

การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน
เพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอย



นายวรากร เกิดทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0101-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**USE OF SUBSURFACE-FLOW CONSTRUCTED WETLANDS
FOR LANDFILL LEACHATE TERTIARY TREATMENT**

Mr. Warakorn Kerdsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0101-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดชั้นที่สามสำหรับ
น้ำชะมูลฝอย
โดย นายวรากร เกิดทรัพย์
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุวี ขาวเขียว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โฉมวงศ์วัฒน)

วรากร เกิดทรัพย์ : การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอย (USE OF SUBSURFACE-FLOW CONSTRUCTED WETLANDS FOR LANDFILL LEACHATE TERTIARY TREATMENT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 162 หน้า. ISBN 974-13-0101-4.

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface-flow Constructed Wetlands) ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบำบัดก่อนระบายทิ้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบควบคุมซึ่งบรรจุตัวกลางทรายขนาด 1-3 มิลลิเมตร กับระบบที่ปลูกพืช 2 ชนิด คือ ฐูปฤกษ์ (*Typha angustifolia*) และ เหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus*) ซึ่งปลูกในตัวกลางทรายขนาดเดียวกัน โดยใช้แบบจำลอง 3 หน่วยการทดลอง แต่ละหน่วยมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเป็น 3, 5 และ 10 วัน คิดเป็นภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 เซนติเมตร/วัน ตามลำดับ ทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีคองที่ 500 มิลลิกรัม/ลิตร เข้าสู่แบบทดลอง พบว่าความสามารถในการบำบัดแปรผันกับระยะเวลาเก็บกักน้ำที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำเท่ากันในระบบที่ปลูกเหงือกปลาหมอกับระบบควบคุมมีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน ส่วนระบบที่ปลูกฐูปฤกษ์มีประสิทธิภาพสูงกว่า และระบบที่ปลูกฐูปฤกษ์ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 เซนติเมตร/วัน มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของแข็งแขวนลอย ซีไอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และสี เท่ากับ 6.3, 160, 5.1 มิลลิกรัม/ลิตร และ 27.9 เอสยู ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละ 92, 68, 89 และ 65 โดยลำดับ การศึกษาดุลมวลสารของไนโตรเจนในระบบดังกล่าวพบว่า ไนโตรเจนร้อยละ 78 ถูกกำจัดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันภายในตัวกลางทราย

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4070405021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: CONSTRUCTED WETLAND / LANDFILL LEACHATE TREATMENT /
TERTIARY TREATMENT

WARAKORN KERDSUP : USE OF SUBSURFACE-FLOW CONSTRUCTED
WETLANDS FOR LANDFILL LEACHATE TERTIARY TREATMENT.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALAPARIT. 162 pp.

ISBN 974-13-0101-4

This study was conducted to use subsurface-flow constructed wetlands treating landfill leachate that discharge from stabilization ponds. Three laboratory-scale sand bed constructed wetlands were used for treatment efficiency comparison. Two kind of plants, cattails (*Typha angustifolia*) and sea holly (*Acanthus ebracteatus*), was planted in each wetland while no plant wetland was a control unit. Each unit was feed 500 mg./l. COD influent at three hydraulic loading rate; 3.3, 2.2 and 1.1 cm./d.. The experimental results revealed that the treatability was invert with hydraulic loading rate. Sea holly planted wetland and control unit have the same treatment efficiency at each hydraulic loading rate while the cattail unit was higher treatability than. The cattails planted constructed wetlands at 1.1 cm./d. hydraulic loading rate is the most effective treatability while the removal efficiencies of SS, COD, true color (SU) and total nitrogen were 92%, 68%, 65% and 89% respectively. Nitrogen balance was revealed that 78% of nitrogen was removed by dinitrification in sand bed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Student's signature.....

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

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์อรรถัยชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณ พนิช ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัย

ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณพระศรีธรรมบัณฑิต (จ๋า) วัดเบญจ มบพิตรดุสิตวนาราม ที่ได้กรุณามอบต้นหนังสือปกلاهมอเพื่อใช้ในการทดลองชั้นเตรียมการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณ มารดา-บิดา ที่ให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อน-พี่-น้อง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำความช่วยเหลือ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	4
2.1 น้ำชะมูลฝอย	4
2.2 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย	17
2.3 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)	20
2.4 เหงือกปลาหมอ (<i>Acanthaceae</i>)	30
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา	32
บทที่ 3 แผนการวิจัย	40
3.1 แผนการวิจัย	40
3.2 อุปกรณ์	41
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	45
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	47

บทที่ 4 ผลการทดลอง	50
4.1 ลักษณะทั่วไป	50
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้.....	52
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหม้อ	66
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นหญ้าเป้ง	80
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	95
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	103
5.1 สรุปผลการทดลอง	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	104
รายการอ้างอิง	105
ภาคผนวก	110
ภาคผนวก ก. การคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียในหน่วยทดลอง	111
ภาคผนวก ข. การคำนวณซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบบึงประดิษฐ์	113
ภาคผนวก ค. อัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากระบบเนื่องจากกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน.....	114
ภาคผนวก ง. รายละเอียดผลการทดลอง	120
ภาคผนวก จ. ผลการตรวจสอบทรายที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบ	156
ประวัติผู้เขียน	162

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่และเก่า 8
2.2	ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย9
2.3	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช 11
2.4	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดขยะอ่อนนุชและหนองแขม 12
2.5	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่สถานกำจัดขยะลาดกระบัง 13
2.6	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอ ไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี..... 14
2.7	กระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย18
2.8	ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ24
2.9	ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และอัตราการจับใช้ของพืช24
2.10	กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์27
2.11	เกณฑ์การออกแบบบึงประดิษฐ์ 29
2.12	ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมของระบบ38
2.13	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่หลุมฝังกลบ Perdido.39
2.14	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่หลุมฝังกลบ Perdido39
3.1	แสดงอัตราการไหลของน้ำเสียในหน่วยทดลอง41
3.2	ตำแหน่งการวางบ่อเก็บตัวอย่าง43
3.3	การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ48
4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบำบัดของสถานกำจัดขยะ มูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ในช่วงเดือนกันยายน 2542 ถึง กรกฎาคม 2543.....51
4.2	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางแล้วเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบทดลอง.....51

ตารางที่

หน้า

4.3 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน	61
4.4 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน	62
4.5 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	65
4.6 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน.....	75
4.7 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน.....	76
4.8 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน.....	79
4.9 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นกุฎี ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน.....	90
4.10 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นกุฎี ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน.....	91
4.11 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นกุฎี ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน.....	93
4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ โดยเฉลี่ยของระบบบึงประดิษฐ์แต่ละชนิด ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน.....	101

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดและการแพร่กระจายของน้ำเสียขยะ	6
2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BOD/COD, COD/TOC, VS/FS และ pH ของ น้ำชะมูลฝอยกับอายุการฝังกลบ	16
2.3 บึงประดิษฐ์ระบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน	22
2.4 บึงประดิษฐ์ระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	22
2.5 การถ่ายเทออกซิเจนผ่านต้นพืช	25
2.6 เหงือกปลาหมอ <i>Acanthus ebracteatus</i>	31
2.7 น้ำออกจากระบบบำบัดแต่ละหน่วยบำบัด	38
3.1 หน่วยทดลอง	40
3.2 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละหน่วยทดลอง	41
3.3 มิติของบึงประดิษฐ์	42
3.4 ป่อเก็บตัวอย่าง	43
3.5 ตำแหน่งพืชในบึงประดิษฐ์	44
4.1 ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	53
4.2 ปริมาณซีโอไซด์ในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มบ่อน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ที่ไม่ ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีโอไซด์เฉลี่ย 500 มก./ล.	54
4.3 อัตราการกำจัดซีโอไซด์ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ในระบบ บึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่เวลากักน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว	54
4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	56
4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	57

4.6 ปริมาณสี (SU) ในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	58
4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระ ปริมาณน้ำต่างๆ	59
4.8 ค่าไออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ตามระยะทางในแนวราบ จากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	59
4.9 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน	60
4.10 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน	61
4.11 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	63
4.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	64
4.13 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูก ต้นไม้ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	66
4.14 ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงปลา ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ.....	68
4.15 ปริมาณซีไอดีในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มบ่อน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ที่ ปลูกต้นเหียงปลาหอม ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีไอดีเฉลี่ย 500 มก./ล.	69
4.16 อัตราการกำจัดซีไอดีตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ในระบบ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงปลาหอม ที่เวลากักน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว ..	69
4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก ต้นเหียงปลาหอมที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	70
4.18 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก ต้นเหียงปลาหอมที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	71

4.19	สี (SU) ในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก ต้นเห็อกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	72
4.20	ค่าไออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเห็อกปลาหมอ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	73
4.21	ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ที่ปลูกต้นเห็อกปลาหมอ ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน	74
4.22	ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ปลูกต้นเห็อกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน	76
4.23	ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ ปลูกต้นเห็อกปลาหมอ ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	78
4.24	อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริ ฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้น เห็อกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	78
4.25	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูก ต้นเห็อกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ.....	80
4.26	ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ.....	81
4.27	ปริมาณซีโอดีในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มบ่อน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ที่ ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีโอดีเฉลี่ย 500 มก./ล.	83
4.28	อัตราการกำจัดซีโอดีตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ในระบบ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่เวลากักน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว	83
4.29	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	84
4.30	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ ปลูกต้นธูปฤาษีที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	86
4.31	สี (SU) ในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	87
4.32	ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ	88

4.33 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ	88
4.34 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน	89
4.35 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน	91
4.36 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	92
4.37 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน	93
4.38 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ.....	95
4.39 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	96
4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	97
4.41 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	98
4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	99
4.43 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	100
4.44 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันประชากรในเขตเมืองได้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องมาจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในเมืองหลวงซึ่งเป็นศูนย์กลางการปกครองและเศรษฐกิจ ประชากรได้หลั่งไหลเข้าสู่กรุงเทพมหานครเป็นจำนวนมาก ได้มีการอุปโภคบริโภคทรัพยากรอย่างมาก จนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ปัญหาหนึ่งได้แก่การจัดการขยะมูลฝอยไม่เพียงพอที่จะรองรับขยะที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด เป็นเหตุให้มีขยะเหลือค้างอยู่มาก

วิธีหลักในการจัดการขยะมี 4 วิธี คือ การนำกลับมาใช้ การย่อยสลายให้เป็นปุ๋ย การเผา และการฝังกลบ วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปคือการฝังกลบเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด การฝังกลบสามารถใช้ได้กับขยะทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นขยะชุมชน หรือขยะอุตสาหกรรม ทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ เทคโนโลยีการฝังกลบได้เริ่มขึ้นจากการกองแบบเปิดโล่ง และพัฒนาขึ้นจนเป็นการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบจากสารปนเปื้อนในขยะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการฝังกลบได้เริ่มขึ้นจากการกองแบบเปิดโล่ง และพัฒนาขึ้นจนเป็นการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบจากสารปนเปื้อนในขยะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการฝังกลบได้เริ่มขึ้นจากการกองแบบเปิดโล่ง และพัฒนาขึ้นจนเป็นการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบจากสารปนเปื้อนในขยะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการฝังกลบได้เริ่มขึ้นจากการกองแบบเปิดโล่ง และพัฒนาขึ้นจนเป็นการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบจากสารปนเปื้อนในขยะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการฝังกลบได้เริ่มขึ้นจากการกองแบบเปิดโล่ง และพัฒนาขึ้นจนเป็นการออกแบบที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อลดผลกระทบจากสารปนเปื้อนในขยะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

น้ำชะมูลฝอย (Leachate) เป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมีสีและกลิ่นเป็นที่น่ารังเกียจ ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่น้ำชะมูลฝอยเกิดจากน้ำฝนที่ซึมผ่านขยะมูลฝอยและน้ำเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาย่อยสลายของขยะมูลฝอย ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการฝังกลบ ลักษณะมูลฝอยและฤดูกาล ปัญหาเกี่ยวกับน้ำชะมูลฝอย คือยังไม่มีมาตรการรวบรวมและบำบัดอย่างสมบูรณ์ ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีโอกาสปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำและซึมลงดินไปปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยสามารถทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง น้ำชะมูลฝอยจึงเป็นปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการแก้ไข

ที่สถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี น้ำชะมูลฝอยจะถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบ่อกักตัว 2 บ่อที่เรียงอนุกรมกัน ซึ่งเมื่อผ่านบ่อบำบัดบ่อบำบัดสุดท้ายแล้วน้ำเสียยังคงมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำจึงจำเป็นต้องบำบัดน้ำทิ้งนี้เพิ่มเติมก่อนที่จะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ

การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ทั้งที่เป็นบึงธรรมชาติและบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสีย ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วมากกว่า 25 - 30 ปี การใช้ระบบบึงประดิษฐ์มีข้อได้เปรียบด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ไม่ต้องใช้สารเคมี และพลังงานในการดำเนินการน้อย บึงประดิษฐ์จึงเป็นที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบ่อบำบัดก่อนระบายทิ้ง

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษากการใช้บึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดขั้นที่ 3 สำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยศึกษาผลของชนิดพืช และเวลาเก็บกักน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่มีพืชต่างกัน 2 ชนิด คือ ฐุปลาชี (*Typha angustifolia*) และเหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus*) เป็นระบบบำบัดขั้นที่ 3 ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของเวลาเก็บกักน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นที่ 3 ด้วยบึงประดิษฐ์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำงานของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านใต้ผิวดิน (Subsurface - Flow Wetlands) ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบ่อบำบัดก่อนระบายทิ้ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของพืช 2 ชนิด คือ ฐุปลาชี (*Typha angustifolia*) และเหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus*) ที่ปลูกในตุ๊กกลางที่เป็นทรายในแบบจำลอง 3 หน่วยการ

ทดลอง โดยแต่ละหน่วยมีภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน คิดเป็นระยะเวลาเก็บกักน้ำ 3, 5 และ 10 วัน ตามลำดับ ตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดโดยการตรวจสอบค่า พีเอช ซีไอดี ออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย ไออาร์พี ฟอสฟอรัสทั้งหมด สี และไนโตรเจนในรูปต่างๆ (ทีเคเอ็น, แอมโมเนีย, ไนเตรท และไนไตรท์) สำหรับทำตุลมวลของไนโตรเจน

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริง ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดขยะอำเภอนาทนน้อย จังหวัดนนทบุรี แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้มีค่าซีไอดีเท่ากับ 500 มก./ล.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

ในปัจจุบันการบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากน้ำชะมูลฝอยทั้งที่เกิดขึ้นจากขยะเคมีและขยะชุมชนล้วนจัดว่าเป็นน้ำเสียอันตราย กองขยะที่ถูกปล่อยปละละเลยในหลายประเทศไม่มีการรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำชะมูลฝอยซึมลงไปปนเปื้อนน้ำใต้ดินที่ใช้เป็นแหล่งน้ำบริโภค ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจึงควรได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ

2.1 น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยหมายถึง น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ ที่ซึมผ่านชั้นมูลฝอยโดยละลาย หรือชะเอาสารแขวนลอย สารละลาย และพวกจุลินทรีย์ต่างๆ รวมมาด้วย นอกจากนี้ ปริมาณของเหลวจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในชั้นของมูลฝอย เช่นน้ำใต้ดิน น้ำฝน ก็รวมเป็นส่วนหนึ่งของน้ำชะมูลฝอยด้วยเช่นกัน (จรัสพงศ์ ศรีอยุธยา, 2531; พัชรี หอวิจิตร, 2531; Duvel, 1980 อ้างถึงใน อุทัย สินเพ็ง, 2538)

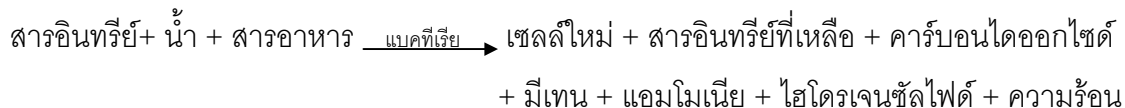
ภายในหลุมฝังกลบจะเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพกับขยะ ซึ่งเป็นทั้งแบบใช้ออกซิเจนในขณะที่มีออกซิเจนเพียงพอซึ่งเกิดขึ้นในระยะแรกๆ จนกระทั่งออกซิเจนหมดไปก็จะเกิดปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปฏิกิริยาทั้งสองทำให้น้ำเกิดขึ้น ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นนี้ เมื่อผ่านชั้นขยะออกมาจะกลายเป็นน้ำชะมูลฝอย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการดังนี้ (Tchobanoglous, Theisen, and Vigil 1993)

1) ปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน

แบคทีเรีย

สารอินทรีย์ + ออกซิเจน + สารอาหาร \longrightarrow เซลล์ใหม่ + สารอินทรีย์ที่เหลือ + ออกซิเจน
+ คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + แอมโมเนีย
+ ซัลเฟต + ... + ความร้อน

2) ปฏิกริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน



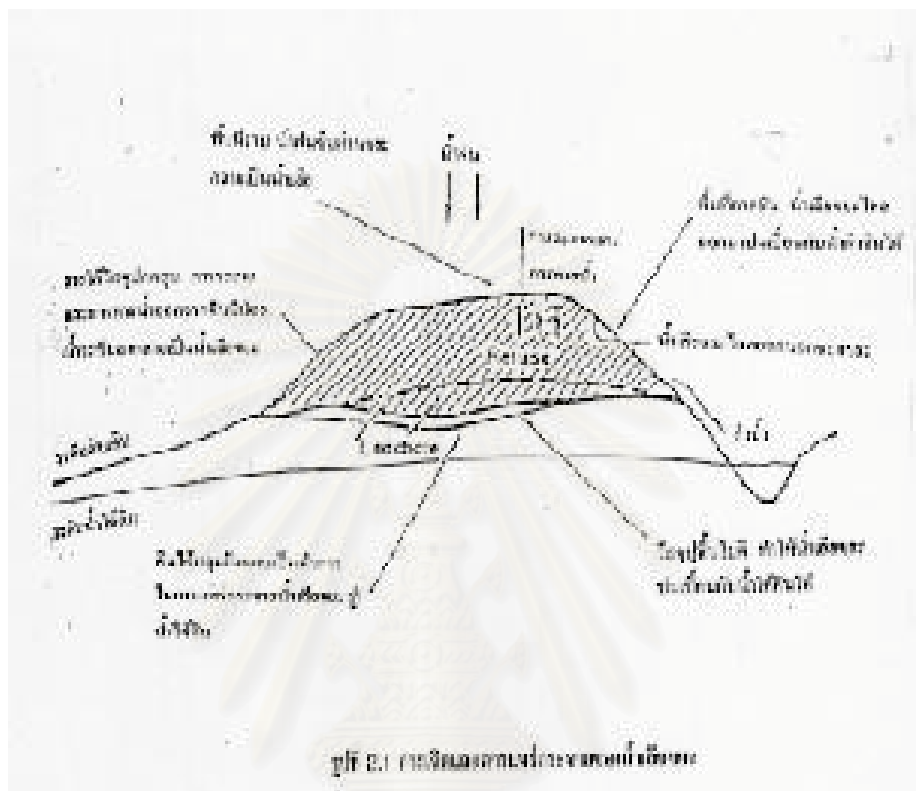
ส่วนปฏิกริยาทางเคมีที่มีต่อสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ภายในหลุมฝังกลบมีดังนี้

- 1) เกิดการละลายของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ได้จากการสลายทางชีวภาพกลายเป็นน้ำชะมูลฝอย
- 2) เกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายโดยกระบวนการ Osmosis และ Concentration Gradient

2.1.1 แหล่งกำเนิดของน้ำชะมูลฝอย

มูลฝอยที่ถูกฝังอยู่ในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ในตอนเริ่มแรกมูลฝอยจะถูกเครื่องจักรกลบดสับ ทำให้บางชิ้นส่วนของมูลฝอยมีขนาดเล็กกลง จากนั้นมูลฝอยจะถูกบดอัดให้แน่นเข้า จุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้าๆ ซึ่งอาจใช้เวลาหลายปี ทำให้ปริมาตรของมูลฝอยลดลงไปจากเดิมประมาณร้อยละ 30 เมื่อมีการย่อยสลายอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนที่เป็นน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบของมูลฝอย (ความชื้น) หรืออาจรวมกับน้ำภายนอก เช่น น้ำฝน จะละลายเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มีอยู่ในมูลฝอยนั้นแล้วไหลซึมลงสู่ด้านล่าง ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน หากไม่มีมาตรการป้องกันไว้ก่อน (รูปที่ 2.1) สำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากน้ำชะมูลฝอย ควรใช้ปริมาณฝนที่ตกในวันที่มีปริมาณสูงสุดเป็นเกณฑ์ โดยในต่างประเทศได้มีการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณร้อยละ 10 - 20 ของปริมาณน้ำฝน (ปรีดา แยมเจริญวงศ์, 2531; สุพจน์ โล้วชรินทร์, 2531 อ้างถึงใน อุทัยสินเพ็ง, 2538)

สมใจ กาญจนวงศ์ และคณะ (2536 อ้างถึงใน อุทัย สินเพ็ง, 2538) ได้ศึกษาการฝังกลบขยะด้วยวิธีไร้ออกซิเจนและกึ่งออกซิเจน โดยใช้ถังจำลองการฝังกลบทำด้วยเหล็ก 2 ถัง ขนาดเส้น



รูปที่ 2.1 การเกิดและการแพร่กระจายของน้ำเสียขยะ

ผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร สูง 3.4 เมตร บรรจุมูลฝอยจากชุมชนในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ถึงละ 1,246 กิโลกรัม ความหนาแน่น 662 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำชะมูลฝอยจะเกิดขึ้นทันทีที่มีการฝังกลบมูลฝอย และเกิดตลอดเวลาในช่วงฤดูแล้ง (ศึกษาช่วงฤดูแล้ง 53 วัน) โดยปริมาณน้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นในช่วง 0.094 - 1.56 และ 0.16 - 2.82 ลิตรต่อตันมูลฝอยต่อวัน สำหรับถังจาลองแบบไร้ออกซิเจนและกึ่งออกซิเจน ตามลำดับ

2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยจะมีลักษณะสมบัติเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ปัจจัยภายนอกหลุมฝังหลบและปัจจัยภายในหลุมฝังกลบ ปัจจัยภายนอกได้แก่ สภาพแวดล้อมทั่วไปบริเวณหลุมฝังกลบ เช่น สภาพทางอุตุนิยมวิทยาและสภาพทางอุทกวิทยา เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายในหลุมฝังกลบหมายถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงภายในหลุมฝังกลบหรือภายในกองขยะ นับแต่เมื่อมีการนำขยะมากองรวมกัน

ปฏิกิริยาต่างๆ ภายในหลุมฝังกลบมีผลโดยตรงกับลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย กล่าวคือ ในระยะแรก ขยะที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ผลที่ได้คือความร้อน และความชื้นภายในกองขยะจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่างๆ ในการย่อยสลายขยะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นออกซิเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนหมด และเป็นเหตุให้ขยะที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไปอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตในสภาวะไร้ออกซิเจนจะเจริญมากขึ้น สารอินทรีย์ต่างๆ ก็จะถูกย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการไร้ออกซิเจนนี้จะมีการผลิตกรดอินทรีย์ออกมาด้วย กรดอินทรีย์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับโลหะที่ปะปนมากับขยะ ทำให้เกิดไอออนของโลหะละลายออกมา นอกจากนี้กรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีพีเอชลดต่ำลงจนอาจเกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ในระยะนี้น้ำชะมูลฝอยจะมีค่าซีไอดีสูงมาก

ในระยะต่อมาจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ทำให้เกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นกับแบคทีเรียสร้างมีเทนและองค์ประกอบของขยะ ถ้าขยะมีเซลลูโลสมากจะเกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ถ้าขยะมีโปรตีนและไขมันมากจะเกิดก๊าซมีเทนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจะเกิดอัลคอกฮอลล์ อัลดีไฮด์และไทฮอล ทำให้มีกลิ่นเหม็น ในระยะนี้ค่าพีเอชในน้ำเสียจะสูงขึ้นจนเป็นกลาง และซีไอดีลดลง เนื่องจากกรดอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (ศิริวัฒน์ ชาญไวกวิทย์, 2536) ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยเมื่ออายุการฝังกลบเพิ่มขึ้นแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบใหม่และเก่า (Tchobanoglous et al.,1993)

