ 10 จากนั้นจึงหาสัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสและโลหะทางมูลต่อทางเปลือก จาก

สัดส่วนของการกำจัดทางมูลต่อทางเปลือก = $\frac{\text{ปริมาณที่กินเข้าไปที่คำนวณจากค่า R2 ในมูลกึ่ง}}{\text{ปริมาณที่กินเข้าไปที่คำนวณจากค่า R2 ในเปลือก}}$

นำผลที่ได้มาคำนวณหาสัดส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (\%)} &= \text{ปริมาณในเนื้อ/ปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมด} * 100 \\ \text{ปริมาณที่กำจัดออก (\%)} &= 100 - \text{ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (\%)} \end{aligned}$$

จะได้ผลดังตารางที่ 12, 13, 14 และ 15

จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสและโลหะทางมูลและสัดส่วนของการกำจัดทางการลอกคราบ ได้จาก

$$\begin{aligned} \text{สัดส่วนของการกำจัดทางมูล} &= \frac{\text{สัดส่วนการกำจัดทางมูลต่อทางเปลือก} * \text{ปริมาณที่กำจัดออก}}{100} \\ \text{สัดส่วนการกำจัดทางการลอกคราบ} &= \text{ปริมาณที่กำจัดออก (\%)} - \text{ปริมาณที่กำจัดทางมูล (\%)} \end{aligned}$$

จะได้ผลดังตารางที่ 16, 17, 18 และ 19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในอาหาร (ug/g)

เวลา	Fe	Mn	Zn	P	Al
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	200	31	90	15,000	5.0
60 วัน	210	31	95	15,000	4.9
90 วัน	210	32	95	15,000	5.0
105 วัน	200	32	98	15,000	5.0

ตารางที่ 2 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในเนื้อกุ้ง (ug/กึ่ง 1 ตัว)

เวลา	Fe	Mn	Zn	P	Al
เริ่มต้น	0.075	0.01	0.68	1,800	3.50
30 วัน	1.5	0.20	11	18,000	3.50
60 วัน	3.9	0.48	28	44,000	3.51
90 วัน	7.4	0.80	49	75,000	3.51
105 วัน	9.8	1.0	64	95,000	3.52

ตารางที่ 3 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในเปลือกกุ้ง (ug/กึ่ง 1 ตัว) และการหาค่า R2 จากเปลือกกุ้ง

เวลา	Fe	Mn	Zn	P	Al
เริ่มต้น	15.50	0.25	n/a	10,000	35
30 วัน	148.20	17.29	110.66	13,000	41
60 วัน	158.08	18.77	116.05	15,000	47
90 วัน	182.78	20.25	121.03	14,000	49
105 วัน	192.66	21.24	126.96	15,000	48

ตารางที่ 4 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในมูลกิ้ง (ug/กิ้ง 1 ตัว)

เวลา	Fe	Mn	Zn	P	Al
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	135	29.9	47.3	12,500	4.70
60 วัน	137	29.8	47.5	13,500	4.90
90 วัน	139	30.5	48.5	13,400	5.00
105 วัน	141	31.5	48.4	13,500	4.90

ตารางที่ 5 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณในแบบจำลอง

เวลา	R1	R2 (เปลี่ยน)	R2	ΔP	ΔAl
เริ่มต้น	n/a	280	n/a	n/a	n/a
30 วัน	3,000	320	2,700	16,000	0.00
60 วัน	3,100	400	2,800	26,000	0.01
90 วัน	3,000	540	2,700	31,000	0.00
105 วัน	3,000	560	2,700	20,000	0.01

ตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกิ้งโดยผ่านการกินโดยคำนวณจากการกำจัดออกทางการลอกคราบ ในแต่ละช่วงเวลากการเลี้ยง (ug/กิ้ง 1 ตัว)

เวลา	P1	Fe/P	Mn/P	Zn/P	Fe1	Mn1	Zn1
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	N/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	18,000	0.013	0.0021	0.0060	230	38	110
60 วัน	30,000	0.014	0.0021	0.0063	420	63	190
90 วัน	38,000	0.014	0.0021	0.0063	530	80	240
105 วัน	25,000	0.013	0.0021	0.0065	330	53	160

หมายเหตุ : ใช้ค่า R2 จากสัดส่วนของ P/Al ในเปลือกกิ้ง

ตารางที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกินโดยคำนวณจากการกำจัดออกทางการลอกคราบ ในแต่ละช่วงเวลาการเลี้ยง (ug/กุ้ง 1 ตัว)

เวลา	P1	Fe/P	Mn/P	Zn/P	Fe1	Mn1	Zn1
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	N/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	160,000	0.013	0.0021	0.0060	2,000	336	960
60 วัน	270,000	0.014	0.0021	0.0063	3,800	567	1,700
90 วัน	310,000	0.014	0.0021	0.0063	4,300	651	2,000
105 วัน	200,000	0.013	0.0021	0.0065	2,600	420	1,300

หมายเหตุ : ใช้ค่า R2 จากสัดส่วนของ P/Al ในมูลกุ้ง

ตารางที่ 8 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกินทั้งหมด ในแต่ละช่วงเวลา (ug/กุ้ง 1 ตัว)

เวลา	P1	Fe1	Mn1	Zn1
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	N/a
30 วัน	180,000	2,200	370	1,100
60 วัน	300,000	4,200	630	1,900
90 วัน	350,000	4,800	730	2,200
105 วัน	230,000	2,900	470	1,500

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่เข้าสู่ตัวกุ้งโดยผ่านการกินสะสม ในแต่ละช่วงเวลาในการเลี้ยง (ug/กึ่ง 1 ตัว)

เวลา	P1	Fe1	Mn1	Zn1
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	180,000	2,200	370	1,100
60 วัน	480,000	6,400	1,000	3,000
90 วัน	830,000	11,200	1,730	5,200
105 วัน	1,000,000	14,000	2,200	6,700

ตารางที่ 10 ปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะที่ถูกกำจัดออกจากตัวกุ้ง (ug/กึ่ง 1 ตัว)

เวลา	P	Fe	Mn	Zn
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	162,000	2199	370	1089
60 วัน	436,000	6396	1000	2972
90 วัน	755,000	11193	1729	5151
105 วัน	905,000	13990	2199	6635

ตารางที่ 11 สัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสและโลหะทางมูลต่อการกำจัดทางการลอกคราบ

เวลา	P	Fe	Mn	Zn
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	9.20	9.20	9.20	9.20
60 วัน	13.44	13.44	13.44	7.40
90 วัน	7.82	7.82	7.82	7.33
105 วัน	7.75	7.75	7.75	7.13

ตารางที่ 12 สัดส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกุ้ง
(% ของปริมาณโลหะที่ผ่านการกินทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (%)	ปริมาณที่กำจัดออก (%)
30 วัน	9.74	90.26
60 วัน	7.29	92.71
90 วัน	8.28	91.72
105 วัน	8.63	91.37

ตารางที่ 13 สัดส่วนของปริมาณเหล็กส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกุ้ง
(% ของปริมาณโลหะที่ผ่านการกินทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (%)	ปริมาณที่กำจัดออก (%)
30 วัน	0.06	99.94
60 วัน	0.05	99.95
90 วัน	0.06	99.94
105 วัน	0.06	99.94

ตารางที่ 14 สัดส่วนของปริมาณแมงกานีสส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกุ้ง
(% ของปริมาณโลหะที่ผ่านการกินทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (%)	ปริมาณที่กำจัดออก (%)
30 วัน	0.05	99.95
60 วัน	0.04	99.96
90 วัน	0.04	99.96
105 วัน	0.04	99.96