องค์ประกอบ	อายุการฝังกลบ	
	หลุมฝังกลบใหม่ (ต่ำกว่า 2 ปี)	หลุมฝังกลบเก่า
บีโอดี	2,000 - 30,000	100 - 200
ทีโอดี	1,500 - 20,000	80 - 160
ซีโอดี	3,000 - 60,000	100 - 500
ของแข็งแขวนลอย	200 - 2,000	100 - 400
อินทรีย์ไนโตรเจน	10 - 800	80 - 120
แอมโมเนียไนโตรเจน	10 - 800	20 - 400
สภาพต่าง (เทียบกับ CaCO ₃)	1,000 - 10,000	200 - 1,000
พีเอช	4.5 - 7.5	6.6 - 7.5
ความกระด้าง (เทียบกับ CaCO ₃)	300 - 10,000	200 - 500
แคลเซียม	200 - 3,000	100 - 400
แมกนีเซียม	50 - 1,500	50 - 200
โซเดียม	200 - 2,500	100 - 200
คลอไรด์	200 - 3,000	100 - 1,000
ซัลเฟต	50 - 1,000	20 - 500
เหล็ก	50 - 1,200	20 - 200

หมายเหตุ: หน่วยขององค์ประกอบต่างๆ เป็น มก./ล. ยกเว้น pH

Chain and DeWalle (1977) ได้ศึกษาสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยพบว่า สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสีย ประกอบด้วยกรดไขมันระเหยง่ายอิสระ (Free volatile fatty acid) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 500 ส่วนสารอินทรีย์อื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก ได้แก่ ฮิวมิก และฟัลวิก นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ที่มีหมู่ของ Carboxyl และ aromatic hydroxyl จำนวนมากอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล

ในน้ำชะมูลฝอยบางแห่งมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งสารประเภทนี้อาจเป็นสารที่ย่อยสลายยาก หรือเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ตัวอย่างของสารอินทรีย์ประเภทนี้ได้แก่ สารประกอบ

Chlorinated organics, AOX (Adsorbable organic halogen) และ PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon)

สำหรับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอยที่อาจตรวจพบได้คือ โลหะหนัก ซึ่งชนิดและปริมาณจะแตกต่างกันตามสถานที่ฝังกลบแต่ละแห่ง Keenan, Iza and Switzenbaum (1993) พบว่าในน้ำชะมูลฝอยมีเหล็กและเซเลเนียมอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนโลหะหนักอื่นๆ มีปริมาณรองลงไป ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย (Keenan et al., 1993)

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล.)
พีไอซี (unit)	5.7 - 6.8
บีโอดี	30 - 4,650
ซีโอดี	800 - 10,000
อัตราส่วน BOD ₅ /COD	0.1 - 0.9
กรดระเหยง่าย	340 - 3,600
สภาพต่าง	280 - 2,600
เหล็ก	250 - 550
แมงกานีส	10 - 65
แคลเซียม	400 - 520
แคดเมียม	0.00 - 0.35
โครเมียม	0.01 - 0.10
ทองแดง	0.00 - 0.30
ตะกั่ว	0.10 - 0.08
นิกเกิล	0.05 - 1.20
สังกะสี	0.01 - 0.80
เซเลเนียม	0.0 - 11.5

สารมลพิษอื่นๆ ในน้ำชะมูลฝอย ได้แก่ ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปไนไตรท์ ไนเตรทและแอมโมเนีย ซึ่งก่อปัญหาเรื่องกลิ่น

สำหรับลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยในประเทศไทย จรัสพงศ์ สร้อยระย้า (2531, อ้างถึงใน อุทัย สิ้นเพ็ง, 2538) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย บริเวณที่ทิ้งมูลฝอยของเทศบาล 3 แห่ง ในภาคตะวันออก พบว่าน้ำเสียขยะจากบริเวณที่ทิ้งมูลฝอยของเทศบาลเมืองชลบุรี มีปริมาณตะกั่วอยู่ระหว่าง 21 - 96 สนล. ปริมาณปรอทอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 สนล. และปริมาณแคดเมียมอยู่ระหว่าง 5.1 - 21.0 สนล. สำหรับน้ำชะมูลฝอยของเทศบาลเมืองฉะเชิงเทราตรวจพบปริมาณตะกั่ว 53.5 สนล. และปริมาณแคดเมียม 4.7 สนล. ส่วนน้ำชะมูลฝอยของเทศบาลเมืองระยอง พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ระหว่าง 42.5 - 114.0 สนล. ปริมาณปรอทระหว่าง <math><0.2 - 0.8</math> สนล. และแคดเมียม 1.9 - 17.5 สนล. นอกจากนี้ยังพบอีกว่าปริมาณอนินทรีย์สารต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลตลอดทั้งปี

ลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากบริเวณกองขยะที่อ่อนนุช เป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นมาก โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยต่อไปนี้

วีรวรรณ ปัทมาภีรัต (2530) ศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร บริเวณซอยอ่อนนุช เพื่อที่จะนำมาทดลองบำบัดด้วยระบบเอเอส โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2529 ถึง เดือนมกราคม พ.ศ.2530 ได้ผลแสดงในตารางที่ 2.3

ธรณิศวรรี ทรรพนันท์ (2535) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของปรอท แคดเมียมและแมงกานีส ในน้ำชะมูลฝอยจากสถานที่กำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร การศึกษาได้เก็บตัวอย่างจากบ่อรับน้ำชะมูลฝอยและแหล่งน้ำสาธารณะโดยรอบสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยอ่อนนุชและหนองแขม โดยเก็บในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2534 พบว่าน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดขยะอ่อนนุชมีปรอท 2.47 - 39.13 สนล. แคดเมียมน้อยกว่า 0.03 สนล. และแมงกานีส 0.01 - 2.88 สนล. ส่วนน้ำชะมูลฝอยจากหนองแขมมีปรอท 1.13 - 3.74 สนล. แคดเมียมน้อยกว่า 0.03 สนล. และแมงกานีส 0.27 - 2.56 สนล. ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากอ่อนนุช และหนองแขมแสดงในตารางที่ 2.4

จากงานวิจัยทั้งสองสรุปได้ว่า น้ำชะมูลฝอยจากกองขยะที่อ่อนนุช มีความเข้มข้นมากซึ่งพิจารณาได้จากค่าซีไอดีที่มีค่าสูงถึงกว่า 6,000 มก./ล. ส่วนโลหะหนักที่พบมากได้แก่ ปรอท

ตารางที่ 2.3 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่กองขยะอ่อนนุช (วีร วรรณ ปีพ.ศ. 2530)

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ค่าระหว่าง
pH		7.0 - 8.6
TS	มก./ล.	3,275 - 21,541.6
TVS	มก./ล.	958 - 8,176
TSS	มก./ล.	81.9 - 2,732
TVSS	มก./ล.	51.7 - 1,015.4
TOC	มก./ล.	750 - 2,875
COD	มก./ล.	986.7 - 9,214.6
BOD ₅	มก./ล.	178.2 - 1,881.1
TKN	มก./ล.	298.7 - 2,198.6
Organic-N	มก./ล.	101.2 - 440.3
NH ₃ -N	มก./ล.	197.5 - 1,758.3
Total P	มก./ล.	18.4 - 69.5
Total-Alk.	มก./ล.	850 - 9,150
VFA	มก./ล.	110 - 912.7
Chloride	มก./ล.	97.6 - 355.4
Sulphate	มก./ล.	42.7 - 340.2
FOG	มก./ล.	575 - 2,176.4
PCB	มก./ล.	<0.7
Cr	มก./ล.	<1.0
Hg	มก./ล.	3.8 - 4.7
สี	Pt-Co Scale	2,550 - 45,450
สภาพการนำไฟฟ้า	mmho/cm	5.75 - 42
กลิ่น		Earthly smell ammonia

ตารางที่ 2.4 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดขยะอ่อนนุชและหนองแขม (กรณีศร
 ทรพนั้นท์, 2535)

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	อ่อนนุช	หนองแขม
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	29.7	30.06
pH		8.02	7.97
DO	มก./ล.	0.27	0.12
Conductivity	µmhos/cm	25,509	20,409
Salinity	สนพ.	13.69	11.52
Alkalinity	มก./ล.	587	166.9
BOD	มก./ล.	267.5	215.8
COD	มก./ล.	6,380	2,692.5
SS	มก./ล.	173.88	105.5
DS	มก./ล.	12,425	8,680
TS	มก./ล.	12,582.6	8,779.76
ปรอท	สนพล.	20.71	2.05
แคดเมียม	สนล.	ไม่พบ	ไม่พบ
แมงกานีส	สนล.	0.68	0.74

สำหรับน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดขยะลาดกระบัง ซึ่งกรุงเทพมหานครได้ว่าจ้างให้บริษัท เอกชนขนย้ายขยะจากกองขยะอ่อนนุชมาที่สถานกำจัดขยะที่สร้างใหม่แห่งนี้ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2537 ขยะกว่า 2,000 ตันได้ถูกขนย้ายมาที่นี่ทุกวัน เพื่อทำการกำจัดด้วยการฝังกลบที่ถูกวิธี และทางบริษัทได้ทำการวางท่อรับน้ำเสียขยะรอบบริเวณฝังกลบ เพื่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยมาไว้ที่ บ่อพักน้ำเสีย ก่อนที่จะถูกขนย้ายไปยังบ่อบำบัดโดยรถบรรทุก บ่อบำบัดบ่อแรกเป็นบ่อเติมอากาศ ที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective microorganisms) บ่อที่สองเป็นบ่อเติมอากาศ ส่วนบ่อที่สาม และสี่ไม่มีการเติมอากาศ

Niramon Thanuddhanusilp (1995) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่หลุมฝัง กลบลาดกระบังเพื่อที่จะนำมาทดลองบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ใน

ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ.2537 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 การศึกษาได้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อกักน้ำ น้ำเข้าและน้ำออกของบ่อบำบัด และบ่อบำบัดสิ่งเสียดการณรอบหลุมฝังกลบ ตารางที่ 2.5 แสดงผลการศึกษาลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอย (แสดงเฉพาะน้ำเสียจากบ่อกักน้ำ น้ำเข้าและน้ำทิ้งระบบบ่อบำบัด)

ตารางที่ 2.5 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่สถานีกำจัดขยะสดกระบัง (Niramon Thanuddhanusilp, 1995)

องค์ประกอบ	หน่วย	จุดเก็บตัวอย่าง		
		บ่อกักน้ำเสีย	น้ำเข้าระบบบำบัด	น้ำทิ้งจากระบบบำบัด
ออกซิเจนละลาย	มก./ล.	0	0.3 - 1.0	7 - 11
อุณหภูมิ	°ซ	29 - 36	29 - 36	29 - 36
พีเอช		7.7 - 8.5	7.4 - 8.7	7.9 - 8.8
ซีไอดี	มก./ล.	7,459 - 10,829	2,460 - 4,371	334 - 2,516
บีไอดี	มก./ล.	1,602 - 2,784	307 - 1,746	108 - 1,080
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	352 - 1,502	178 - 511	40 - 410
ฟอสฟอรัส	มก./ล.	2.6 - 5.04	0.9 - 3	0.3 - 0.61
ไนโตรเจน (ทีเคเอ็น)	มก./ล.	2,416 - 3,961	200 - 700	46 - 196
แคลเซียม	มก./ล.	0.002	0.002	0.002
โครเมียม	มก./ล.	2.2 - 5.6	0.05 - 0.5	0.02 - 0.17
ทองแดง	มก./ล.	0.4 - 1.65	0.02 - 0.16	0.01 - 0.04
ตะกั่ว	มก./ล.	0.11 - 1.21	0.05 - 0.5	0.05
แมงกานีส	มก./ล.	0.22 - 0.61	0.1 - 0.49	0.08 - 1.86
นิกเกิล	มก./ล.	0.16 - 0.95	0.05 - 0.43	0.01 - 0.02
สังกะสี	มก./ล.	0.8 - 1.23	0.18 - 0.88	0.05 - 0.76

สถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ได้ใช้ฝังกลบขยะชุมชนที่อยู่ในเขตจังหวัดนนทบุรีทั้งหมด ซึ่งได้ดำเนินงานมาแล้วประมาณ 14 ปี และยังใช้งานอยู่ น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นวันละประมาณ 1-4 ลูกบาศก์เมตร จะถูกรวบรวมโดยที่อรับน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบบำบัดที่เป็นระบบบ่อกองตัวสองบ่อที่เรียงอนุกรมกัน เบกพล ก้านสังวร (2542) ได้ศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากสถานกำจัดขยะมูลฝอยดังกล่าวของได้ผลดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่สถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี (เบกพล ก้านสังวร, 2542)

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ค่าระหว่าง
พีเอช	-	7.9 – 8.2
ซีไอดี	มก./ล.	4,500 – 6,530
บีไอดี 5 วัน	มก./ล.	420 – 650
ทีเคเอ็น	มก./ล.	1,980 – 2,870
ไนเตรท	มก./ล.	3.06 – 4.41
ไนไตรท์	มก./ล.	0.76 – 1.43
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	4.7 – 6.5
สภาพต่าง	มก./ล.หินปูน	7,500 – 8,000
กรดไขมันระเหย	มก./ล.หินปูน	1,200
สี	เอสยู	630 – 1,170
เหล็ก	มก./ล.	0.95 – 1.03
นิกเกิล	มก./ล.	0.28 – 0.42
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	180 – 320

อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างส่งผลกระทบต่อปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยได้แก่

1) ชนิดมูลฝอย มีผลต่อลักษณะสมบัติน้ำชะมูลฝอยกล่าวคือ ขยะที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ จะทำให้น้ำชะมูลฝอยมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมทั้งโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ นอกจากนี้ในน้ำชะมูลฝอยอาจมีสารพิษที่ปนเปื้อนมาจากสารเคมีได้แก่ ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช รวมทั้งเชื้อโรคต่างๆ เช่น แบคทีเรียและไวรัส

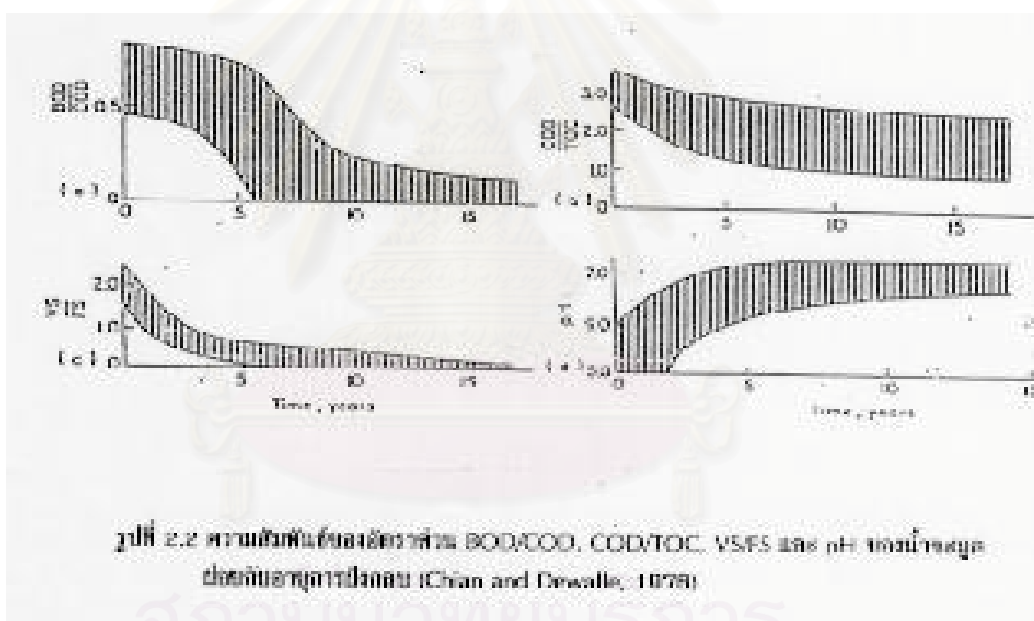
2) สภาพหลุมฝังกลบ มีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยโดยตรง คือ การบดอัดดิน การใช้วัสดุปูพื้น การระบายอากาศ ลักษณะการฝังกลบ การปกคลุมหลุมฝังกลบ การระบายน้ำจากภายนอก และการรวบรวมน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเอง เพราะหากรวบรวมได้ไม่ดีแล้วอาจมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ เช่น มีการรั่วของวัสดุปูพื้น ทำให้น้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงเบื้องล่างแล้วอาจไปปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดินได้

3) สภาพภูมิอากาศที่บริเวณหลุมฝังกลบ จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอยซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนตลอดปี ปริมาณน้ำผิวดินที่ซึมเข้ากองขยะ อุณหภูมิ ในพื้นที่ที่มีฝนตกมากก็จะมีปริมาณน้ำชะมูลฝอยมาก สำหรับความชื้นก็จะมีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย ซึ่งขึ้นกับความสามารถในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศของขยะ

4) ชนิดของดิน จะมีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย ซึ่งจะมีปริมาณมากในบริเวณที่ดินมีสมบัติความให้ซึมน้ำได้สูง

5) อายุการฝังกลบ หลุมฝังกลบที่มีอายุน้อย น้ำชะมูลฝอยที่ออกมาจะมีความเข้มข้นสูง มีสีดำมาก และมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ยังทำงานได้ไม่เต็มที่ และจำนวนจุลินทรีย์ยังมีน้อย ส่วนหลุมฝังกลบที่มีอายุมาก ความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยจะลดลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ต่างๆ ถูกย่อยสลายไปมากแล้ว แต่น้ำเสียนี้จะมีความคงตัวสูง ทำให้สลายทางชีวภาพได้ยาก

น้ำชะมูลฝอยจะมีลักษณะสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออายุการฝังกลบเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ด้วยอัตราส่วนของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ COD/TOC, BOD/TOC, VS/FS และ SO_4/Cl อัตราส่วนเหล่านี้แสดงถึงส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย และแสดงถึงความสัมพันธ์กับอายุของหลุมฝังกลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยอัตราส่วน COD/TOC มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่ออายุของการฝังกลบเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนนี้จะแปรผันจาก 3.3 สำหรับหลุมฝังกลบใหม่ ถึง 1.6 สำหรับหลุมฝังกลบเก่า ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของ อัตราส่วน COD/TOC คือ 4 นั้นหมายความว่าในน้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยสารอินทรีย์มากมาย และค่าที่ต่ำสุดคือ 1.3 การลดลงของอัตราส่วน COD/TOC ในน้ำชะมูลฝอยแสดงถึงการถูกออกซิไดซ์มากขึ้นของคาร์บอนอินทรีย์จนเหลือน้อยลง เนื่องจากถูกใช้แหล่งพลังงานของการเติบโตของจุลินทรีย์



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BOD/COD, COD/TOC, VS/FS และ pH ของน้ำชะมูลฝอยกับอายุการฝังกลบ (Chian and Dewalle, 1976)

การลดลงของอัตราส่วน BOD/COD มีผลจากการค่อยๆ ลดลงของส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่วัดในรูป BOD ซึ่งเหมือนกับอัตราส่วน COD/TOC โดยมีค่าลดลงตามอายุของสถานที่ฝังกลบ ค่าอัตราส่วน BOD/COD ลดลงจาก 0.47 เป็น 0.07 ภายในเวลา 2 - 3 ปี เนื่องจากการย่อย

สลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ดังนั้นจะพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยลดลงเร็วกว่าสารอินทรีย์ เมื่ออายุของการฝังกลบเพิ่มขึ้นการลดลงของสารอินทรีย์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารอินทรีย์ลดลงเนื่องจากการชะล้างโดยน้ำฝนที่ซึมผ่าน อัตราส่วนของแข็งระเหยง่ายกับของแข็งคงตัว (VS/FS) ลดลงตามอายุสถานที่ฝังกลบ โดยลดลงจาก 2.2 สำหรับสถานที่ฝังกลบใหม่ถึง 0.2 - 0.25 สำหรับสถานที่ฝังกลบเก่า นอกจากนี้เมื่ออายุของสถานที่ฝังกลบเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าประมาณ 6.5 - 7 เนื่องจากกรลดลงของความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ซึ่งถูกแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นมีเทน

2.2 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย

จุดประสงค์หลักของการจัดการน้ำชะมูลฝอยคือ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการจัดการน้ำชะมูลฝอยออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ (Tchobanoglous et al.,1993)

- 1) การหมุนเวียน (Recycling) น้ำชะมูลฝอย
- 2) การระเหย
- 3) การบำบัด
- 4) นำไปบำบัดรวมกับระบบบำบัดน้ำเสียรวม

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการจัดการน้ำชะมูลฝอยด้วยการบำบัดเท่านั้น

การเลือกวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก หรือสารปนเปื้อนในน้ำเสียขยะที่ต้องการกำจัดออก ซึ่งวิธีที่ใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 กระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Tchobanoglous et al.,1993)

วิธีการบำบัด	จุดประสงค์การใช้งาน	หมายเหตุ
กระบวนการทางชีววิทยา		
ระบบแอส	กำจัดสารอินทรีย์	อาจเกิดปัญหาฟอง, ต้องการถังตะกอน
ระบบเอสบีอาร์	กำจัดสารอินทรีย์	เหมาะกับอัตราไหลต่ำ
บ่อเติมอากาศ	กำจัดสารอินทรีย์	ต้องใช้พื้นที่มาก
กระบวนการฟิล์มตรึง	กำจัดสารอินทรีย์	
บ่อไร้อากาศและถังไร้อากาศ	กำจัดสารอินทรีย์	ประหยัดพลังงาน
ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน	กำจัดไนโตรเจน	อาจใช้ร่วมกับการกำจัดสารอินทรีย์
กระบวนการทางเคมี		
การสะเทิน	ควบคุมพีเอช	ใช้ได้กับน้ำเสียบางอย่าง
การรวมผลึก	กำจัดโลหะและไอออนลบ	เกิดปัญหาสลัดจ์
ออกซิเดชัน	กำจัดสารอินทรีย์และลดความเป็นพิษจากสารอินทรีย์	เหมาะกับน้ำเสียที่เจือจางมาแล้ว
ออกซิเดชันด้วยอากาศเป็ยก	กำจัดสารอินทรีย์	ค่าจ่ายสูง, เหมาะกับสารอินทรีย์ย่อยยาก
กระบวนการทางกายภาพ		
การตกตะกอน	กำจัดสารแขวนลอย	ต้องใช้วิธีอื่นร่วมด้วย
การกรอง	กำจัดสารแขวนลอย	ต้องการการบำบัดต่อ
การดักจับด้วยอากาศ	กำจัดแอมโมเนียหรือสารอินทรีย์ระเหย	ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศ
การดูดติดผิว	กำจัดสารอินทรีย์	
การแลกเปลี่ยน	กำจัดสารอนินทรีย์ละลาย	ต้องการการบำบัดต่อ
การใช้อุลตราฟิลเตรชัน	กำจัดแบคทีเรียและสารอินทรีย์โมเลกุลสูง	เกิดปัญหา fouling
ออสโมซิสย้อนกลับ	เป็นการเจือจางน้ำเสีย	ค่าใช้จ่ายสูง
การระเหย	กำจัดน้ำเสียขยะในพื้นที่ห้ามทิ้งน้ำเสีย	อาจเกิดปัญหาสลัดจ์เป็นอันตราย

Keenan, Steiner and Fungaroli (1984) กล่าวว่า น้ำชะมูลฝอยจัดเป็นน้ำเสียที่มีความคงตัวสูง และมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพหรือวิธีทางเคมี วิธีใดวิธีหนึ่งจะได้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก โดยมีสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกน้ำชะมูลฝอยมีสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงอยู่มาก ซึ่งยากต่อการกำจัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ และอาจมีโลหะหนัก ซึ่งเป็นสาเหตุในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ประการที่ 2 การใช้วิธีทางเคมีเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เพียงพอ

Diamadopoulos et al. (1994) กล่าวว่า วิธีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพคือ วิธีทางชีวภาพ และวิธีทางกายภาพ-เคมี กล่าวคือ หากน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากสถานที่ฝังกลบที่มีอายุน้อย การบำบัดโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน และจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน สามารถบำบัดได้ดี เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายได้ ส่วนวิธีทางกายภาพ-เคมีไม่เหมาะสมกับน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากหลุมฝังกลบที่มีอายุน้อย เนื่องจากมีสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำอยู่มาก ในกรณีที่เป็นน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุมาก หรือน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพมาแล้ว ควรนำไปบำบัดต่อด้วยวิธีทางกายภาพ-เคมีก่อนที่จะปล่อยทิ้ง

Dollerer and Wilderer (1996) กล่าวว่า การบำบัดด้วยวิธีการทางชีววิทยาเพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้มาตรฐาน เพียงแต่เป็นการช่วยลดซีโอดีเท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อด้วยระบบอื่น เช่น ระบบทางเคมี กระบวนการเมมเบรน การระเหย หรือการกำจัดกลิ่นโดยใช้ถ่าน กัมมันต์ เพื่อดักจับสารอินทรีย์

การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยการขนส่งไปบำบัดรวมกับน้ำเสียชุมชน ที่โรงบำบัดน้ำเสียรวม อาจเกิดผลเสียเนื่องจากความเป็นพิษในน้ำชะมูลฝอยเอง และอาจส่งผลให้การทำงานของระบบบำบัดทางชีววิทยาล้มเหลวได้ อีกทั้งการขนส่งน้ำเสียจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จึงควรทำการบำบัดที่สถานฝังกลบ (Bulc, Danijel and Vlasta, 1997)

การหมักเวียนน้ำชะมูลฝอยอาศัยปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบมาช่วยบำบัดน้ำชะมูลฝอย ในระยะแรกของการฝังกลบขยะน้ำชะมูลฝอยจะมีความเข้มข้นของมลสารต่างๆ เช่น บีโอดี ซีโอดี สารอาหาร และโลหะหนักอยู่ในปริมาณมาก เมื่อมีการหมักเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับไปสู่กองขยะ มลสารต่างๆ ก็จะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายใน

หลุมฝังกลบ ตัวอย่างของมลสารที่ถูกกำจัดในหลุมฝังกลบ เช่น กรดอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไปทำให้พีเอชในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งโลหะตกตะกอนและตกค้างอยู่ภายในหลุมฝังกลบ (Tchobanoglous et al., 1993)

2.3 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands)

บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติที่กำลังได้รับการพัฒนาใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากการออกแบบก่อสร้างไม่ซับซ้อน การดูแลรักษาระบบไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีมากนัก และปราศจากค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating Cost) ของระบบ

คำว่า “Wetlands” หมายถึงพื้นที่ซึ่งมีน้ำขังอึดตัวไม่ลึกนักและมีพืชน้ำออกงาม ระบบนิเวศวิทยาเป็นไปแบบธรรมชาติ พื้นที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชีวเคมี โดยอาศัยพืชที่จมน้ำอยู่และลอยตัว จุลินทรีย์ และดิน เป็นตัวบำบัด พืชที่อยู่ในบึงช่วยเป็นพื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์ และช่วยในการกรองและการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำเสีย (Metcalf & Eddy, 1991)

แต่การอาศัยบึงธรรมชาติบำบัดน้ำเสียนั้นมีข้อจำกัด โดยเหมาะสมเฉพาะสำหรับน้ำเสียที่ผ่านกรรมวิธีการบำบัดขั้นที่สองมาแล้ว แต่ยังคงต้องการบำบัดต่อเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่การบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สิ่งเจือปนอื่นที่สามารถกำจัดได้โดยบึงธรรมชาติมีอาทิ เชื้อโรค ซึ่งมีรายงานว่าสามารถกำจัดได้สูงในบึงบางแห่ง โลหะหนักจะถูกกำจัดโดยการตกตะกอนและดูดซับด้วยดิน รวมทั้งการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์

ถึงแม้ว่าแนวความคิดในการนำบึงประดิษฐ์มาช่วยบำบัดน้ำเสียเพิ่งจะมีเมื่อประมาณ 20 ปีมาแล้วก็ตาม แต่ที่แท้จริงแล้วมนุษย์ได้ใช้แหล่งน้ำตามธรรมชาติเช่น คลอง บึง หนองน้ำ เป็นที่ทิ้งของเสียต่างๆ มานับเป็นพันๆ ปีมาแล้ว น้ำเสียที่เกิดจากของเสียจะถูกบำบัดให้สะอาดโดยกระบวนการของระบบนิเวศวิทยาในแหล่งน้ำต่างๆ เหล่านั้น จากการที่ได้เรียนรู้กระบวนการทางธรรมชาตินี้ จึงทำให้เกิดการสร้างบึงประดิษฐ์ขึ้นใช้แทน

บึงประดิษฐ์เป็นการสร้างเลียนแบบธรรมชาติ โดยมีข้อดีกว่าในการที่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ของบึงได้ บึงประดิษฐ์ขนาดเล็กอาจสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียอย่างเดียว แต่บึงขนาดใหญ่อาจสร้างเพื่อบำบัดน้ำเสีย และมีผลพลอยได้เป็นที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสัตว์และพืช การก่อสร้างทำได้เกือบทุกพื้นที่ อาจปรับปรุงจากพื้นที่ธรรมชาติ หรือสร้างขึ้นใหม่โดยการขุดและปรับปรุงพื้นที่ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดอาจซึมลงและเพิ่มน้ำใต้ดิน หรืออาจระบายลงสู่แม่น้ำลำคลองได้

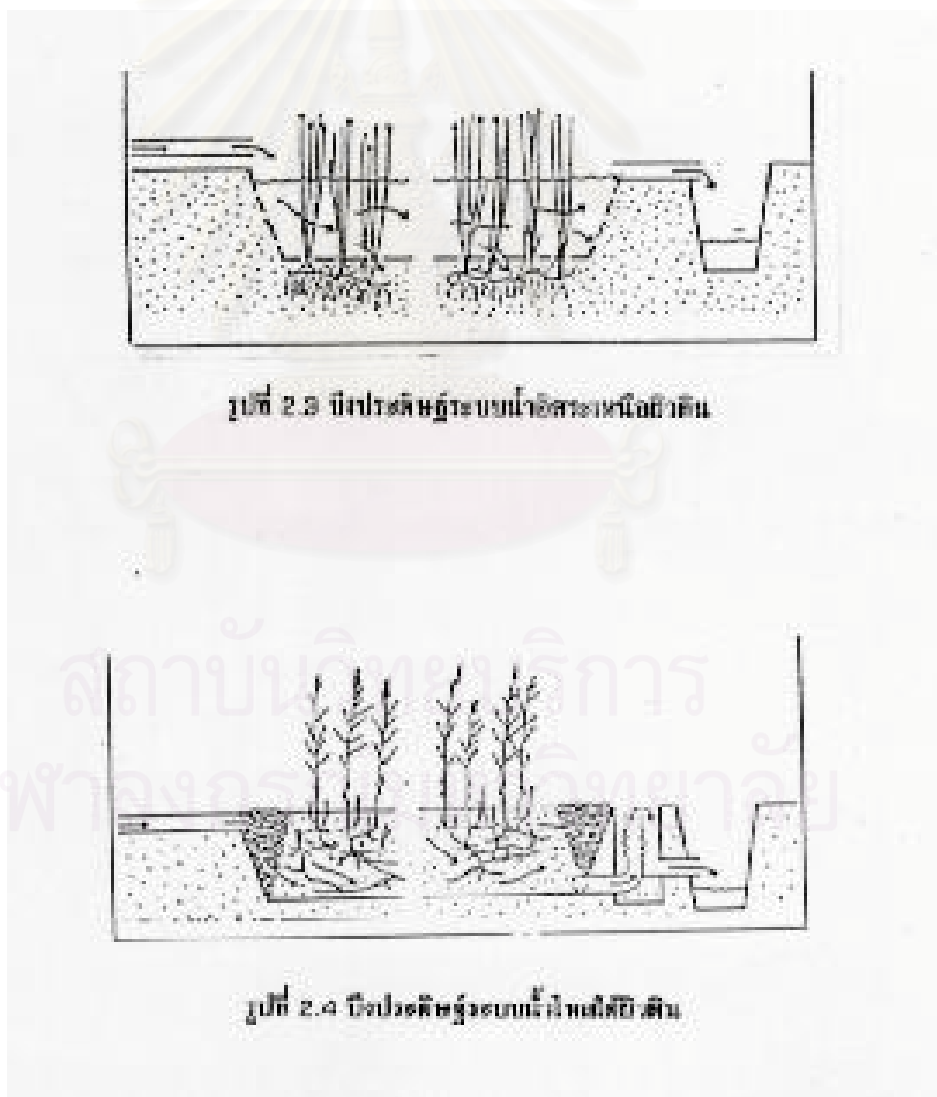
บึงประดิษฐ์ได้เป็นที่สนใจของวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทยในช่วงเวลา 6 - 7 ปีที่ผ่านมา โดยได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีของบึงประดิษฐ์ผ่านทางองค์กรเอกชน โดยมีผู้เชี่ยวชาญจากสหรัฐอเมริกา มาสำรวจและออกแบบให้กับองค์กรที่ต้องการสร้าง หรือเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียขั้นต่อนสุดท้าย หรือการระบายทิ้งโดยลดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ การสำรวจและออกแบบที่เสร็จสิ้นไปแล้วมีอาทิ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟินิกซ์ จ.ขอนแก่น การบำบัดน้ำเสียรวมของจังหวัดเพชรบุรี บึงประดิษฐ์ที่สร้างเสร็จ และใช้ในการทดสอบและถ่ายทอดเทคโนโลยี ได้แก่ บึงประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น ณ วิทยาลัยการปกครอง อ.ธัญบุรี สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากอาคารที่ทำการและโรงอาหาร รวมทั้งสิ้นวันละประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตร พื้นที่บึงประดิษฐ์มีขนาด 8,500 ตารางเมตร เปิดใช้งานเมื่อกลางปี พ.ศ.2536

2.3.1 ประเภทของบึงประดิษฐ์

การแบ่งประเภทของบึงประดิษฐ์จะแบ่งตามลักษณะการไหลของน้ำในบึงประดิษฐ์ ได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน (Free Water Surface, FWS) และระบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow, SF) ลักษณะสมบัติของระบบทั้งสองเป็นดังนี้

1) ระบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน มีลักษณะเป็นร่องน้ำ กว้างประมาณ 3 - 5 เมตร และยาวกว่า 100 เมตร น้ำในบึงสูงโดยเฉลี่ย 30 เซนติเมตร การบำบัดน้ำเสียจะเป็นไปในลักษณะตามยาว (Plug Flow) ในร่องน้ำปลูกพืชน้ำ ส่วนลำต้นของพืชและวัสดุต่างๆ ที่จมน้ำเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ ทางน้ำออกอยู่ตรงข้ามกับทางน้ำเข้า (รูปที่ 2.3)

2) **ระบบน้ำไหลใต้ดิน** ในบึงจะบรรจุชั้นตัวกลางเพื่อให้รากพืชยึดเกาะ ตัวกลางดังกล่าว ได้แก่ หินบด หินย่อย กรวดขนาดต่างๆ ความหนาของชั้นตัวกลางประมาณ 60 - 70 เซนติเมตร ด้านล่างลาดด้วยดินเหนียวอัดหรือวัสดุกันซึม ระดับน้ำในบึงจะควบคุมให้ต่ำกว่าผิวตัวกลางเล็กน้อย โดยทางทฤษฎีแล้วน้ำเข้าทั้งหมดจะไหลผ่านข้างใต้ชั้นตัวกลางซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ ดังในรูปที่ 2.4 น้ำเสียจะได้รับการบำบัดเมื่อไหลผ่านตัวกลางและรากของพืช โดยสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย ฟอสฟอรัสและโลหะหนักจะถูกจับในชั้นดิน ชั้นตัวกลางนี้จะมีสภาวะไร้อากาศ แต่ออกซิเจนจากรากพืชจะช่วยในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวจะเกาะอยู่ตามรากพืช



2.3.2 องค์ประกอบของบึงประดิษฐ์

การบำบัดน้ำเสียโดยบึงประดิษฐ์ขึ้นกับองค์ประกอบ 4 ประการคือ พืช ตัวกลาง จุลินทรีย์ และน้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.2.1 พืช

พืชที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำคือ กระจับปี่ (*Typha spp.*) หญ้าทรงกระเทียม (*Scirpus spp.*) อ้อ (*Phragmites spp.*) และหญ้าคมบาง (*Carex spp.*) ตารางที่ 2.8 แสดงการกระจายของพืชเหล่านี้ในโลก และสภาวะที่ต้องการ พืชเหล่านี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตในชั้นดินหลายชนิด และในน้ำเสียหลายประเภท (Reed, Middlebrooks and Crites, 1988) พืชมีบทบาทในการบำบัดน้ำเสียดังนี้

1) การใช้สารอาหารของพืชเป็นบทบาทที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และมลสารอื่นๆ ของน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่ย่อยยาก เป็นต้น อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกจำกัดโดยอัตราการเติบโตสุทธิ และความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อพืช ความเข้มข้นของสารอาหารในพืชมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อยและลดลงเมื่อโตเต็มที่ (Reddy and Debusk, 1987) ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อและการจับใช้ (uptake) ของพืชแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.9

2) การสูญเสียจากการระเหยกลายเป็นไอ (Evapotranspiration loss) เป็นผลรวมจากการระเหยจากผิวน้ำ และการสูญเสียจากพืช (Reddy and Debusk, 1987) การระเหยกลายเป็นไอขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การแผ่รังสี ลม ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และชนิดของสิ่งปกคลุม การสูญเสียน้ำในช่วงฤดูแล้งจะทำให้ปริมาณน้ำในระบบลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของมลพิษในระบบมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เพื่อทดแทนการสูญเสียน้ำจากการระเหย และเพื่อรักษาอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ จึงควรบ่อนกลับน้ำที่บางส่วนในฤดูแล้ง (Metcalf & Eddy, 1991)

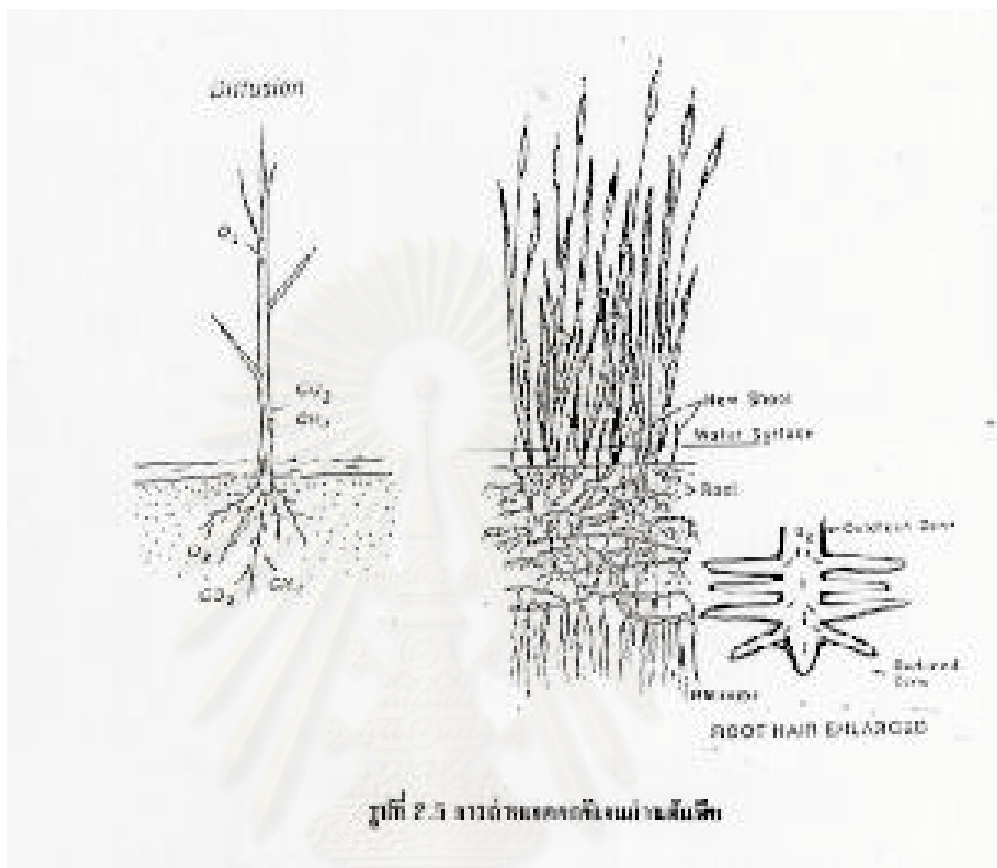
ตารางที่ 2.8 ชนิดของพืชที่พบทั่วไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Reed et al., 1988)

ชื่อสามัญและชื่อ วิทยาศาสตร์	บริเวณที่พบ	อุณหภูมิ (°C)	ความเค็มสูงสุดที่ทนได้ (สนพ.)	พีเอชที่เหมาะสม
ธูปฤๅษี (<i>Typha spp.</i>)	ทั่วโลก	10 - 30	30	4 - 10
อ้อ (<i>Phragmites spp.</i>)	ทั่วโลก	12 - 33	45	2 - 8
rush (<i>Juncus spp.</i>)	ทั่วโลก	16 - 26	20	5 - 7.5
หญ้าทรงกระเทียม (<i>Scipus spp.</i>)	ทั่วโลก	16 - 27	20	4 - 9
หญ้าคบบาง (<i>Carex spp.</i>)	ทั่วโลก	14 - 32	-	5

ตารางที่ 2.9 ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และอัตราการจับใช้ของพืช (Reddy and Debusk, 1987)

พืช	อัตราการจับใช้ (kg/ha.yr)		ส่วนประกอบในเนื้อเยื่อ (g/kg)		อัตราการเติบโต (ton/ha.yr)
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	
ธูปฤๅษี	600 - 2,630	75 - 403	5 - 24	0.5 - 4	8 - 61
หญ้าทรงกระเทียม	125	18	8 - 27	1 - 3	-
อ้อ	225	35	18 - 21	2 - 3	10 - 60

3) การถ่ายเทออกซิเจน พืชที่ปลูกในบึงประดิษฐ์มีโครงสร้างพิเศษที่ใบ ลำต้น และราก ที่ใช้ในการนำก๊าซจากชั้นบรรยากาศรวมทั้งออกซิเจนลงไปสู่ราก ดังรูปที่ 2.5 ที่รากฝอยจะมีออกซิเจนซึมออกมา จึงทำให้บริเวณรอบรากฝอยมีออกซิเจนและทำให้เกิดบริเวณที่เรียกว่า แผ่นฟิล์มอากาศบาง (Thin Film Aerobid Region) แต่บริเวณที่อยู่ไกลรากฝอยออกไปซึ่งมีพื้นที่กว้างกว่า มีสภาพไร้อากาศ สภาวะที่บริเวณที่ไร้อากาศอยู่ใกล้ชิดกับบริเวณที่มีอากาศ จึงเป็นบริเวณที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุไนโตรเจนและสารอื่นๆ



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทออกซิเจนผ่านดินพืช

2.3.2.2 ตัวกลาง

ตัวกลางหมายถึง ชั้นของวัตถุใต้น้ำ ได้แก่ ดิน ททราย และกรวด นอกจากจะเป็นที่ขึ้นอยู่ของพืชแล้ว ชั้นของวัตถุใต้น้ำยังเป็นพื้นที่สำหรับประจุสารเชิงซ้อน และสารประกอบต่างๆ ทำปฏิกิริยากัน นอกจากนี้ยังเป็นทีเกาะอาศัยของจุลินทรีย์ด้วย

ช่องว่างในตัวกลางเป็นช่องทางการไหลสำหรับระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ดิน การบำบัดในกรณีนี้เกิดจากจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่ที่ผิวรากหรือรากฝอย และตัวกลางที่อยู่ใกล้เคียงกัน ดินอาจจะถูกเลือกเป็นตัวกลางเมื่อต้องการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างไรก็ตามดินมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงจะค่อนข้างละเอียด มีความชื้นน้ำได้ปานกลาง และส่วนนี้อาจเป็นข้อจำกัดความสามารถในการรับน้ำของระบบที่มีตัวกลางเป็นดิน

2.3.2.3 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่พบในบึงประดิษฐ์ได้แก่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย และ โปรโตซัว ในกรณีที่มีการปลูกพืชในระบบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นในส่วนที่จมอยู่ในน้ำของพืช ในดิน ทราวยหรือเกาะบนตัวกลางโดยตรงสำหรับระบบบำบัดแบบน้ำไหลใต้ดิน จุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนสารปนเปื้อนในน้ำเสียให้เป็นอาหารและพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์นี้จะสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีสำหรับจุลินทรีย์

2.3.2.4 น้ำ

น้ำที่ไหลผ่านเหนือและในชั้นตัวกลางจะพัดพาสารต่างๆ และก๊าซมาให้จุลินทรีย์ และช่วยพัดพาสิ่งที่ไม่จำเป็นทิ้งไป นอกจากนี้ยังช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมให้กับกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์และพืช

2.3.3 กลไกการบำบัด

ในระบบบำบัดแบบพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) สารมลพิษจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ซับซ้อนมากมาย ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย การตกตะกอน การตกตะกอนผลึก การดูดซับโดยอนุภาคของดิน การสะสมในพืช และการเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ พืชในระบบกำจัดสารมลพิษโดยตรงด้วยการออกซิโดรีดักชันอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ในการสังเคราะห์แสง (Assimilating) และพืชยังเป็นที่เกาะและช่วยสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ (Theingi, 1996) กลไกการกำจัดที่สำคัญในบึงประดิษฐ์แสดงในตารางที่ 2.10

2.3.3.1 การกำจัดของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำส่วนมาก การตกตะกอนของของแข็งเกิดขึ้นภายใน 2 - 3 เมตรแรกจากทางน้ำเข้า อีกทั้งพืชยังทำหน้าที่กระจายน้ำเข้า และทำให้ความเร็วน้ำที่เข้ามาลดลง ซึ่งทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ของแข็งคอลลอยด์และของ

ตารางที่ 2.10 กลไกการบำบัดน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ (Brix, 1993)

Wastewater constituent	Removal mechanisms
Suspended Solids	<ul style="list-style-type: none"> ● Sedimentation / Filtration
BOD	<ul style="list-style-type: none"> ● Microbial degradation (aerobic and anaerobic) ● Sedimentation (accumulation of organic matter / sludge on the sediment surface)
Nitrogen	<ul style="list-style-type: none"> ● Ammonification followed by microbial nitrification and denitrification ● Plant uptake ● Ammonia volatilization
Phosphorus	<ul style="list-style-type: none"> ● Soil sorption (adsorption-precipitation reactions with aluminium, iron, calcium and clay minerals in soil) ● Plant uptake
Pathogens	<ul style="list-style-type: none"> ● Sedimentation / Filtration ● Natural die-off ● UV radiation ● Excretion of antibiotics from roots of macrophytes

แข็งที่ไม่ตกจมบางส่วนถูกกำจัดโดยการเกาะติดกับแบคทีเรีย การชนกัน การรวมกัน และการดูดซับกับสารอื่นๆ

2.3.3.2 การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ที่ตกตะกอนได้จะจมตัวลงสู่ก้นบึง ย่อยสลายแล้วซึมลงดิน ส่วนสารละลายอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ทั้งที่เกาะติดอยู่กับพืชและที่แขวนลอยอยู่ ออกซิเจนส่วนใหญ่จะได้ออกจากการถ่ายเทจากอากาศลงสู่ผิวน้ำ ส่วนออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำและสาหร่ายมีน้อย เนื่องจากการเติบโตของสาหร่ายถูกจำกัดจากการบดบังแสงแดดของพืชเหนือน้ำ

ในระบบน้ำไหลใต้ดิน ออกซิเจนจากบรรยากาศจะถูกพืชดูดซับและแพร่ออกในชั้นรากพืช พืชจำพวกธูปฤๅษีจะมีชั้นรากลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ส่วนรากพืชจำพวกแฝกจะหยั่งลึกถึง 70 เซนติเมตร

2.3.3.3 การกำจัดไนโตรเจน

กลไกสำคัญในการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์คือกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน การกำจัดนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดย nitrifying bacteria ในบริเวณที่มีอากาศ และไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนโดย denitrifying bacteria ในบริเวณที่เป็นแอน็อกซิก ออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันมาจากทั้งการถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำ และที่ซึมผ่านจากรากพืช

2.3.3.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

ส่วนใหญ่การกำจัดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นที่ชั้นดิน ส่วนพื้นบึงถ้าหากมีส่วนผสมของเหล็ก อะลูมิเนียมและแคลเซียม ก็จะช่วยส่งเสริมการกำจัดให้ดียิ่งขึ้น ส่วนพืชจะดูดซับฟอสฟอรัสผ่านทางรากและนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ เมื่อพืชตายและย่อยสลาย จะคายฟอสฟอรัสออกมาบางส่วน บางส่วนจะจมอยู่กับซากพืช

2.3.3.5 การกำจัดเชื้อโรค

งานวิจัยหลายชิ้นเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์ ได้บ่งชี้ว่าการกำจัดโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ในช่วงร้อยละ 86 - 90 Gersberg, et al. (1977) รายงานว่าเมื่อในน้ำเสียมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียเฉลี่ย 6.75×10^7 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์แล้วโคลิฟอร์มแบคทีเรียจะลดลงประมาณร้อยละ 99.1

กลไกหลักในการกำจัดเชื้อโรคในบึงประดิษฐ์คือ การตายลงตามธรรมชาติ การล่า การตกตะกอน และการดูดซับ แบคทีเรียจะถูกดูดซับโดยอนุภาคในน้ำ และถูกกำจัดไปเมื่ออนุภาคจมลง อีกทั้งอาจถูกดูดซับโดยพืช

2.3.3.6 การกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก

สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยยาก หรือสารประกอบอินทรีย์ที่คงตัว ซึ่งประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล เบนซิน และสารกำจัดวัชพืช ซึ่งล้วนเป็นพิษและสลายตัวทางชีวภาพได้ช้า กลไกที่สำคัญในการกำจัดสารประเภทนี้ในบึงประดิษฐ์คือ การระเหย การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Roger, Cherry and Guthrie, 1978) การระเหยเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของระบบ การดูดซับเกิดขึ้นบนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ สารอินทรีย์เหล่านี้สะสมอยู่ในตะกอนแล้วถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

2.3.4 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์

ตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบบึงประดิษฐ์ได้แก่ เวลาที่เก็บน้ำ ความลึกของน้ำ อัตราการบีโอดี ภาระปริมาณน้ำ และพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 เกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์ (Metcalf & Eddy, 1991)

พารามิเตอร์	หน่วย	SF	SSF
เวลาที่เก็บน้ำ	วัน	4 - 15	4 - 15
ความลึกของน้ำ	เมตร	0.10 - 0.60	0.30 - 0.76
อัตราการบีโอดี	กก./เฮกเตอร์-ว.	≤ 67	≤ 67
ภาระปริมาณน้ำ	ม./ว.	0.014 - 0.047	0.014 - 0.047
พื้นที่	เฮกเตอร์/ 10^3 ม ³ -ว.	2.14 - 7.16	2.14 - 7.16

2.3.4.1 อัตราการระสาดสารอินทรีย์

อัตราการระสาดสารอินทรีย์ในระบบบึงประดิษฐ์จะต้องมีค่าไม่มากจนเกินไป เพื่อป้องกันการเกิดสภาวะไร้อากาศ Metcalf & Eddy (1991) แนะนำว่าอัตราการระสาดสารอินทรีย์ของบึงประดิษฐ์ไม่ควรเกิน 67 กก.บีโอดี/เฮกเตอร์-ว. ส่วน Tchobanoglous and Culp (1980) กล่าวว่าอัตราการระสาดสารอินทรีย์ที่เหมาะสมกับระบบบึงประดิษฐ์ควรมีค่าอยู่ในช่วง 60 - 80 กก.บีโอดี/เฮกเตอร์-ว. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระสาดสารอินทรีย์ และอัตราการกำจัดบีโอดีจะอยู่ในรูปเชิงเส้น บึง

ประดิษฐ์ทั่วไปควรดำเนินงานที่อัตราสารอินทรีย์มีค่าเป็น 18 - 116 กก.บีโอดี/เฮกเตอร์-ว. ซึ่งการกำจัดบีโอดีจะสูงถึงร้อยละ 93 (Reed et al., 1988)

2.3.4.2 เวลาเก็บน้ำ

งานวิจัยหลายชิ้นพบว่าเวลาเก็บน้ำและอัตราสารอินทรีย์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบึงประดิษฐ์ สำหรับเวลาเก็บน้ำที่เหมาะสมมีรายงานว่าควรจะอยู่ในช่วง 6 - 7 วัน (Supatpong Mattaraj ,1995) Dan (1993) รายงานเวลาเก็บน้ำ 5 - 6 วัน เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอล เวลาเก็บน้ำที่น้อยเกินไปจะไม่เพียงพอสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ในทางกลับกันถ้าเวลาเก็บน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศได้

2.4 เหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus*)

เหงือกปลาหมอเป็นพืชชายเลนในวงศ์ (family) Acanthaceae สกุล (genus) *Acanthus* มีถิ่นอยู่ทั่วไปในแถบบริเวณเมดิเตอร์เรเนียน แอฟริกา แถบตะวันออกของเอเชีย และมาเลเซีย ซึ่งในสกุลนี้มีทั้งสิ้น 14 ชนิด (species) ในจำนวนนี้พบในประเทศไทยเพียง 4 ชนิด คือ

- 1) *Acanthus ebracteatus* Vahl. มีชื่อเรียกภาษาไทยว่าเหงือกปลาหมอ ส่วนชื่อเรียกภาษาอังกฤษคือ Sea Holly
- 2) *Acanthus ilicifolius* Linn. มีชื่อเรียกภาษาไทยหลายชื่อ เช่น แก้มหมอละ จะเกร็ง อีเกร็ง หรือนางเกร็ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเรียกว่าเหงือกปลาหมอน้ำเงิน
- 3) *Acanthus leucostachys* Wall. มีชื่อเรียกภาษาไทยว่า หางจระเข้ฝรั่ง หางตะเข้
- 4) *Acanthus volubilis* Wall. มีชื่อเรียกทั่วไปว่าเหงือกปลาหมอเครือ

เหงือกปลาหมอเป็นต้นไม้จำพวกไม้เนื้ออ่อน ขึ้นตามบริเวณที่ลุ่ม ลักษณะเป็นพุ่มขนาดกลางสูง 30 - 100 เซนติเมตร ลำต้นมีลักษณะทรงกระบอกเกลี้ยง ขนาดเท่านิ้วชี้ มีหนามอ่อนๆ ตามข้อ ข้อละ 4 หนาม ซึ่งเหงือกปลาหมอที่พบในประเทศไทยนี้มีทั้งชนิดลำต้นสีแดงและสีเขียว แต่จากการสอบถามนักพฤกษศาสตร์พบว่า สีของลำต้นไม่ใช่สิ่งที่ยกถึงชนิดของต้นเหงือกปลาหมอ แต่

สาเหตุที่ทำให้ลำต้นมีสีต่างกันอาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม (นิริวัติ วัชรากร และกุลภิสสร เลิศ
 ยนต์ชีพ, 2531) ใบออกตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ สีเขียวเข้ม รูปไข่ยาว ขอบใบหยัก ลักษณะใบเป็นมัน มี
 หนามแหลม ใบกว้าง 3 - 6.5 เซนติเมตร ยาว 7 - 18 เซนติเมตร มีก้านใบสั้นๆ ดอกออกเป็นช่อตรง
 ยอด ช่อดอกยาว 10 - 15 เซนติเมตร กลีบรองกลีบดอกมี 4 กลีบ แยกจากกันสีเขียว กลีบดอกแยก
 เป็น 2 ทาง กลีบบนยาวเท่ากับกลีบรองกลีบดอก ยาว 1 - 1.5 เซนติเมตร แต่กลีบล่างแผ่กว้างและ
 โค้งลง ปลายกลีบหยักเว้าเป็น 3 หยักตื้นๆ ยาว 2 - 2.5 เซนติเมตร กลีบดอกมีทั้งชนิดสีม่วงและ
 ชนิดสีขาว สีม่วงได้แก่ *A. ilicifolius* และชนิดดอกสีขาวคือ *A. ebracteatus* เกสรผู้มี 4 อัน สีชมพู มี
 ขนแข็งๆ สีชมพูที่อับเรณูด้วย ผลเป็นฝักสีน้ำตาลยาว 2 - 2.5 เซนติเมตร ปลายฝักบาน มีเมล็ดข้าง
 ในยาว 6 - 10 มิลลิเมตร 4 เมล็ด รากเป็นรากแขนงแตกออกจากลำต้น



2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.5.1 การบำบัดน้ำชะมูลฝอย

Henry, Prasad and Young (1987) ได้ทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถังกรองไร้ออกซิเจนจำนวน 2 ถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ปริมาตร 3 ลิตร มีหินเป็นตัวกรอง น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองได้จากหลุมฝังกลบใหม่มีค่าซีไอดี 14,000 มก./ล. และได้จากหลุมฝังกลบเก่ามีค่าซีไอดี 3,750 มก./ล. ใช้เวลากักเก็บน้ำ 24 - 96 ชั่วโมง อัตราการระสารถือ 1.26 - 1.45 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน พบว่าระบบสามารถลดซีไอดีได้ร้อยละ 90 มีก๊าซเกิดขึ้นระหว่าง 400 - 500 ลิตร/กก.ซีไอดี โดยเป็นก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 78 - 85

Lugowski et al.(1990) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศโดยถังเติมอากาศต่ออนุกรมกับระบบอาร์บีซี พบว่าระบบกำจัดซีไอดีได้ 96% และกำจัดแอมโมเนียได้ 98%

Keenan et al.(1993) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ Upflow Anaerobic Sludge Bed Filter (UASBF) ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าซีไอดีระหว่าง 800 - 1,000 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน พบว่าระบบสามารถลดซีไอดีได้มากกว่าร้อยละ 85 ที่อัตราการระสารถือ 10 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 3.5 วัน

Niramorn Thanuddhanusilp (1995) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบเอสบีอาร์ ใช้น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร มาบำบัดด้วยการเติมสารส้มเข้มข้น 4 ก./ล. ที่พีเอช 5.5 พบว่าลดซีไอดีได้ร้อยละ 53.37 และกำจัดโลหะหนักได้เพียงเล็กน้อย จากนั้นจึงบำบัดต่อด้วยระบบเอสบีอาร์ โดยเจือจางกับน้ำเสียชุมชนเพื่อลดความเข้มข้นของสารมลพิษและสารที่ย่อยสลายยาก ก่อนป้อนเข้าระบบ พบว่าระบบเอสบีอาร์กำจัดซีไอดีและบีไอดีได้ 78.0% และ 84.0% ตามลำดับ

Sung, Chang and Lee (1997) ศึกษาผลของเวลากักเก็บและอุณหภูมิในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบไร้อากาศ โดยใช้ น้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นของซีไอดีที่สลายได้ทางชีวภาพ 36% การบำบัดทำที่อุณหภูมิช่วงมีไซฟิสิกประมาณ 35°C. ใช้เวลากักเก็บน้ำ 2 - 10 วัน อัตราการระเหยซีไอดี 0.78 - 4.2 กก.ซีไอดี/ม.³-วัน และต้องทำให้ระบบคุ่นเคยประมาณ 1 เดือน พบว่าระบบไร้อากาศที่มีการควบคุมอุณหภูมิสามารถกำจัดซีไอดีได้มากกว่าการบำบัดที่อุณหภูมิปกติประมาณ 1.2 - 1.4 เท่า และระบบมีความคงตัวดี การใช้ระบบไร้อากาศที่เวลากักเก็บ 4 - 6 วันโดยไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ พบว่าระบบกำจัดสารอินทรีย์ได้ต่ำมากอยู่ในช่วง 0 - 16% และไม่คงตัว น้ำชะมูลฝอยที่บำบัดด้วยระบบไร้อากาศแล้วผ่านไปสู่อ่างเติมอากาศ พบว่าระบบเอเอสเป็นระบบหลักในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย (ประมาณ 70%) แต่ผลจากการแปรผันของน้ำเสียทำให้ระบบรวมมีประสิทธิภาพไม่คงตัวอยู่ในช่วง 40 - 80% การเพิ่มอุณหภูมิและเวลากักเก็บ เป็นทางเลือกในการเพิ่มให้แก่ระบบเดิม แต่การเพิ่มเวลากักเก็บน้ำทำให้ต้องเพิ่มปริมาตรถังบำบัดให้ใหญ่ขึ้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิโดยการให้ความร้อนแก่น้ำเสีย ซึ่งทำได้โดยใช้ความร้อนจากเตาเผาขยะที่มีอยู่จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า

Nakayama and Enari (1997) ใช้ระบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ที่มีทีไอซีประมาณ 7,000 มก./ล. โดยใช้คอลัมน์บรรจุทรายสูง 50 เซนติเมตร น้ำเสียจะถูกบ่อน้ำทางด้านบนของคอลัมน์ จากการทดลองพบว่าทีไอซีประมาณ 90% ที่ถูกกำจัดเกิดขึ้นตอนบนของชั้นทรายที่มีความลึกไม่เกิน 20 - 30 เซนติเมตร และระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสรวมได้ 80% แต่กำจัดไนโตรเจนรวมได้ต่ำมาก เมื่อมีการเติมปรอทเข้าไปในระบบไม่พบความเป็นพิษของปรอท เนื่องจากปรอทอาจถูกดูดซับด้วยอนุภาคทราย และอาจเกิดเป็นปรอทซัลไฟด์

Diamadopoulos et al. (1997) นำน้ำชะมูลฝอยมาบำบัดกับน้ำเสียชุมชน โดยนำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนน้ำเสียชุมชนต่อน้ำชะมูลฝอยเป็น 9:1 หลังผสมมีค่าบีไอดี 430 มก./ล. ซีไอดี 1,090 มก./ล. และทีเคเอ็น 133 มก./ล. (80% อยู่ในรูปของแอมโมเนีย) แล้วทำการบำบัดด้วยระบบเอสปีอาร์ ที่ความเข้มข้นของน้ำตะกอน 3,500 มก./ล. พบว่าระบบเอสปีอาร์กำจัดบีไอดีได้ 90% กำจัดไนเตรดได้ 99% (ในช่วงหยุดเติมอากาศ) ระบบโดยรวมกำจัดไนโตรเจนได้ 50% น้ำออกมีของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 30 มก./ล. สีน้ำออกเป็นสีเหลืองอ่อนจากกรดฮิวมิก การกำจัดสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เกิดในช่วงการเติมน้ำเสียโดยยังไม่ได้เติมอากาศ เพราะฟล็อกจุลินทรีย์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ไว้ได้

Urase et al.(1997) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยอาร์บิซี ตามด้วยโคแอกกูเลชันโดยการเติมเฟอริกคลอไรด์ ที่พีเอช 4 แล้วกรองผ่านชั้นทรายและผ่านถ่านกัมมันต์ กระบวนการโคแอกกูเลชันไม่ได้ผลที่ดีพอ เนื่องจากไอออนของโลหะสามารถละลายน้ำได้ดี การทำโคแอกกูเลชันที่พีเอชสูงไม่ค่อยประสบผลสำเร็จในการลดความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทองแดง และนิเกิล ส่วนที่พีเอชต่ำก็กำจัดได้เพียงตะกั่ว ส่วนการกรองและการใช้ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียม ทองแดงและนิเกิลได้ ส่วนการใช้นาโนฟิลเตรชันก็ช่วยแยกโลหะหนักออกได้โดยไม่ต้องใช้ความดันสูงมากนัก

2.5.2 การใช้บึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสีย

Dan (1993) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับศักยภาพของบึงประดิษฐ์ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟีนอล โดยใช้ระบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดิน พืชที่ปลูกคือต้นธูปฤๅษี ความเข้มข้นของฟีนอลในน้ำเสียคือ 25 - 700 มก./ล. ทำการทดลองที่ภาวะสารอินทรีย์ 40 - 400 กก.ซีโอดี/เฮกเตอร์-วัน เวลาพักเก็บน้ำ 5 - 7 วัน สามารถบำบัดซีโอดีได้ร้อยละ 97.2 - 99.9 และบำบัดฟีนอลได้ร้อยละ 99 - 100 ที่ภาวะสารอินทรีย์ 40 - 270 กก.ซีโอดี/เฮกเตอร์-วัน

Supatpong Mattaraj (1995) ได้ศึกษารูปแบบและลักษณะสมบัติทางจุลชีววิทยาของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดินในการบำบัดน้ำเสียชุมชน พืชที่ใช้ในระบบคือ ธูปฤๅษี (*Typha spp.*) ปลูกบนตัวกลางที่เป็นทรายรองด้วยกรวด น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราภาวะสารอินทรีย์ 50-200 กก.ซีโอดี/เฮกเตอร์-วัน โดยมีเวลากักเก็บน้ำ 1.5 - 10 วัน พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 71 - 86 ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีและฟิซิลโคลิฟอร์มมีมากกว่าร้อยละ 90 ระบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและทีเคเอ็นได้ร้อยละ 81 - 87 และกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 38

Anawat Pinisakul (1997) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในซึบเพจ (septage) โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลแวนดิง ที่ปลูกธูปฤๅษี (*Typha latifolia*) เปรียบเทียบกับลานตากทราย พบว่าบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดไนโตรเจนได้มากที่สุดถึงร้อยละ 92 - 99 ที่อัตราภาระซึบเพจ 80 - 125 กก.ของแข็ง/ม.²-ปี และมีการสะสมของสลัดจ์ที่ผิวดินของบึงประดิษฐ์ ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน และช่วยในการเจริญเติบโตของพืช จากการทำ

คุณมวลของไนโตรเจน พบว่าประมาณร้อยละ 9 - 30 ของไนโตรเจนที่ป้อนเข้าระบบไหลซึมลงสะสมในดิน ประมาณร้อยละ 40 - 80 พบในสไลด์จ์ที่สะสมในระบบ ประมาณร้อยละ 0.01 - 0.16 ถูกจับใช้โดยพืช ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 10 - 45 ถูกกำจัดโดยกระบวนการอื่นๆ เช่น การดูดซับ การระเหย และปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน และยังตรวจพบไนเตรทในชั้นตัวกลางของระบบบึงประดิษฐ์ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในชั้นตัวกลางด้วย

Mitchell and Karathanasis (1995) ได้ทำการวิจัยการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะคลอไรด์โดยใช้บึงประดิษฐ์ทั้งแบบน้ำอิสระเหนือผิวดิน และแบบน้ำไหลใต้ดิน ในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียที่มีโซเดียมคลอไรด์อยู่มาก โดยใช้หญ้าทรงกระเทียม (*Scirpus validus*) และธูปฤๅษี (*Typha angustifolia*) น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมี Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Zn โดยเกลือคลอไรด์จะถูกเติมเข้าไปในระบบที่อัตรา 0.3 ล./ชม. ในช่วง 12 สัปดาห์ ในระบบน้ำไหลใต้ดินประสิทธิภาพในการดูดซับ Fe ดีที่สุดคือ 74% และ Mn น้อยที่สุดคือ 24% ส่วนการสะสมในชีวมวลของพืชในระบบทั้งสองนับว่ามีน้อยมากเมื่อเทียบกับการกำจัดโลหะทั้งหมด

Polprasert, Dan and Thayakumaran (1996) ใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดินในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโครเมียมและนิเกิล โดยใช้ต้นธูปฤๅษีในการทดลอง น้ำเสียมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 60 - 180 มก./ล ถูกป้อนเข้าสู่ระบบที่ภาระสารอินทรีย์ 40 - 400 กก.ซีโอดี/เฮกเตอร์-วัน ผลที่ได้คือระบบสามารถกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้มากกว่าร้อยละ 99 เมื่อความเข้มข้นของโครเมียม (หรือนิเกิล) ในน้ำเสียดิบเป็น 20 มก./ล. นอกจากนั้นปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนจะมีผลต่ออัตราการกำจัดซีโอดี กล่าวคือที่ความเข้มข้นของโลหะหนัก 1 - 10 มก./ล. การกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 70 แต่เมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้นเป็น 20 และ 50 มก./ล. การกำจัดซีโอดีจะลดลงเป็นร้อยละ 50 และ 35 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับโลหะหนักโดยพืชพบว่ารากเป็นส่วนที่มีโลหะหนักสะสมอยู่มากที่สุด รองลงมาคือที่ก้านและใบ โดยที่นิเกิลจะสะสมอยู่ที่ใบมากกว่าโครเมียม ดังนั้นนิเกิลจึงเป็นพืชต่อพืชได้มากกว่าโครเมียมโดยสังเกตได้จากใบมีสีเหลือง

Katekinta (1994) ได้ทำการวิจัยโดยใช้บึงประดิษฐ์บำบัดน้ำเสียจากบ่อปรับสภาพโดยใช้ระบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดิน ที่เวลากักเก็บน้ำ 3 - 4 วัน สามารถกำจัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และพิคัลโคลิฟอร์ม ได้มากกว่าร้อยละ 90 สำหรับการกำจัดไนโตรเจนใน

ระบบพบว่าถูกดูดซับโดยพืช 46% สะสมในดิน 5% ระเหย 17% และอื่นๆ (การกรอง และการตกตะกอน) 32% ส่วนการกำจัดฟอสฟอรัสพบว่าถูกดูดซับโดยพืช 65% สะสมในดิน 24% และอื่นๆ (การตกตะกอนทางเคมี) 11%

Monika et al. (1997) ได้ศึกษาการใช้บึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม สำหรับบำบัดน้ำทิ้งที่ไม่ได้มาตรฐานจากโรงงานบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิม บึงประดิษฐ์ที่ใช้เป็นแบบน้ำไหลในแนวตั้งต่อขนานกัน 4 บึง รวมพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 600 ตารางเมตร แต่ละบึงใช้ตัวกลางเป็นกรวดและทราย พืชที่ใช้คือต้นอ้อ ทำการทดลองที่อัตราการระเหยประมาณน้ำ 66 - 266 มม./วัน ตรวจสอบคุณภาพน้ำทุก 2 สัปดาห์ ติดต่อกันเป็นเวลาประมาณ 2 ปี ปรากฏว่าระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีประมาณร้อยละ 50 - 60 แอมโมเนียประมาณร้อยละ 40 - 90 และฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 50 - 60 ผู้ทดลองได้แนะนำว่าอัตราการระเหยประมาณน้ำที่เหมาะสมกับระบบดังกล่าวคือ 200 มม./วัน

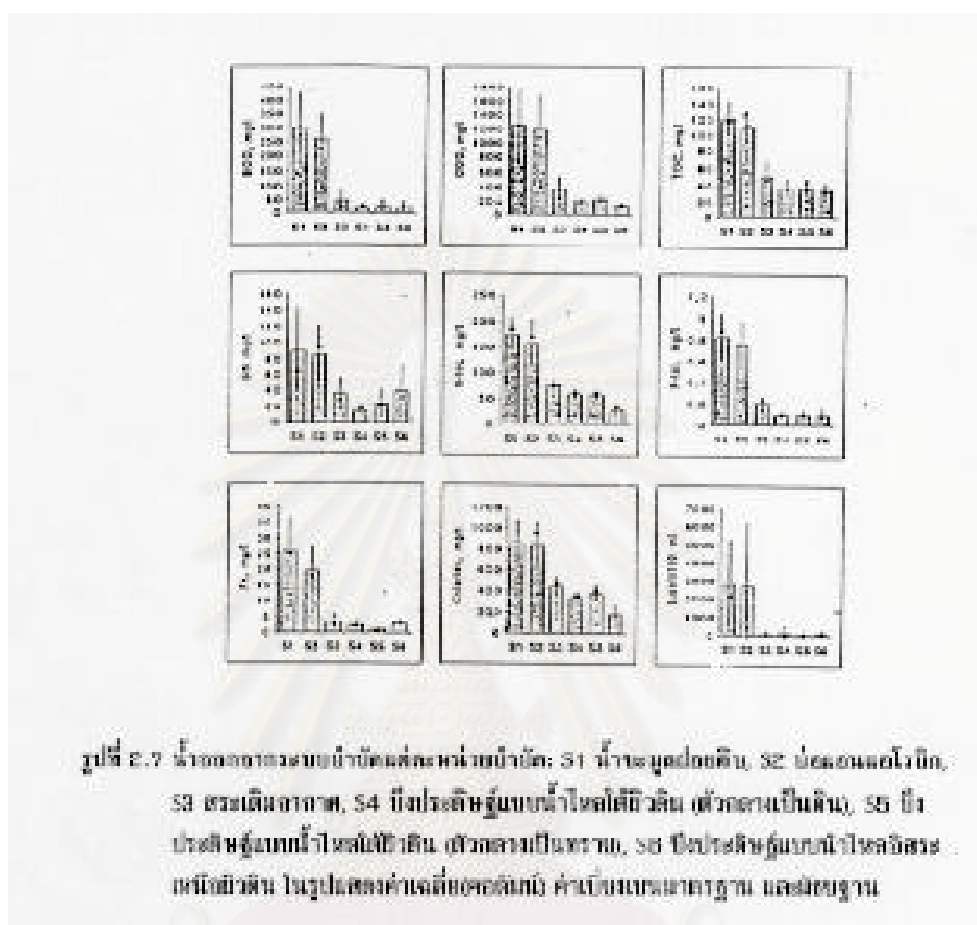
Green et al.(1997) ได้ศึกษาการกำจัด *E.coli* และโคลิฟอร์มทั้งหมดของบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน โดยทำการศึกษาจากบึงประดิษฐ์ทั้งที่ใช้งานจริง และในห้องทดลอง ทั้งสองระบบปลูกต้นอ้อบนตัวกลางที่เป็นกรวดขนาด 5 - 10 มม. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง จากการตรวจสอบการกำจัด *E.coli* และโคลิฟอร์มทั้งหมดในบึงประดิษฐ์ที่ใช้งานจริงเป็นเวลา 2 ปี พบว่าในช่วงฤดูแล้งบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดได้ 1.5 - 2.1 รอบล็อก (log cycle) ส่วนในฤดูฝนประสิทธิภาพการกำจัดจะลดลง แต่การกำจัดซีไอดี ของแข็งแขวนลอย และแอมโมเนีย ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยป้อนน้ำเสียที่มี *E.coli* อยู่ระหว่าง 100,00 - 1,000,000 ซีเอฟยู/100มล. เข้าสู่ระบบ ที่เวลากักเก็บน้ำ 12, 24, 48 และ 120 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามเวลากักเก็บน้ำ และที่เวลากักเก็บน้ำไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณแบคทีเรียในทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 1,000 ซีเอฟยู *E.coli*/100 มล.

Mæhlum (1995) ได้อธิบายถึงการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะชุมชนด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งดำเนินงานอยู่ในประเทศนอร์เวย์ โดยมีอัตราการไหลของน้ำชะมูลฝอยประมาณ 120 ม.³/วัน น้ำชะมูลฝอยดังกล่าวถูกป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดรวมที่มี 4 หน่วยบำบัดคือ

หน่วยแรกเป็นบ่อแอนแอโรบิกซึ่งมีปริมาตรประมาณ 400 ม.³ หน่วยที่สองเป็นสระเติมอากาศ ปริมาตร 4,000 ม.³ ในสระเติมอากาศนี้สารอินทรีย์ แอมโมเนีย และเหล็ก จะถูกออกซิไดซ์ หน่วยที่สามคือบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน 2 บึงขนานกัน บึงหนึ่งใช้ดินเป็นตัวกลางส่วนอีกบึงใช้ทรายเป็นตัวกลาง แต่ละบึงมีพื้นที่ 400 ม.² ในบึงประดิษฐ์ปลูกต้นอ้อ (*Phragmites australis*) และ ฤๅษี (*Typha latifolia*) และหน่วยที่สี่คือบึงประดิษฐ์แบบน้ำอิสระเหนือผิวดินขนาด 2,000 ม.² ปลูกหญ้าทรงกระเทียม (*Scirpus spp.*) และ ฤๅษี ระบบดังกล่าวนี้ไม่มีส่วนเคลื่อนไหลเลยยกเว้น เครื่องเติมอากาศในสระเติมอากาศ การบำบัดมลสารต่างๆ ในระบบแสดงดังรูปที่ 2.7 จากรูปจะ เห็นว่าการบำบัดมลสารส่วนใหญ่เกิดขึ้นในสระเติมอากาศ ประสิทธิภาพการบำบัดรวมของระบบ เป็นที่น่าพอใจ คืออยู่ในช่วง 70 - 95% ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.12

Craig and Keith (1995) ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอย ของหลุมฝังกลบ Perdido รัฐ Florida โดยเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดต่างๆ ของระบบมาทำการตรวจสอบ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระบบบำบัดดังกล่าวเป็นระบบรวม 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นสระเติมอากาศขนาด 2.2 เฮกเตอร์ ลึก 11 เมตร ความจุประมาณ 113,400 ม.³ ในสระปลูกผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) น้ำชะมูลฝอยที่รวบรวมได้จากหลุมฝังกลบจะถูกป้อนเข้าสู่สระเติมอากาศนี้ ซึ่งมีเวลากักเก็บน้ำประมาณ 500 วัน จากนั้นน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าสู่หน่วยบำบัดขั้นที่สองซึ่งเป็นบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน 10 บึงต่อกันขนานกัน แต่ละบึงมีขนาด 11ม. X 97ม. เวลากักเก็บน้ำรวมของบึงประดิษฐ์ทั้ง 10 บึงประมาณ 20 วัน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยบึงประดิษฐ์แล้วจะถูก กักไว้ในสระเสิร์จ (Surge lagoon) ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่หน่วยบำบัดขั้นที่สามเป็นระบบกรองทราย ได้ ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2.13 ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ทำการวิเคราะห์เฉพาะน้ำ เสียดิบและที่สระเสิร์จ ดังตารางที่ 2.14

Tjasa, Danijel and Vlasta (1997) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยบึงประดิษฐ์แบบน้ำ ไหลใต้ผิวดิน ขนาด 450 ม.² ปลูกต้นอ้อ (*Phragmites australis*) น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ทำการทดลองมี ความเข้มข้นของซีไอดี 1,240 มก./ล. บีไอดี 60 มก./ล. แอมโมเนียไนโตรเจน 88 มก./ล. ของแข็งแขวนลอย 400 มก./ล. และเหล็ก 10 มก./ล. ป้อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3 ซม./วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี 68% บีไอดี 46% แอมโมเนียไนโตรเจน 81% และเหล็ก 80%



ตารางที่ 2.12 ประสิทธิภาพการบำบัดโดยรวมของระบบ

มลสาร	อัตราการกำจัด (ร้อยละ)
ซีโอดี	88
บีโอดี (BOD ₇)	91
ทีโอดี	71
ไนโตรเจน	83
ฟอสฟอรัส	88
เหล็ก	88
<i>E.coli</i>	95

ตารางที่ 2.13 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่หลุมฝังกลบ Perdido
(หน่วย มก./ล.)

พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยดิบ	สระเติมอากาศ	บึงประดิษฐ์	สระเสิร์ฟ	อัตราการกำจัด (%)
ฟอสเฟต	2.3	4.1	1.9	0.6	74
แอมโมเนีย	405	5.4	1.6	0.7	99
ทีเคเอ็น	474	13	3.9	3.6	99
ไนเตรทและ ไนไตรท์	0.2	12.8	0.7	0.4	
สภาพต่าง	2981	490	499	346	88
คลอไรด์	927	192	171	138	85
ของแข็งแขวนลอย	2969	530	7	12	99
แมงกานีส	2.0	0.21	0.13	0.09	95
เหล็ก	351	9.5	0.8	1.2	99
พีคัลโคลิฟอร์ม	5700	9000	2700	2078	64

ตารางที่ 2.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่หลุมฝังกลบ Perdido
(หน่วย มก./ล.)

จุดเก็บตัวอย่าง	ซีไอดี	ทีไอซี	บีไอดี
น้ำชะมูลฝอยดิบ	1,182	423	310
สระเสิร์ฟ	136	35	15

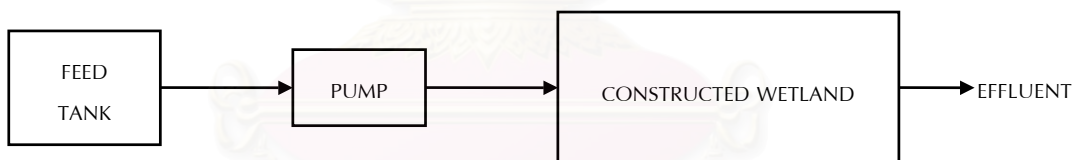
บทที่ 3

แผนการวิจัย

การวิจัยนี้จะกระทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (ซีโอดี) ของแขวงแขวนลอย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสี จากน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แล้ว โดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินที่มีพืช และภาวะปริมาณน้ำต่างกัน ในการศึกษานี้จะใช้ชุดทดลองจำนวน 3 หน่วย โดยหน่วยที่ 1, 2 และ 3 จะมีเวลาเก็บกักน้ำเป็น 3, 5 และ 10 วัน คิดเป็นภาวะปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน หน่วยทดลองแต่ละหน่วยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หน่วยทดลอง

ตัวแปรที่พิจารณาในการวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 แบบคือ ตัวแปรกำหนด (Fixed variables) ตัวแปรอิสระ (Independent variables) และตัวแปรตาม (Dependent variables) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ตัวแปรกำหนดที่ต้องควบคุมให้คงที่ ได้แก่
 - ตัวกลางในหน่วยทดลองคือ ทRAY โดยมีความสูงของชั้นทRAYเป็น 30 เซนติเมตร
 - ระดับน้ำในหน่วยทดลองเป็น 26 เซนติเมตร
 - ซีโอดีของน้ำเสียเข้าเท่ากับ 500 มก./ล. (ดูภาคผนวก ข.)

- 2) ตัวแปรอิสระซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ได้แก่
- เวลาเก็บกักน้ำในแต่ละหน่วยทดลองซึ่งควบคุมให้มีค่าเป็น 3, 5 และ 10 วัน ซึ่งจะได้ อัตราการไหล และภาวะปริมาณน้ำของแต่ละหน่วยทดลองเป็นดังตารางที่ 3.1
 - พืชที่ปลูกในระบบ 2 ชนิดคือ ฐปฤาษี (*Typha angustifolia*) และเหียงอกปลาหมอค (*Acanthus ebracteatus*)

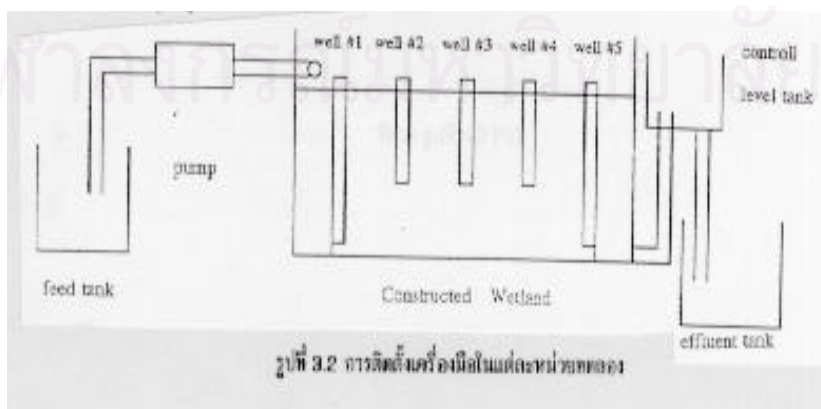
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราการไหลของน้ำเสียในหน่วยทดลอง (รายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก ก.)

หน่วยทดลองที่	เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)	อัตราการไหล (ลิตร/วัน)	ภาวะปริมาณน้ำ (ซม./วัน)
1	3	7	3.9
2	5	4	2.2
3	10	2	1.1

- 3) ตัวแปรตามเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนไปเมื่อตัวแปรอิสระมีการเปลี่ยนแปลง ในการวิจัยนี้ตัวแปรตามที่ต้องวิเคราะห์ คือ ซีไอดี ออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสฟอรัส และสี ในน้ำทิ้ง

3.2 อุปกรณ์

ในการวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.2



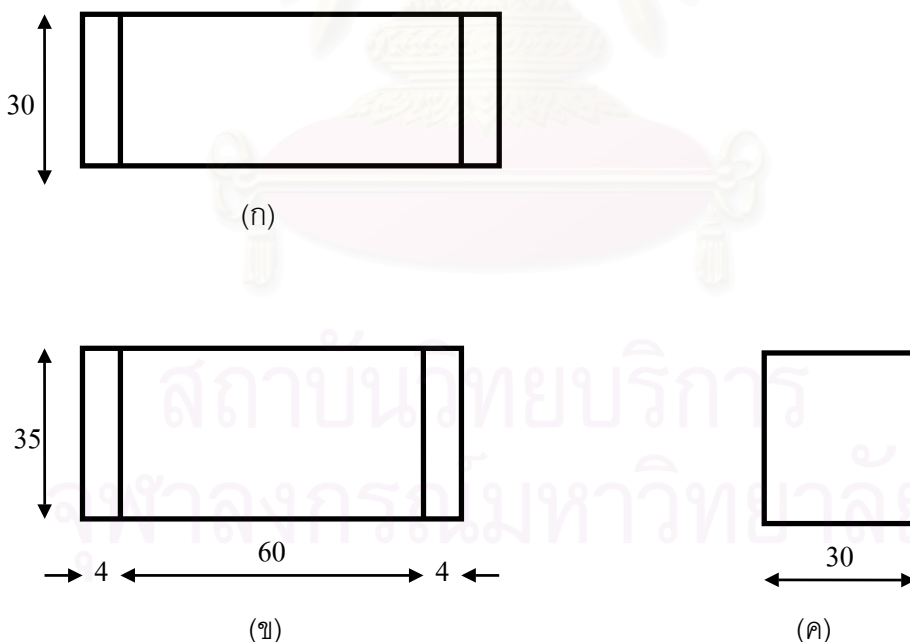
3.2.1 ถังเก็บน้ำเสีย

ถังเก็บน้ำเสียเป็นถังพลาสติกขนาด 50 ลิตร

3.2.2 บึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมบรรจุทราย ควบคุมให้น้ำเสียไหลได้ผิวดวงกลาง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ถังบรรจุตัวกลางทรงสี่เหลี่ยม ทำจากแผ่นอะคริลิกกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 68 เซนติเมตร และสูง 35 เซนติเมตร ด้านยาว 4 เซนติเมตรแรกและสุดท้ายกรุด้วยกรวดขนาดประมาณ 1 เซนติเมตรเป็นส่วนรับน้ำเข้าและออก ส่วนที่เหลือตรงกลางทั้งหมดใช้บรรจุตัวกลาง โดยบรรจุตัวกลางสูง 30 เซนติเมตร (ระดับน้ำสูง 26 เซนติเมตร) ดังรูปที่ 3.3



หน่วย: เซนติเมตร

รูปที่ 3.3 มิติของบึงประดิษฐ์ (ก)ภาพตัดด้านบน (ข)ภาพตัดด้านหน้า (ค)ภาพตัดด้านข้าง

2) จุดเก็บตัวอย่างเป็นหลอดพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งเปิด ส่วนอีกด้านหนึ่งปิด และเป็นรูปทูลน พร้อมทั้งมีสายยางเก็บตัวอย่างในแต่ละบ่อ ดังรูปที่ 3.4 ตำแหน่งการวางบ่อเก็บตัวอย่างจะอยู่ตรงกึ่งกลางของความกว้าง ตลอดความยาวของบึงประดิษฐ์ ดังตารางที่ 3.2



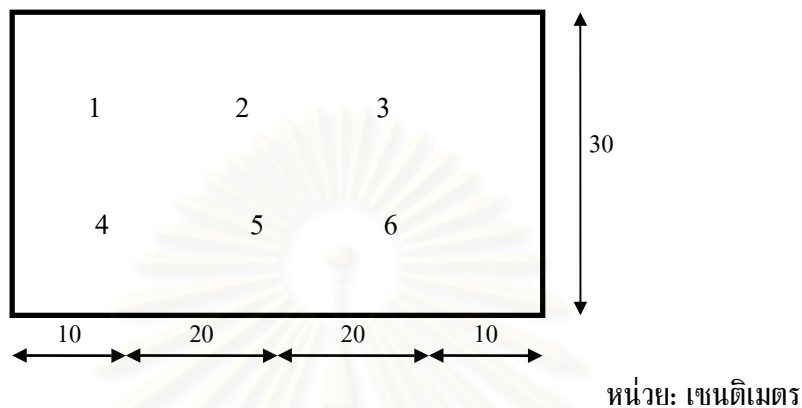
ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งการวางบ่อเก็บตัวอย่าง

บ่อเก็บตัวอย่างที่	ระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า (เซนติเมตร)	ความลึกของบ่อ (เซนติเมตร)
1	0	29
2	15	15
3	30	15
4	45	15
5	60	29

3) ตัวกลางที่ใช้ในระบบคือ ททรายขนาดประมาณ 1 - 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) เท่ากับ 0.4

4) พืชที่ปลูกในระบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดมี 2 ชนิด คือ ฐปฤาษี (*Typha angustifolia*) และเหงือกปลาหมอ (*Acanthus ebracteatus*) ความหนาแน่นของพืชในระบบ

คือ 38 - 41 ต้นต่อตารางเมตร (Supatpong, 1995) โดยทุกต้นห่างจากผนัง 10 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้นในแนวกว้างและแนวยาวเป็น 10 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งพืชในบึงประดิษฐ์

5) ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกเป็นสายยางขนาด 5 มิลลิเมตร มีกวอดขนาด 1 เซนติเมตร เป็นตัวกระจายน้ำที่ทางน้ำเข้าและออก สายยางรับน้ำออกยกสูงเพื่อควบคุมระดับน้ำในระบบบึงประดิษฐ์ให้สูง 26 เซนติเมตร

3.2.3 เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำเป็นแบบรีดสาย (Peristetic pump) 3 ตัวสำหรับแต่ละหน่วยทดลอง เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียให้ได้ดังตารางที่ 3.1

3.2.4 น้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริง ซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี เก็บน้ำเสียสัปดาห์ละสองครั้ง ครั้งละประมาณ 40 ลิตร น้ำเสียที่เก็บมาได้จะใส่ไว้ในถังพลาสติกและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เมื่อจะทำการทดลองจะเจือจางด้วยน้ำประปาจนมีค่าซีไอดีเป็น 500 มก./ล.

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยนี้มี 3 ขั้นตอนได้แก่ การศึกษาผลของตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดของ บึงประดิษฐ์ การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ และการ ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นอัญญาณี แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิ ภาพการบำบัดระหว่างระบบที่ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด ที่ภาระปริมาณน้ำ 3 ค่า

3.3.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช

ขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ตรวจสอบลักษณะของทรายที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบ โดยตรวจสอบหาปริมาณสาร อินทรีย์ และไนโตรเจน (ทีเคเอ็น และไนเตรท)
- 2) ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัยดังรูปที่ 3.2
- 3) เตรียมระบบโดยป้อนน้ำประปาที่อัตราการไหล 7, 4 และ 2 ลิตรต่อวัน ลงในหน่วย ทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1) เป็นเวลา 15 วัน
- 4) เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในข้อ 3) มาตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ พีเอช ซีไอดี ออกซิเจนละลาย โออาร์พี ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจน (ทีเคเอ็น, แอมโมเนีย, ไนเตรท และไน ไตรท์) และสี
- 5) ป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีเป็น 500 มก./ล. เข้าระบบที่อัตราการไหลเช่นเดียวกับในข้อ 3) เป็นเวลา 1 เดือน หรือจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่าง ทั้ง 5 บ่อ มาตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 เป็นเวลา 1 เดือน
- 6) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการตรวจสอบการดูดซับมลสารในส่วนต่างๆ ของระบบ โดย เก็บตัวอย่างทรายที่ความลึก 15 เซนติเมตร ที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร จากทางน้ำ เข้า มาวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนเช่นเดียวกับข้อ 1)

3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหือกปลาหมอ

ในขั้นตอนวิจัยนี้มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ตรวจสอบลักษณะของทรายที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบ โดยตรวจสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ และไนโตรเจน
- 2) ตรวจสอบลักษณะของต้นเหือกปลาหมอที่ใช้ในการวิจัย โดยแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ ราก ลำต้น และใบ นำมาอบให้แห้งที่ 105 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียด นำไปย่อย และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน
- 3) ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัยดังรูปที่ 3.2 โดยปลูกต้นเหือกปลาหมอจำนวน 6 ต้นลงในแต่ละหน่วยทดลองตามตำแหน่งในรูปที่ 3.5
- 4) เตรียมระบบโดยป้อนน้ำประปาที่อัตราการไหล 7, 4 และ 2 ลิตรต่อวัน ลงในหน่วยทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1) เป็นเวลา 15 วัน
- 5) เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในข้อ 4) มาตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ พีเอช ซีไอดี ออกซิเจนละลาย โออาร์พี ฟอสฟอรัสทั้งหมด ไนโตรเจน (ทีเคเอ็น, แอมโมเนีย, ไนเตรท และไนไตรท์) และสี
- 6) ป้อนน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีเป็น 500 มก./ล. เข้าระบบที่อัตราการไหลเช่นเดียวกับในข้อ 4) เป็นเวลา 1 เดือน หรือจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างทั้ง 5 บ่อ มาตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3
- 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการตรวจสอบการดูดซับมลสารในส่วนต่างๆ ของระบบ โดยเก็บตัวอย่างทรายที่ความลึก 15 เซนติเมตร ที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตร จากทางน้ำเข้า และต้นเหือกปลาหมอ มาวิเคราะห์ปริมาณมลสารเช่นเดียวกับข้อ 1) และ 2) ตามลำดับ

3.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี

ทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.3.2 แต่เปลี่ยนพืชที่ปลูกในระบบเป็นต้นธูปฤๅษี

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

ในระบบที่ใช้ในการวิจัยต้องเก็บตัวอย่างน้ำ ฟีซ และทราย เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

3.4.1 ตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะเก็บตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

- 1) น้ำเสียเข้า (Influent, I)
- 2) บ่อเก็บตัวอย่างที่ 1 (Well#1, W1)
- 3) บ่อเก็บตัวอย่างที่ 2 (Well#2, W2)
- 4) บ่อเก็บตัวอย่างที่ 3 (Well#3, W3)
- 5) บ่อเก็บตัวอย่างที่ 4 (Well#4, W4)
- 6) บ่อเก็บตัวอย่างที่ 5 (Well#5, W5)
- 7) น้ำทิ้ง (Effluent, E)

ในการเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บสัปดาห์ละ 3 วันคือ วันจันทร์ พุธ และศุกร์ เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยเก็บตัวอย่างน้ำตำแหน่งละประมาณ 100 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

3.4.2 ตัวอย่างฟีซ

เก็บตัวอย่างฟีซก่อนและสิ้นสุดการทดลองเพื่อตรวจสอบการดูดซับไนโตรเจนในฟีซ โดยแยกออกเป็น 3 ส่วนคือ ราก ลำต้น และใบ นำมาอบให้แห้งที่ 105 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Macro-Kjeldahl

ตารางที่ 3.3 การเก็บและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ							วิธีวิเคราะห์
	I	W1	W2	W3	W4	W5	E	
pH	✓	-	-	-	-	-	✓	pH Meter
อุณหภูมิ	✓	-	-	-	-	-	✓	Thermometer
SS	✓	-	-	-	-	-	✓	Filtered and Dried at 105 °C
DO	✓	-	-	-	-	-	✓	DO Meter
ORP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ORP Meter
COD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Closed Reflux, Titrimetric Method
TKN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Macro-Kjeldahl Method
NH ₄	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Macro-Kjeldahl Method
NO ₃	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ultraviolet Spectrophotometric Scanning
NO ₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Modification of Ilosvay Diazotization Method
TP	✓	-	-	-	-	-	✓	Persulphate Digestion + Vanadomolybdiphosphoric Acid Colorimetric Method

3.4.3 ตัวอย่างทราย

เก็บตัวอย่างทรายที่ใช้เป็นตัวอย่างในบึงประดิษฐ์ก่อน และหลังการทดลองที่ความลึก 15 เซนติเมตร ที่ระยะ 0, 15, 30, 45 และ 60 เซนติเมตรจากทางน้ำเข้า เพื่อวิเคราะห์การดูดซับไนโตรเจน

3.4.4 การทำดุลมวลไนโตรเจน

หลังจากวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ทরาย และพืชแล้ว นำผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ มาจัดทำสมดุลมวลของไนโตรเจน จากสมการสมดุลมวล

$$\text{INF} = \text{EFF} + \text{PB} + \text{MD} + \text{NDN} + \text{UNA} \quad (1)$$

เมื่อ	INF	=	ไนโตรเจนทั้งหมดในกระแสเข้า
	EFF	=	ไนโตรเจนทั้งหมดในกระแสออก
	PB	=	ไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในพืช
	MD	=	ไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในตุ่มกลาง
	NDN	=	ไนโตรเจนทั้งหมดที่สูญเสียจากระบบด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน (ดูภาคผนวก ค.)
	UNA	=	ไนโตรเจนทั้งหมดที่ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ เช่น การระเหยของแอมโมเนีย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทั่วไป

4.1.1 อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศ

ในระหว่างทำการทดลองอุณหภูมิของอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 25.6 - 34.5 °C โดยน้ำเสียในระบบบึงประดิษฐ์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 1 - 4 °C และปรากฏว่ามีฝนตกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม แต่เนื่องจากระบบมีการป้องกันด้วยหลังคาและผ้าพลาสติก น้ำฝนจึงไม่สามารถเข้าสู่ระบบได้ ตลอดจนการทดลองได้วัดอัตราการสูญเสียน้ำออกจากระบบเนื่องจากการระเหยผ่านชั้นตัวกลางและการคายน้ำของพืช โดยคำนวณจากผลต่างของอัตราการป้อนน้ำเสียกับอัตราการไหลออกของน้ำทิ้ง พบว่ามีค่า 0.2 - 0.5 ลิตร/วัน ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะได้นำไปใช้คำนวณสมดุลมวลของไนโตรเจน

4.1.2 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยของสถานกำจัดขยะอำเภอนาทนน้อย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งเก็บในช่วงเดือนกันยายน 2542 ถึงกรกฎาคม 2543 มีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.1 น้ำเสียนี้ถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยาแล้ว ดังนั้นจึงมีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีต่ำมาก เฉลี่ยเท่ากับ 1 : 12 น้ำเสียนี้จึงยังคงมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากอยู่ โดยมีค่าเฉลี่ยซีโอดีเท่ากับ 2492 มก./ล. ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 150.2 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำเสียยังคงมีค่าทีเคเอ็นและสีสูงมากเฉลี่ยเท่ากับ 274 มก./ล. และ 2,252 เอสยูตามลำดับ โดยพบว่าน้ำเสียมีสีน้ำตาลค่อนข้างดำ น้ำเสียดังกล่าวจะถูกเจือจางจนมีค่าซีโอดีประมาณ 500 มก./ล. ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบทดลอง น้ำเสียหลังการเจือจางมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียของสถานกำจัดขยะมูลฝอย
เทศบาลอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ในช่วงเดือนกันยายน 2542 ถึง กรกฎาคม 2543

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ค่าระหว่าง	ค่าเฉลี่ย
พีเอช		6.2 - 8.4	7.6
ไออาร์พี	มิลลิโวลต์	-43.32 - 27.04	-31.11
สี	เอสยู	927 - 2,112	1,252
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัม/ลิตร	73.1 - 201.2	150.2
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	มิลลิกรัม/ลิตร	31.2 - 104.6	84.8
ซีไอดี	มิลลิกรัม/ลิตร	1,253 - 2,941	2,492
บีไอดี	มิลลิกรัม/ลิตร	122 - 284	208
แอมโมเนียไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	74 - 203	141
อินทรีย์ไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	96 - 184	133
ทีเคเอ็น	มิลลิกรัม/ลิตร	170 - 387	274
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มิลลิกรัม/ลิตร	2.3 - 7.9	3.4
แมงกานีส	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่พบ	

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางแล้วเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบทดลอง

ลักษณะสมบัติ	หน่วย	ค่าระหว่าง	ค่าเฉลี่ย
พีเอช		6.4 - 8.5	7.5
ไออาร์พี	มิลลิโวลต์	-61.27 ถึง -39.05	-48.88
สี	เอสยู	64.04 - 110.15	78.72
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัม/ลิตร	51.2 - 105.2	76.4
ซีไอดี	มิลลิกรัม/ลิตร	489 - 518	504
บีไอดี	มิลลิกรัม/ลิตร	38 - 46	41
แอมโมเนียไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	13 - 28	23
อินทรีย์ไนโตรเจน	มิลลิกรัม/ลิตร	17 - 29	22
ทีเคเอ็น	มิลลิกรัม/ลิตร	30 - 56	44
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มิลลิกรัม/ลิตร	0.5 - 1.5	1.1

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้

จากการทดลองบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่บรรจุเฉพาะตัวกลางทรายโดยไม่ปลูกต้นไม้ ที่เวลากักน้ำ 3, 5 และ 10 วัน หรือคิดเป็นภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 พีเอช

จากการวัดค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบตลอดการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.1 ซึ่งน้ำเข้าจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.4 - 8.4 และเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพีเอชจะมีค่าเข้าใกล้ 7 เป็นอย่างมาก จึงกล่าวได้ว่าแม้เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ก็สามารถปรับค่าพีเอชให้เป็นกลางได้

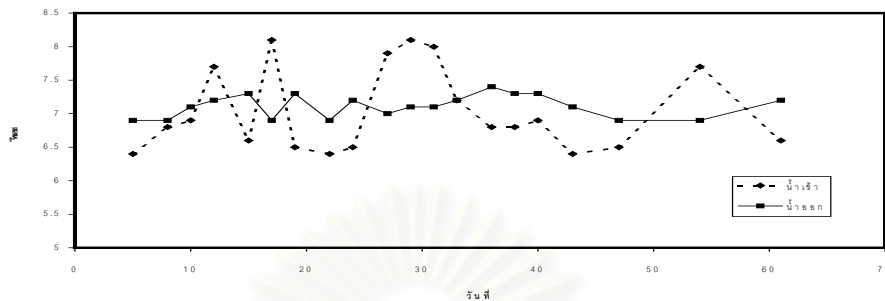
4.2.2 การระเหยของน้ำออกจากระบบ

จากการเปรียบเทียบอัตราการบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบกับอัตราการระเหยน้ำทั้งหมด พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้มีอัตราการระเหยของน้ำออกจากระบบเป็น 0.2 ลิตร/วัน เท่ากันทุกภาระปริมาณน้ำ (ดูภาคผนวก ง.)

4.2.3 ซีโอดี

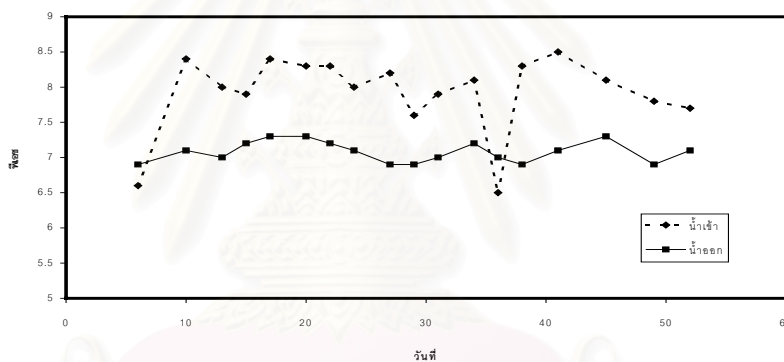
จากการทดลองโดยบ่อน้ำเสียที่ความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 500 มก./ล พบว่าในทุกภาระปริมาณน้ำระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อ 24 วันหลังจากเริ่มบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้สังเกตได้จากปริมาณซีโอดีในน้ำออกจากระบบที่มีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ซีโอดีในน้ำทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเป็น 229 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด 54.5% ทั้งนี้แม้เป็นระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้และมีภาระปริมาณน้ำสูงถึง 3.9 ซม./วัน ก็สามารถกำจัดซีโอดีได้ถึง 38.4% โดยน้ำทั้งหมดมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 312 มก./ล. ส่วนที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน ซีโอดีในน้ำทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเป็น 283 มก./ล. เมื่อระบบคงตัวแล้วพบว่าเมื่อเวลากักน้ำเพิ่มขึ้นอัตราการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.3 โดยการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของระบบ และการ

พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออก ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน



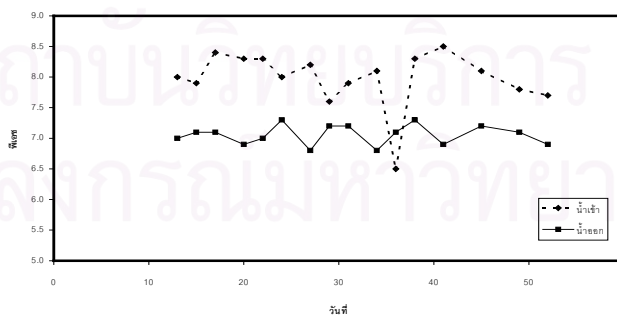
ก. ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออก ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน



ข. ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออก ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

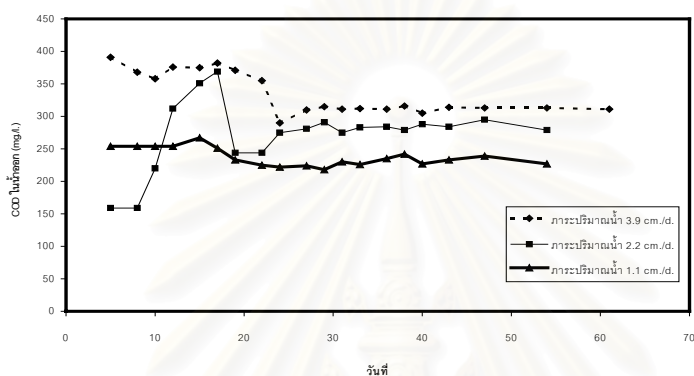


ค. ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

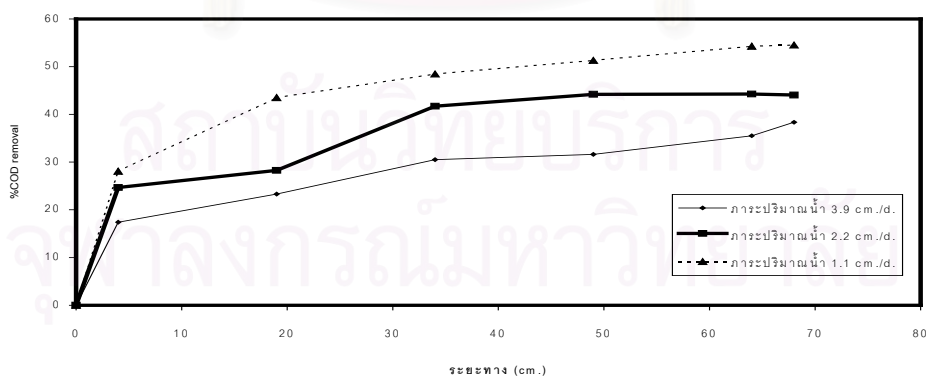
กำจัดซีโอดีจะลดลงหลังจากระยะทาง 30 เซนติเมตร จากทางน้ำเข้า เนื่องจากในช่วง 30 เซนติเมตรแรกซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นไปแล้วจะเหลือแต่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก

รูปที่ 5.2 COD ในน้ำออก ไม่ปลูกต้นไม้ ที่เวลากักน้ำต่างๆ (ข้อมูล sheet3)



รูปที่ 4.2 ปริมาณซีโอดีในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มป้อนน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีโอดีเฉลี่ย 500 มก./ล.

กราฟแสดง %COD removal ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าที่เวลากักน้ำต่างๆ กระยะเปล้า เมื่อระบบคงตัว (ข้อมูล sheet3)



รูปที่ 4.3 อัตราการกำจัดซีโอดีตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่เวลากักน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว

4.2.4 ฟอสฟอรัส

น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบบึงประดิษฐ์มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 มก./ล. โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 มก./ล. ซึ่งมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทำให้น้ำออกจากระบบมีค่าฟอสฟอรัสแปรปรวนเช่นกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.1, 0.8 – 1.2 และ 0.6 – 1.2 มก./ล. ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน มีปริมาณน้อยกว่าในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพียงเล็กน้อย แสดงว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ต่ำมาก (9.3%) ส่วนที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 และ 1.1 ซม./วัน สามารถกำจัดได้ 18.5 และ 20.8% ตามลำดับ

4.2.5 ของแข็งแขวนลอย

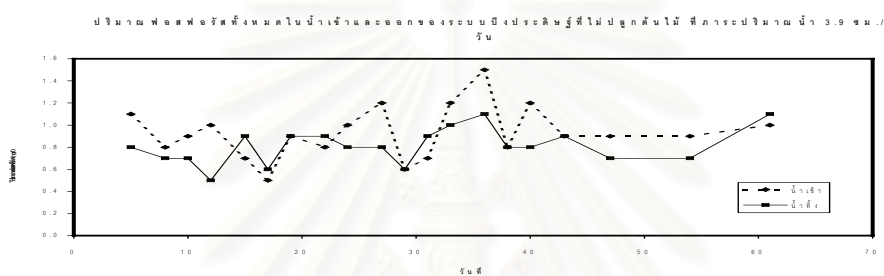
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบที่มีภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 76.6, 75.0 และ 75.0 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำทิ้งจากระบบมีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.7, 7.3 และ 5.7 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 92.6, 90.2 และ 92.4 จากรูปที่ 4.5 พบว่าในทุกภาระปริมาณน้ำ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์มีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 11 มก./ล. แสดงว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชมีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูง เนื่องจากกระบวนการกำจัดของแข็งแขวนลอยในระบบบึงประดิษฐ์เกิดจากการกรองผ่านชั้นตัวกลางทราย ทำให้ออกของแข็งแขวนลอยตกตะกอนและสะสมอยู่ในระบบ และจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป

4.2.6 สี

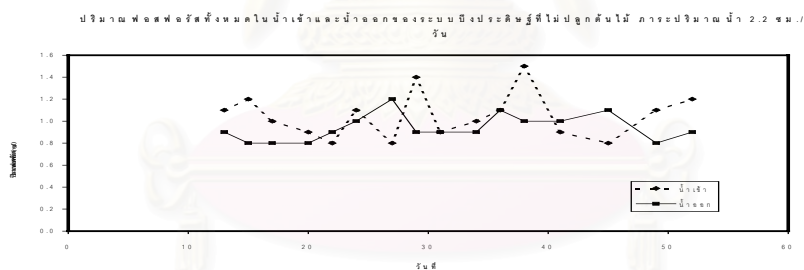
น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งพบว่ามีสีค่อนข้างสูงเฉลี่ยเท่ากับ 74.8, 72.5 และ 72.5 เอสยู สำหรับระบบที่มีภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ตามลำดับ ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านระบบแล้วพบว่ามีค่าสีลดลงเล็กน้อย (ร้อยละ 15 – 17) ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน และประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อภาระปริมาณน้ำลดลง ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 46.1 ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7

4.2.7 โออาร์พี

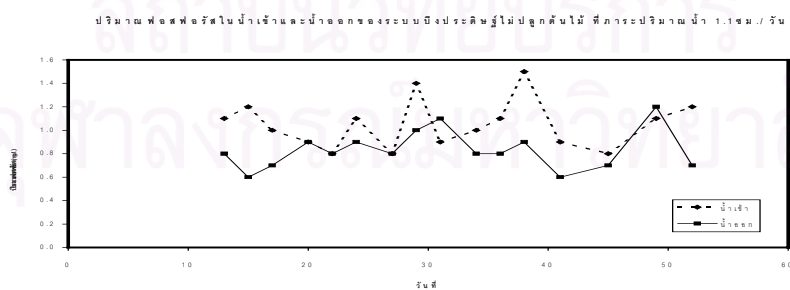
จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน มีค่าโออาร์พีลดลงจาก -43 ถึง -108 มิลลิโวลท์ ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน นั้นในช่วง 34 ชม.แรกจากทางน้ำเข้าโออาร์พีมีค่าอยู่ในช่วง -67 ถึง -112 มิลลิโวลท์ แสดงว่าระบบอยู่ในช่วงแพคัลเททีฟ แต่หลังจาก 34 ชม.ไปแล้วโออาร์พีมีค่าลดลงโดยอยู่ในช่วง -159 ถึง -169 มิลลิโวลท์ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นภาวะแอนแอโรบิก



ก. ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

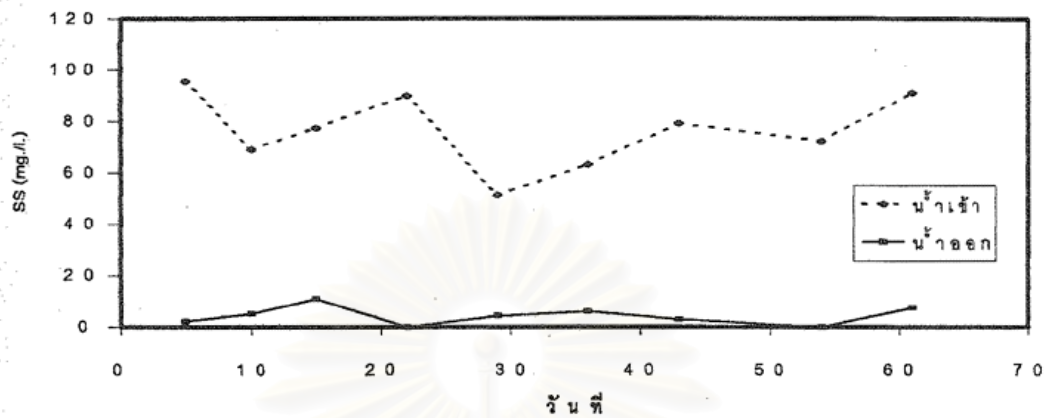


ข. ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

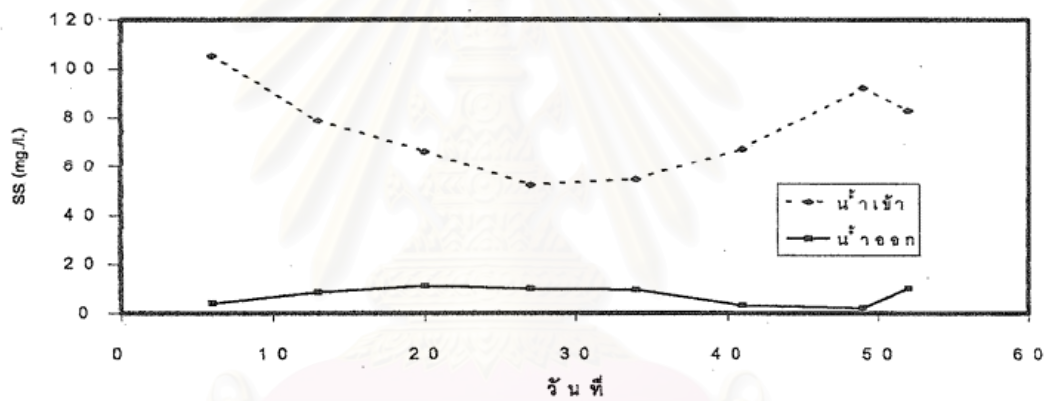


ค. ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

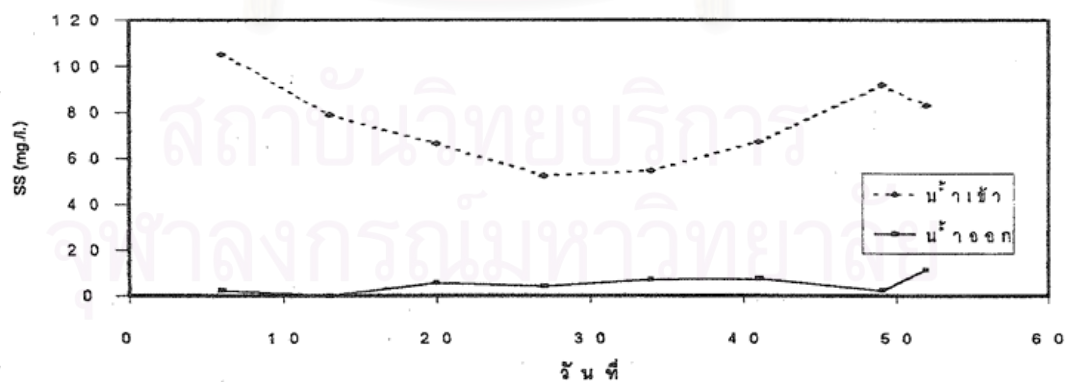
รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ



ก. ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

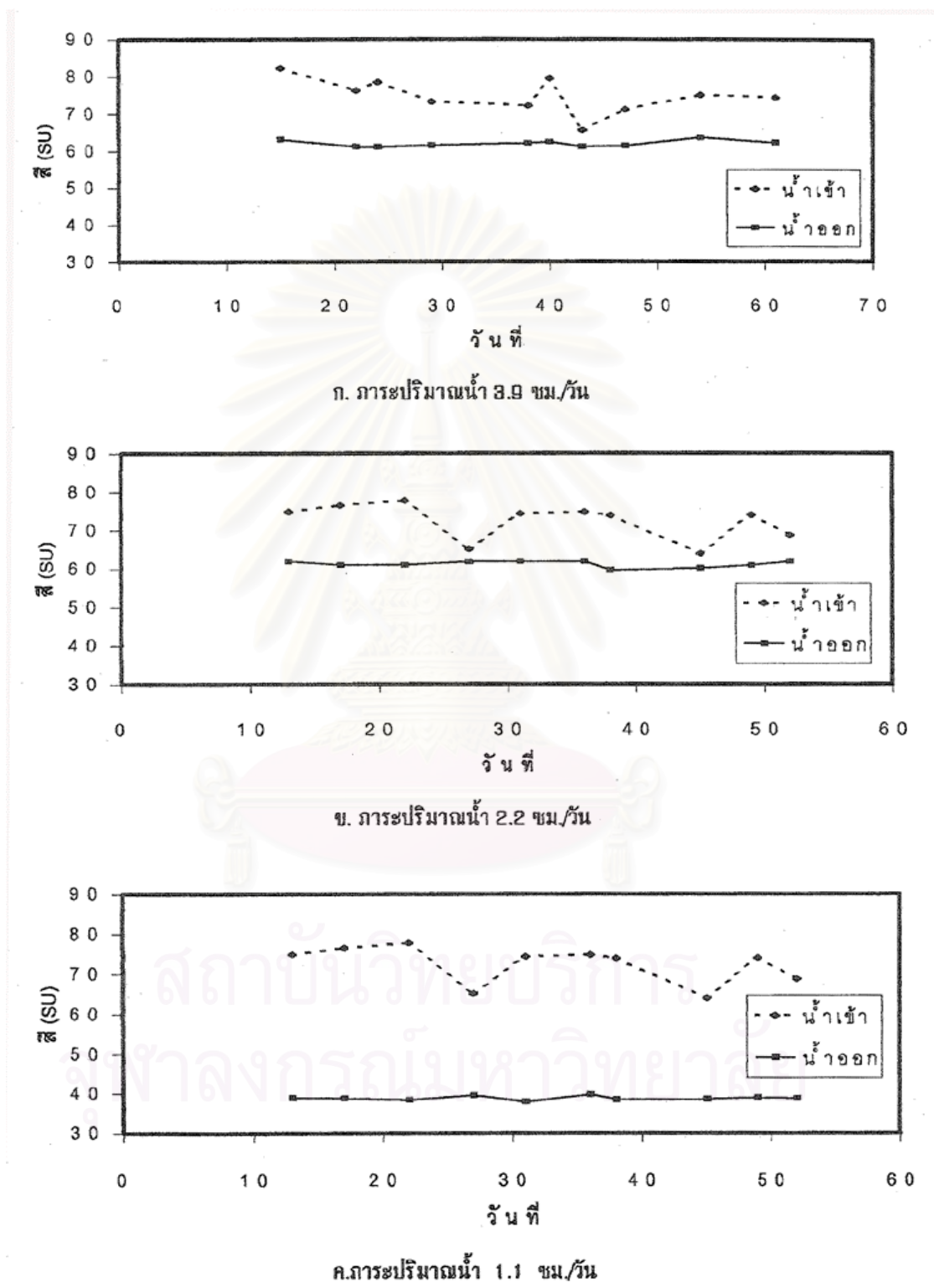


ข. ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

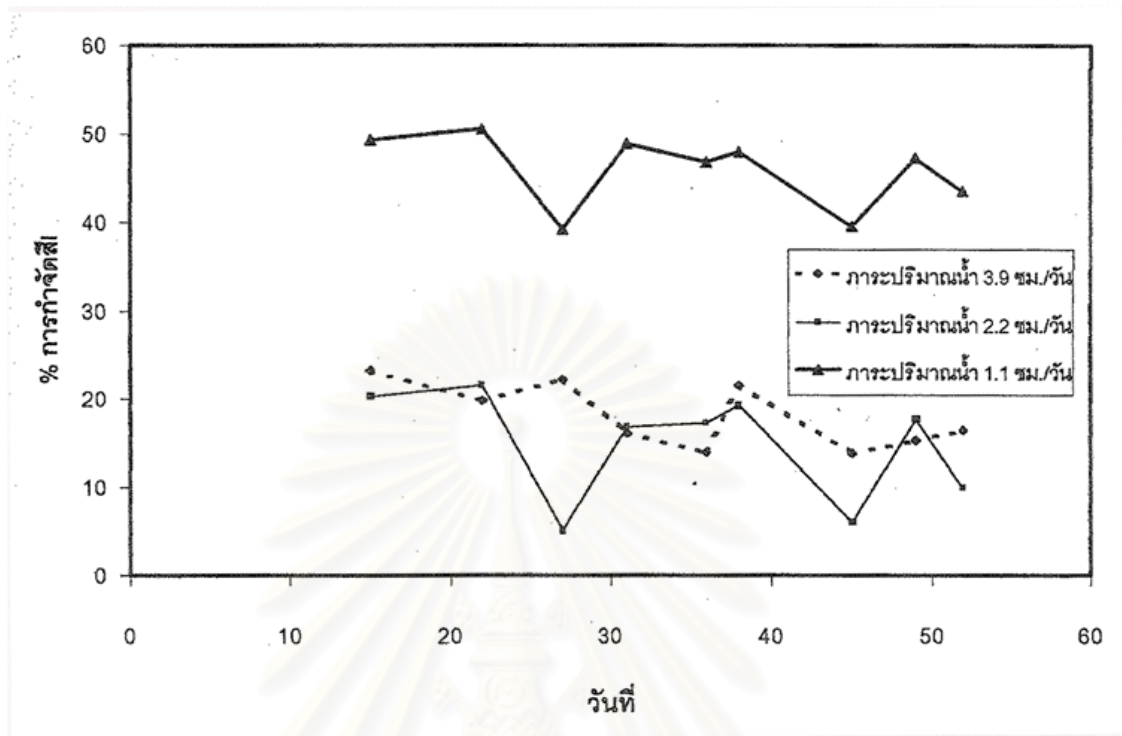


ค. ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

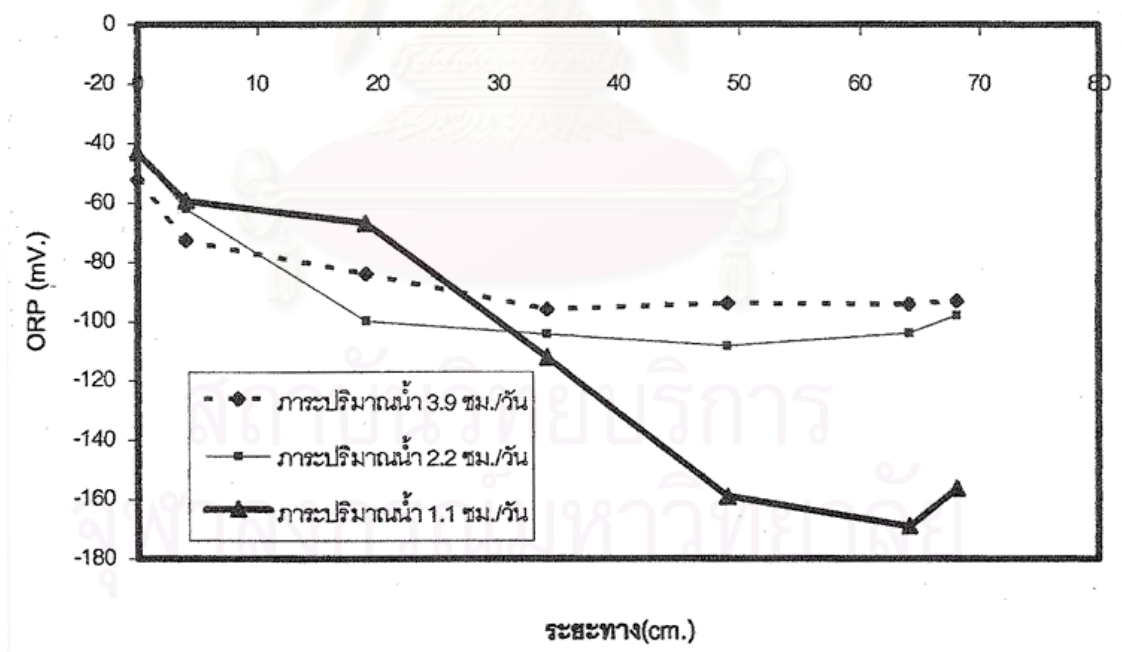
รูปที่ 4.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.6 ปริมาณสี (SU) ในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์
ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่การระปริมาณน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

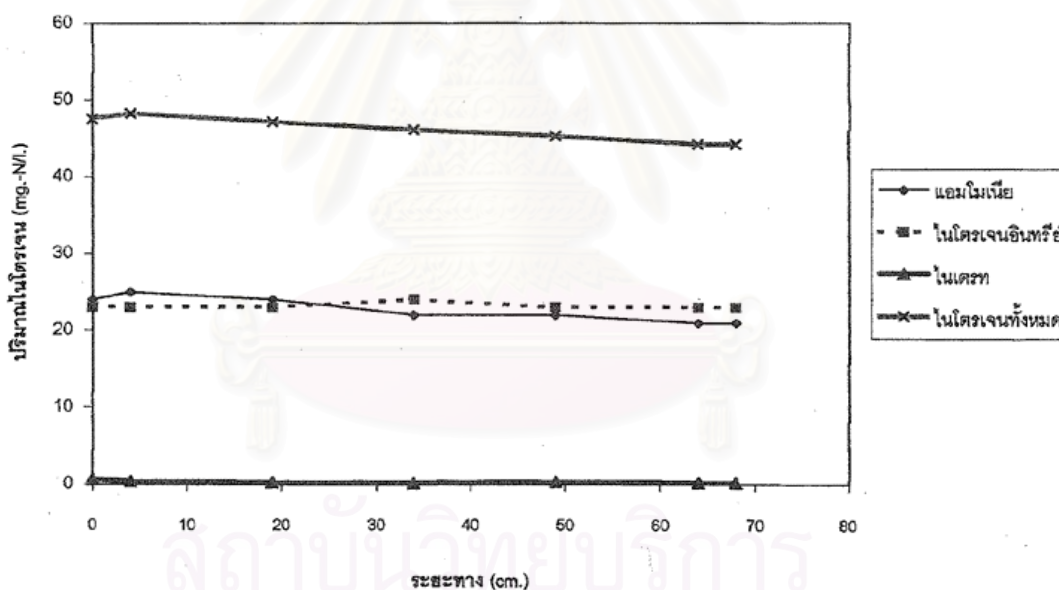


รูปที่ 4.8 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ตามระยะทางในแนวราบ จากทางน้ำเข้า ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

4.2.8 ไนโตรเจน

4.2.8.1 ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจากน้ำเข้า 47.6 มก./ล. ให้เหลือในน้ำทิ้ง 44.2 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนได้เพียง 7% เนื่องจากเวลากักน้ำน้อยเกินไปที่จะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ดังเห็นได้จากปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียที่มีค่าใกล้เคียงกันในน้ำเข้าและน้ำออก การกำจัดไนโตรเจนของระบบเกิดจากการสะสมในตัวกลางทราย



รูปที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

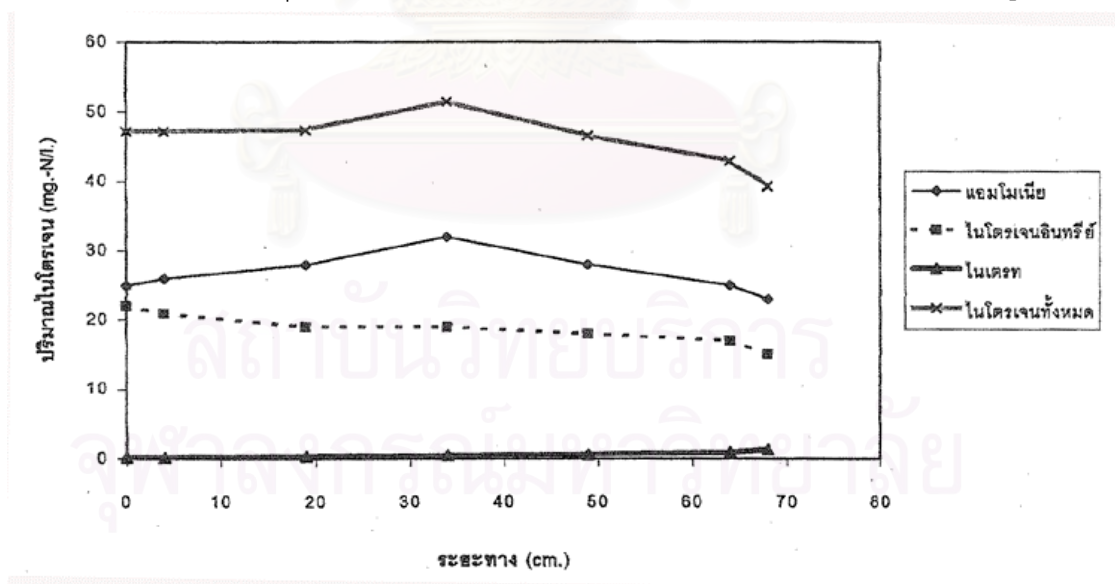
หลังจากป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 61 วันแล้วตรวจวัดและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและออกทั้งหมด รวมทั้งที่สะสมในทรายได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)
น้ำเข้า	20.4
น้ำออก	17.4
สะสมในทราย	3.4

4.2.8.2 ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเข้าที่มีปริมาณ 47.2 มก./ล. ถูกกำจัดให้เหลือเพียง 39.2 มก./ล. ในน้ำทิ้ง คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 16.7% จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าอินทรีย์ไนโตรเจน ลดลงอย่างช้าๆ โดยในช่วง 34 ซม. แรกเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยน



รูปที่ 4.10 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

เป็นแอมโมเนีย สังเกตได้จากแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 25 มก./ล. เป็น 32 มก./ล. โดยอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจาก 22 มก./ล. เป็น 19 มก./ล. และหลังจาก 34 ชม. ไปแล้วแอมโมเนียจะค่อยๆลดลงจนมีค่าเป็น 23 มก./ล. ในน้ำออก ส่วนไนเตรทนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยในช่วง 34 ชม. แรกนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากน้ำเข้า 0.2 มก./ล. เป็น 0.5 มก./ล. หลังจากนั้นแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็น 1.3 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับไออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่มีค่าในช่วง -62 ถึง -108 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นช่วงแฟลคเททีฟจึงเป็นไปได้ว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบ ส่วนการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดนั้นเกิดจากการสะสมในตัวกลางทราย

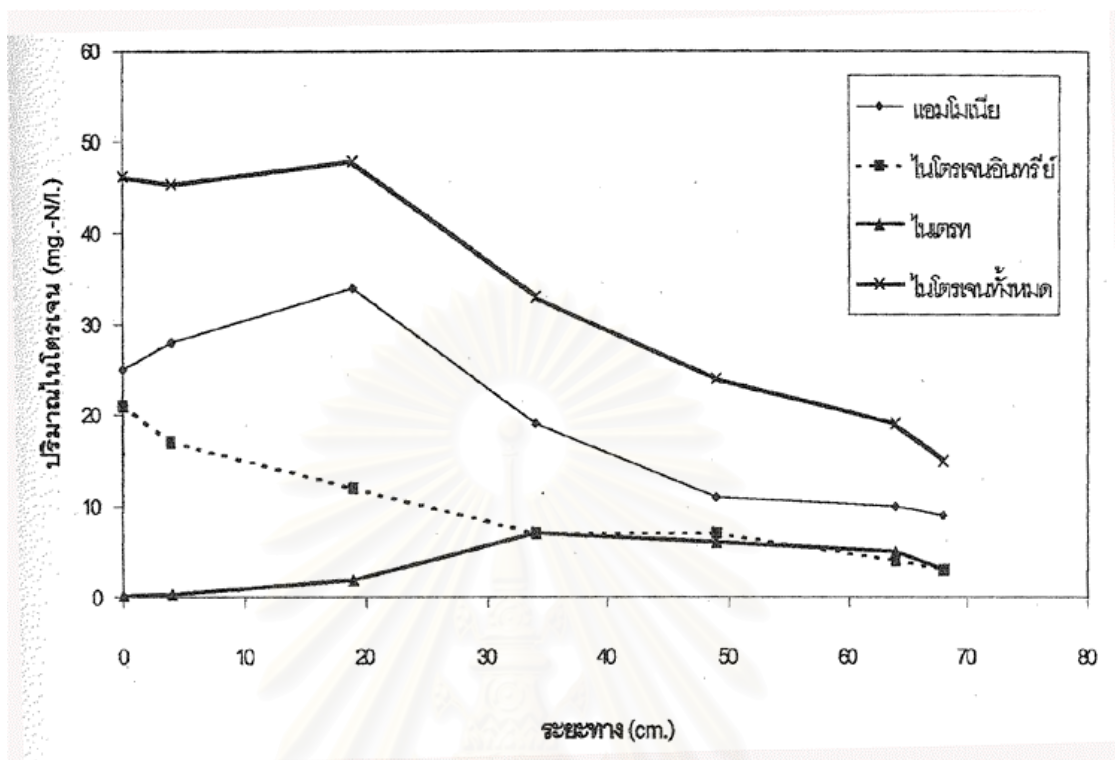
หลังจากบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 52 วันแล้วตรวจวัดและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและออกทั้งหมด รวมทั้งที่สะสมในทรายได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	10.0	100
น้ำออก	7.0	70
สะสมในทราย	2.1	21

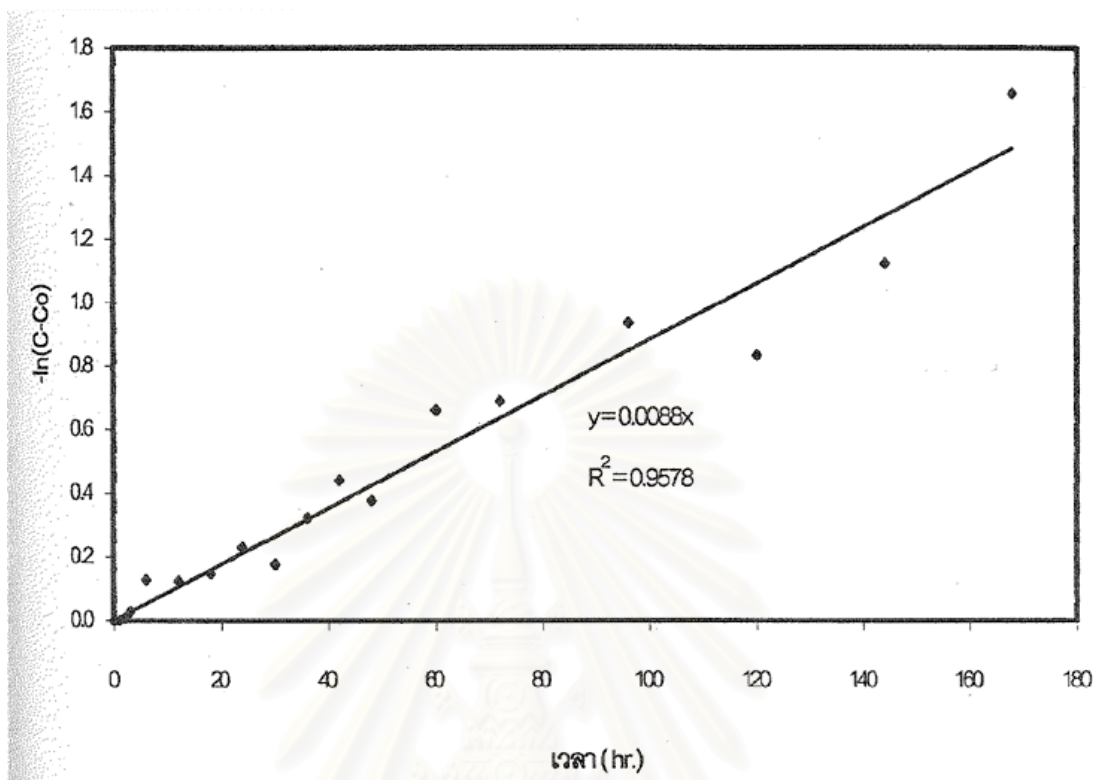
4.2.8.3 ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.11 ที่แสดงให้เห็นว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงถึง 67.5% โดยไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเข้าเฉลี่ย 46.2 มก./ล. ถูกกำจัดจนเหลือเพียง 15.0 มก./ล. จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่าอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงตามระยะทางแนวราบจากทางน้ำเข้าโดยในช่วง 19 ชม. แรกเห็นได้ชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจาก 25 มก./ล. เป็น 34 มก./ล. ขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจาก 21 เป็น 12 มก./ล. และหลังจาก 19 ชม. แรกแล้วแอมโมเนียจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 11 มก./ล. ที่ระยะทาง 49 ชม. และลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าเป็น 9 มก./ล. ในน้ำออก ส่วนไนเตรทนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 34



รูปที่ 4.11 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์
ไม่ปลูกต้นไม้ ที่การระเหยน้ำ 1.1 ซม./วัน

ชม.แรก โดยเพิ่มจากน้ำเข้า 0.2 เป็น 7.0 มก./ล. แล้วค่อยๆลดลงจนมีค่าเป็น 3.0 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับไออาร์พีในระบบซึ่งมีค่า -67 ถึง -112 มิลลิโวลท์ ในช่วง 34 ชม. แรก และหลังจากนั้นมีค่า -159 ถึง -169 มิลลิโวลท์ แสดงว่าในช่วง 34 ชม.แรกนั้นได้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และหลังจากนั้นไนโตรเจนถูกกำจัดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้หลังจากทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 52 วันแล้ว ได้เก็บตัวอย่างทรายมาทดสอบหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเพื่อหาการสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากกระบวนการดังกล่าว (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ปรากฏว่าในช่วงที่กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินอยู่นั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าในกระบวนการดังกล่าวไม่มีการสูญเสียไนโตรเจน ส่วนเมื่อระบบเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยรวมมีค่าลดลงอย่างมีรูปแบบ กล่าวคืออัตราการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับไนเตรท โดยมีค่าคงที่ของปฏิกิริยาเป็น 0.21 วัน^{-1} ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้
ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าที่เคเอ็นที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน
ฉะนั้นการคำนวณหาไนโตรเจนที่สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าว จึงใช้ค่าที่เคเอ็นที่ถูกกำจัดใน
ระบบบึงประดิษฐ์คือ 34 มก./ล. เป็นความเข้มข้นของไนเตรทที่จุดเริ่มต้นของปฏิกิริยา และปฏิกิริยา
ดิไนตริฟิเคชันดำเนินจากระยะทาง 34 ถึง 64 ซม. คิดเป็นเวลา 5 วัน ปรากฏว่าใน 1 วันไนโตรเจน
จะสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน 44.2 มก.

ภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองแล้วได้ตรวจสอบและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้า
และออกทั้งหมด รวมทั้งส่วนที่สะสมในทรายและสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน เพื่อ
การทำสมดุลมวลไนโตรเจนได้ผลดังตารางที่ 4.5

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (1)

$$\begin{aligned}
 \text{INF} &= \text{EFF} + \text{PB} + \text{MD} + \text{NDN} + \text{UNA} \\
 5.0 &= 1.6 + 0 + 1.3 + 1.2 + \text{UNA} \\
 \text{จะได้} \quad \text{UNA} &= 0.9 \quad \text{กรัม}
 \end{aligned}$$

แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สามารถตรวจวัดได้มีค่า 0.9 กรัม คิดเป็น 18% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งคาดว่าอาจเป็นแอมโมเนียที่ระเหยไปจากระบบ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

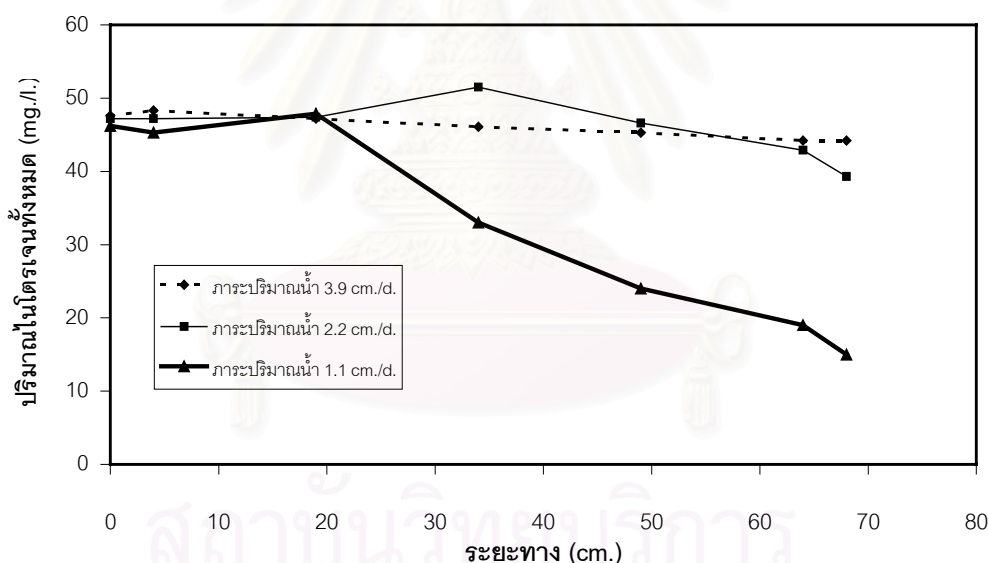
ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	5.0	100
น้ำออก	1.6	32
สะสมในทราย	1.3	26
สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน	1.2	25
ไม่สามารถตรวจวัดได้	0.9	17

4.2.8.4 การกำจัดไนโตรเจนโดยรวม

เมื่อนำผลการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ไม่ปลูกต้นไม้ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ มาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเห็นได้ว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน (คิดเป็นระยะเวลาพักเก็บน้ำ 3 และ 5 วันตามลำดับ) ระบบกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ไม่ดีเท่ากับที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน (เวลาพักเก็บน้ำ 10 วัน) ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 67.5 ทั้งนี้ไนโตรเจนที่สูญเสียออกจากระบบเกิดจากระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการดำเนินการกระบวนการ กล่าวคือในขั้นแรกไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจากรูปที่ 4.10 เห็นได้ว่าที่ระยะทาง 34 ซม. ไนเตรตจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียลดลง ที่ระยะทางดังกล่าวคิดเป็นระยะเวลาที่น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบแล้วประมาณ 2-3 วัน และจากรูปที่ 4.11 เห็นได้ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเริ่มเกิดขึ้นที่ระยะทาง 19 ซม. คิดเป็นระยะเวลาที่น้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่ระบบแล้วประมาณ 3 วัน จึง

กล่าวได้ว่าปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ไม่ปลูกต้นไม้เกิดขึ้นหลังจากที่น้ำเสียถูกปั๊มและผ่านอยู่ในระบบเป็นเวลา 3 วัน

หลังจากนั้นไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนสูญออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนโตรฟิเคชัน ทั้งนี้สังเกตได้จากรูปที่ 4.13 ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงเล็กน้อยหลังจากระยะทาง 34 ซม. และที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงหลังจากระยะทาง 19 ซม. อย่างไรก็ตามที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน สังเกตเห็นการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเพียงเล็กน้อย เพราะอาจเป็นจากระยะเวลาเก็บกักน้ำน้อยเกินไปที่จะเกิดปฏิกิริยาดีไนโตรฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ ฉะนั้นแม้เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ไม่ปลูกต้นไม้ แต่หากมีเวลากักเก็บน้ำไม่น้อยกว่า 10 วัน ก็จะสามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอบ

จากการทดลองป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่บรรจุตัวกลางทราย และปลูกต้นเหียงอกปลาหมอบ ที่เวลากักน้ำ 3, 5 และ 10 วัน หรือคิดเป็นภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 พีเอช

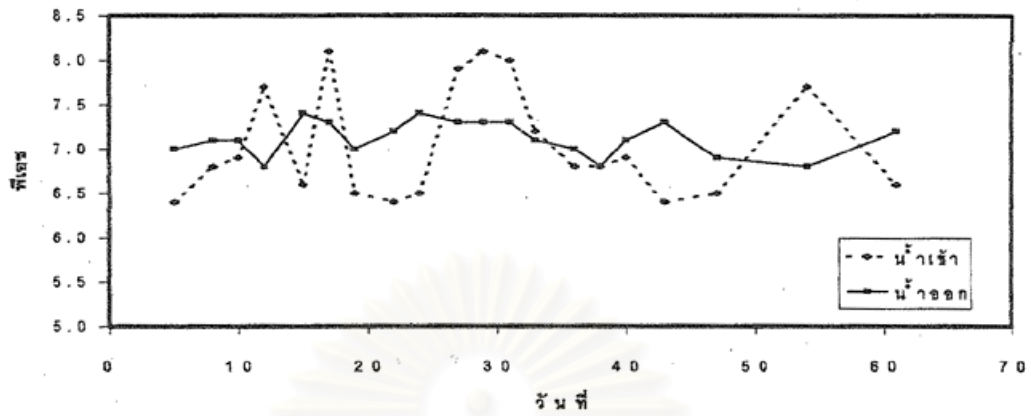
จากการวัดค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบตลอดการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.14 ซึ่งน้ำเข้าจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.4 - 8.5 และเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพีเอชจะมีค่าเข้าใกล้ 7 เป็นอย่างมาก จึงกล่าวได้ว่าแม้เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอสามารถปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางได้

4.3.2 การระเหยของน้ำออกจากระบบ

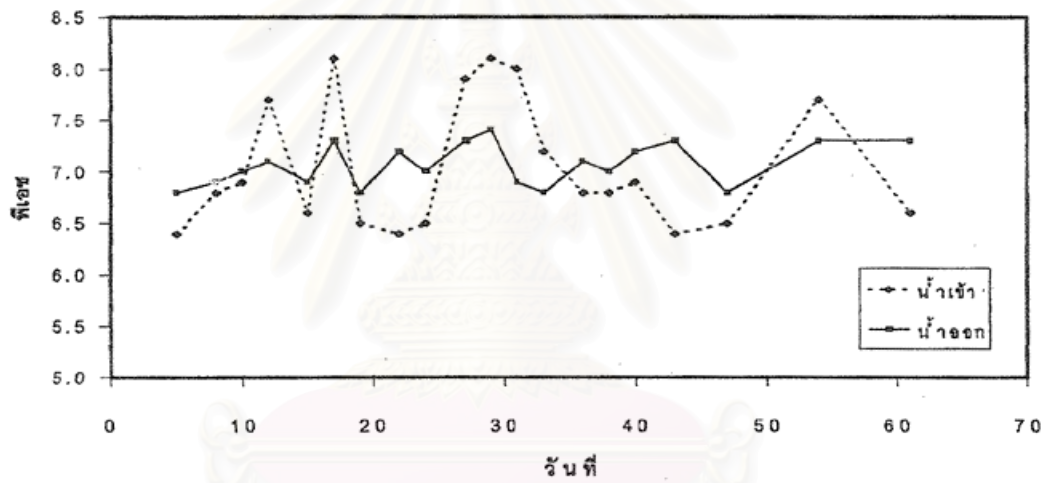
จากการเปรียบเทียบอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบกับอัตราการระเหยน้ำทิ้ง พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงปลาหมออัตราการระเหยของน้ำออกจากระบบเป็น 0.2 - 0.5 ลิตร/วัน (ดูภาคผนวก ง.)

4.3.3 ซีโอดี

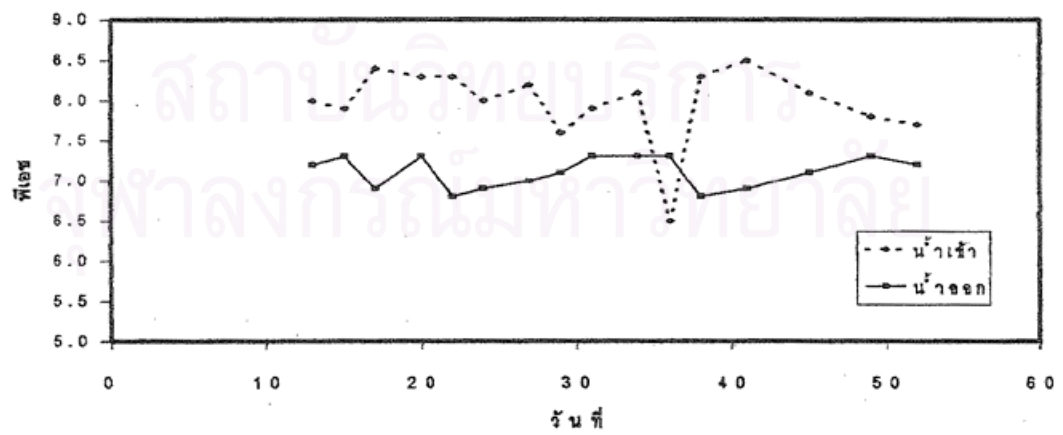
จากการทดลองโดยป้อนน้ำเสียที่ความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 500 มก./ล พบว่าในทุกภาวะปริมาณน้ำ ระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อ 24 วันหลังจากเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้สังเกตได้จากปริมาณซีโอดีในน้ำออกจากระบบที่มีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 โดยที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ซีโอดีในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยเป็น 307, 259 และ 207 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อระบบคงตัวแล้วพบว่าเมื่อเวลากักน้ำเพิ่มขึ้นอัตราการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 39.2, 48.7 และ 59.0% ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกับระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ดังรูปที่ 4.16 โดยการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของระบบ และการกำจัดซีโอดีจะลดลงหลังจากระยะทาง 30 เซนติเมตร จากทางน้ำเข้า เนื่องจากในช่วง 30 เซนติเมตรแรกซีโอดีที่ย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นไปแล้วจะเหลือแต่ซีโอดีที่ย่อยสลายได้ยาก



ก. ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

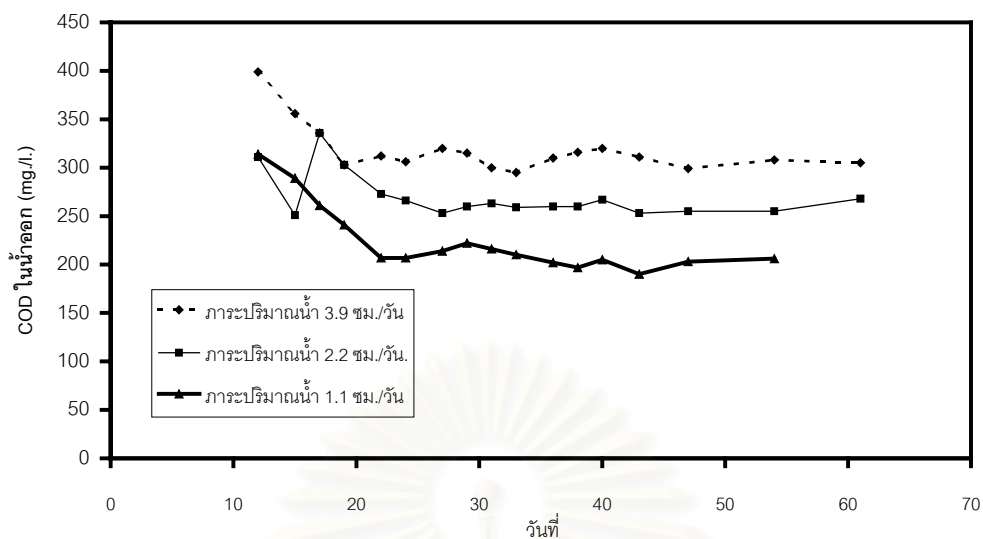


ข. ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

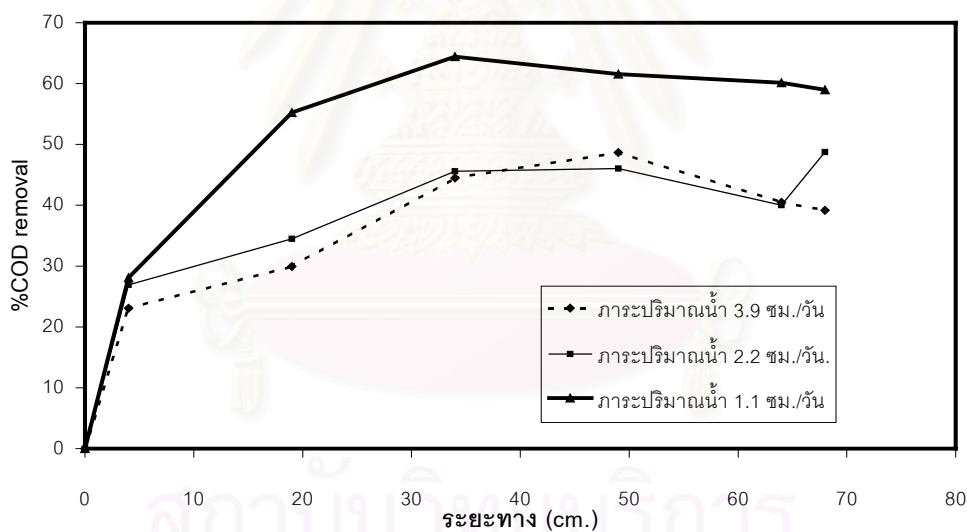


ค. ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

รูปที่ 4.14 ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.15 ปริมาณซีโอดีในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มป้อนน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ ปลุกต้นเหงือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีโอดีเฉลี่ย 500 มก./ล.

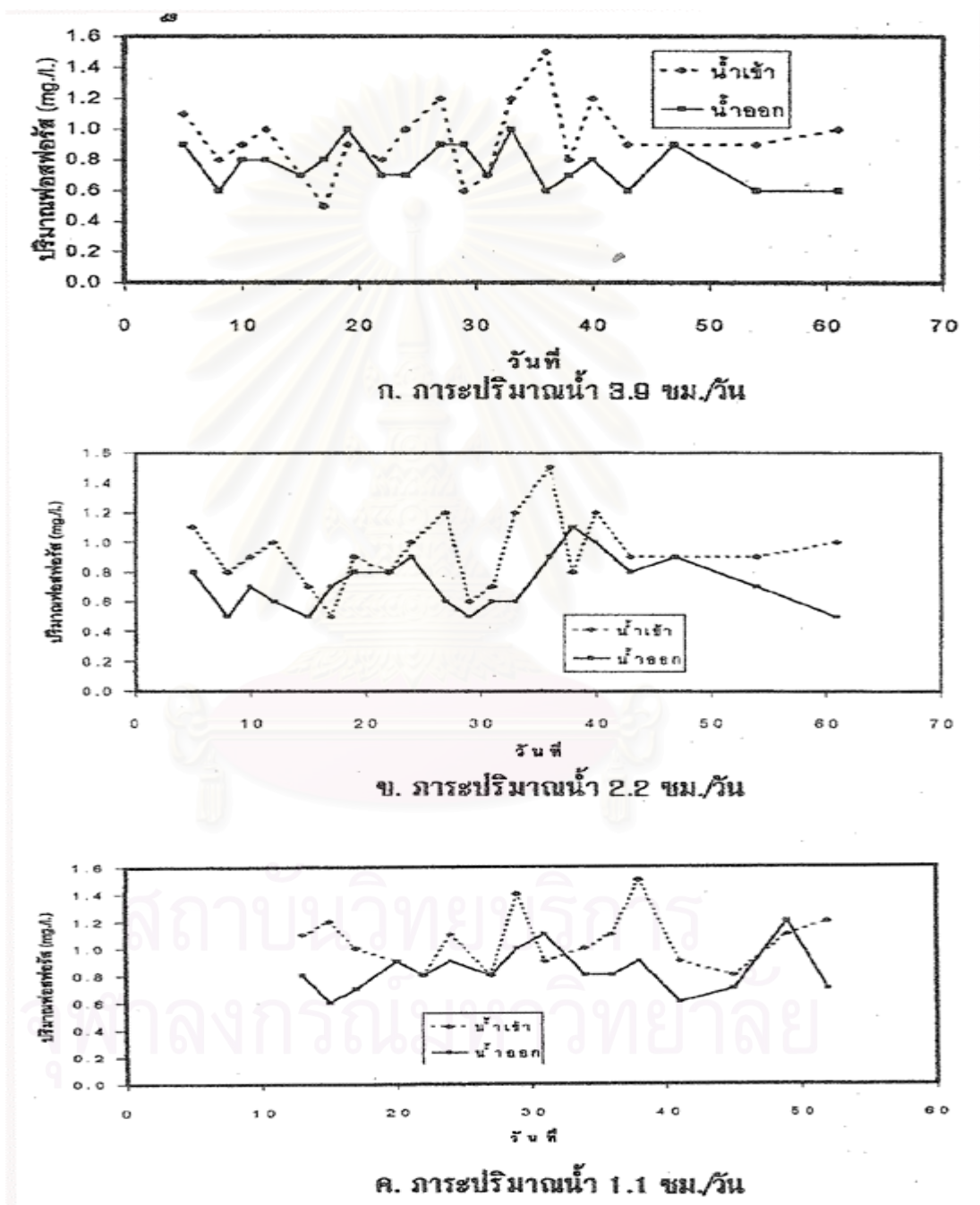


รูปที่ 4.16 อัตราการกำจัดซีโอดีตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าในระบบบึงประดิษฐ์ ปลุกต้นเหงือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว

4.3.4 ฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4.17 เห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่ปลุกต้นไม้ ดังเช่นที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้ามีประมาณ 0.9 มก./ล. แต่ในน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.8 มก./ล. แสดงว่าระบบมีความสามารถในการกำจัด

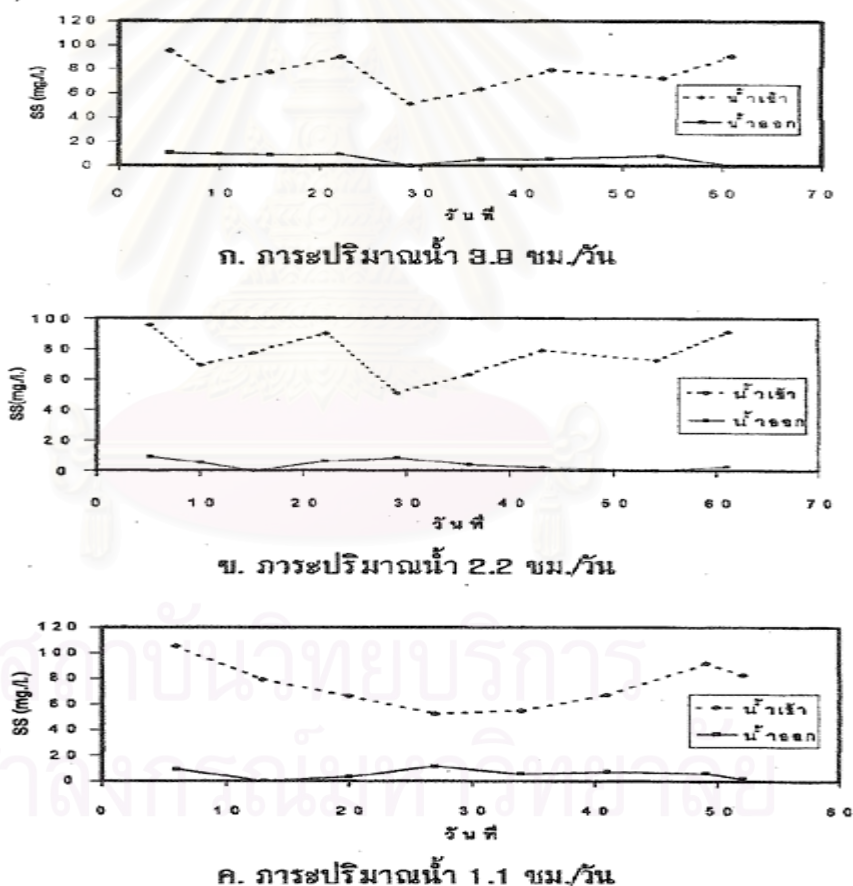
ฟอสฟอรัสได้ 11.1% ส่วนที่การระปริมาณน้ำ 2.2 และ 1.1 ซม./วัน สามารถกำจัดได้ 18.5 และ 20.8% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าต้นเหียงอกปลาหมอไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์



รูปที่ 4.17 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ ที่การระปริมาณน้ำต่างๆ

4.3.5 ของแข็งแขวนลอย

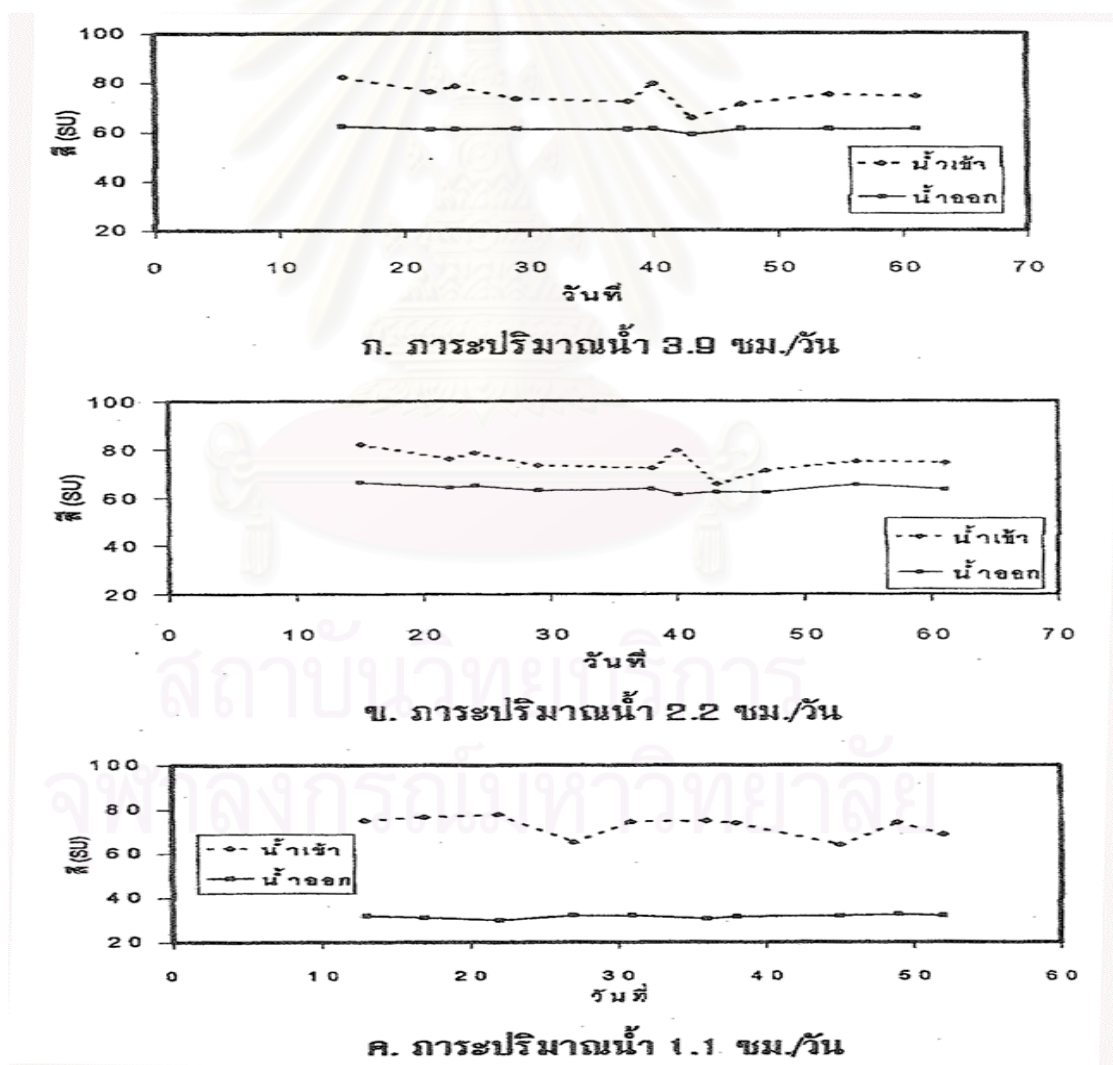
จากรูปที่ 4.18 พบว่าในทุกภาวะปริมาณน้ำ น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีของแข็งแขวนลอยประมาณ 63 – 95 มก./ล. แต่น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบึงประดิษฐ์มีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 11.4 มก./ล. แสดงว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยสูง เฉลี่ยเท่ากับ 89, 93 และ 91% ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ซม./วัน ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกับระบบที่ปลูกต้นไม้ ดังนั้นต้นเหียงอกปลาหมอจึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบึงประดิษฐ์



รูปที่ 4.18 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในกระแสเข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

4.3.6 สี

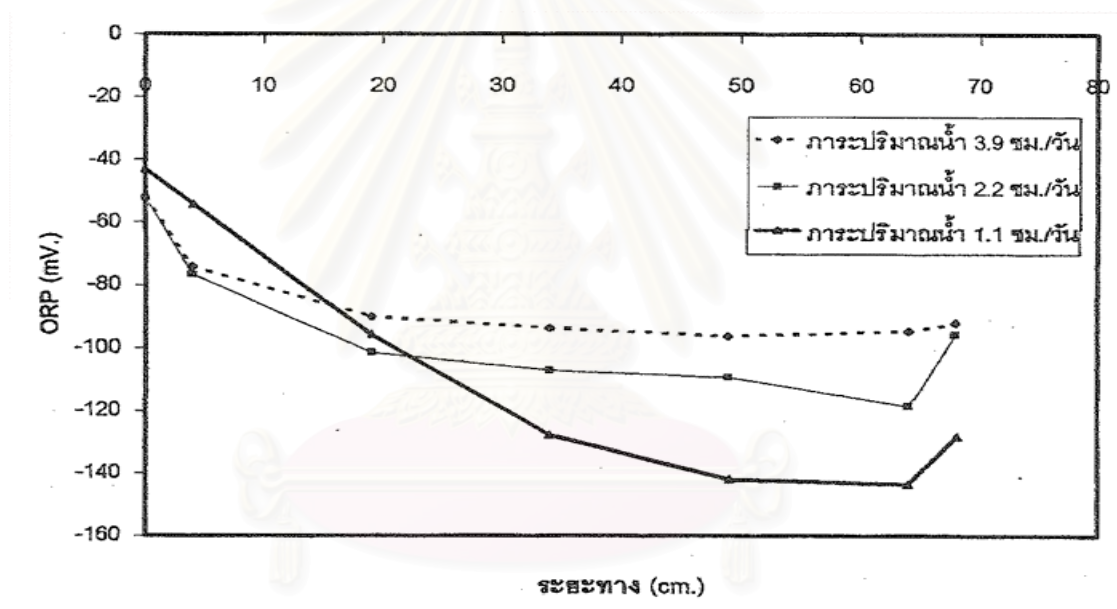
จากรูปที่ 4.19 น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอมีสีประมาณ 73 SU พบว่าระบบสามารถกำจัดสีได้เล็กน้อย ที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน สามารถกำจัดสีได้เพียง 18.3 และ 14.7% ตามลำดับ ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน นั้นระบบสามารถกำจัดสีได้สูงถึง 56.2% โดยน้ำออกวัดสีได้เฉลี่ยเท่ากับ 31.6 SU เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ปลูกพืชพบว่าระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอมีประสิทธิภาพการกำจัดสีได้ดีกว่า



รูปที่ 4.19 สี (SU) ของน้ำเข้าและน้ำทิ้งในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

4.3.7 โออาร์พี

จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน มีค่าโออาร์พีลดลง -43 ถึง -120 มิลลิโวลท์ แสดงว่าระบบอยู่ในภาวะแพคัลเททีฟ ส่วนภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วันนั้นน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่าโออาร์พีเฉลี่ยประมาณ 43 มิลลิโวลท์ หลังจากป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบแล้วโออาร์พีลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทาง จนมีค่าต่ำสุดที่ระยะ 68 เซนติเมตร โดยมีค่าเป็น -144 มิลลิโวลท์ และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น -128 มิลลิโวลท์ในน้ำออก แสดงว่าระบบอยู่ในภาวะแพคัลเททีฟเช่นกัน



รูปที่ 4.20 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