ตารางที่ 15 สัดส่วนของปริมาณสังกะสีส่วนที่สะสมในเนื้อและส่วนที่ถูกกำจัดออกจากตัวกุ้ง (% ของปริมาณโลหะที่ผ่านการกินทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ปริมาณที่สะสมในเนื้อ (%)	ปริมาณที่กำจัดออก (%)
30 วัน	0.99	99.01
60 วัน	1.06	98.94
90 วัน	1.10	98.90
105 วัน	1.15	98.85

ตารางที่ 16 สัดส่วนของการกำจัดฟอสฟอรัสออกจากตัวกุ้งทางมูลและทางการลอกคราบ (% ของปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	กำจัดทางมูล (%)	กำจัดทางการลอกคราบ (%)
30 วัน	81.18	8.82
60 วัน	86.29	6.42
90 วัน	81.33	10.40
105 วัน	80.93	10.45

ตารางที่ 17 สัดส่วนของการกำจัดเหล็กออกจากตัวกุ้งทางมูลและทางการลอกคราบ (% ของปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ทางการขับถ่าย (%)	กำจัดทางการลอกคราบ (%)
30 วัน	90.14	9.80
60 วัน	93.03	6.92
90 วัน	88.61	11.33
105 วัน	88.51	11.43

ตารางที่ 18 สัดส่วนของการกำจัดแมงกานีส ออกจากตัวกุ้งทางมูลและทางการลอกคราบ (% ของปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ทางการขับถ่าย (%)	กำจัดทางการลอกคราบ (%)
30 วัน	90.15	9.80
60 วัน	93.04	6.92
90 วัน	88.63	11.33
105 วัน	88.53	11.43

ตารางที่ 19 สัดส่วนของการกำจัดสังกะสีจากตัวกุ้งทางมูลและทางการลอกคราบ (% ของปริมาณที่กินเข้าไปทั้งหมด)

เวลาในการเลี้ยง	ทางการขับถ่าย (%)	กำจัดทางการลอกคราบ (%)
30 วัน	89.30	10.70
60 วัน	87.16	12.84
90 วัน	87.02	12.98
105 วัน	86.69	13.31

ตารางที่ 20 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟอสฟอรัสและโลหะในส่วนที่กินสะสมกับส่วนที่อยู่ในเนื้อ

ธาตุ	ค่าสหสัมพันธ์
ฟอสฟอรัส	0.995
เหล็ก	0.988
แมงกานีส	0.997
สังกะสี	0.999

2. การคำนวณปริมาณโลหะที่กึ่งกำจัดออกมา

$$\text{จากค่า P2} = \frac{R2(R1\Delta A_I - \Delta P)}{R2 - R1}$$

หาค่า P2, Fe2, Mn2 และ Zn2 โดยใช้ค่า R2 จากมูลกึ่ง ได้ดังตารางที่ 21 และหาค่า P2, Fe2, Mn2 และ Zn2 โดยใช้ค่า R2 จากเปลือกกึ่งได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 21 ปริมาณโลหะที่เข้าสู่ร่างกายโดยการกินแล้วขับออก (ug/กึ่ง 1 ตัว) คำนวณจาก R2 มูล

เวลา	P2	Fe2	Mn2	Zn2
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	150,000	2000	311	900
60 วัน	360,000	5100	750	2300
90 วัน	240,000	3300	510	1500
105 วัน	150,000	2000	330	1000

ตารางที่ 22 ปริมาณโลหะที่เข้าสู่ร่างกายโดยการกินแล้วขับออก (ug/กึ่ง 1 ตัว) คำนวณจาก R2 เปลือกกึ่ง

เวลา	P2	Fe2	Mn2	Zn2
เริ่มต้น	n/a	n/a	n/a	n/a
30 วัน	1,900	26	4.0	12
60 วัน	3,000	42	6.3	19
90 วัน	3,300	46	7.0	21
105 วัน	2,300	31	5.0	15

ประวัติผู้เขียน

นางสาววลัยพรรณ เกษทอง เกิดวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2514 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาทางทะเล ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2535 และเข้า ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย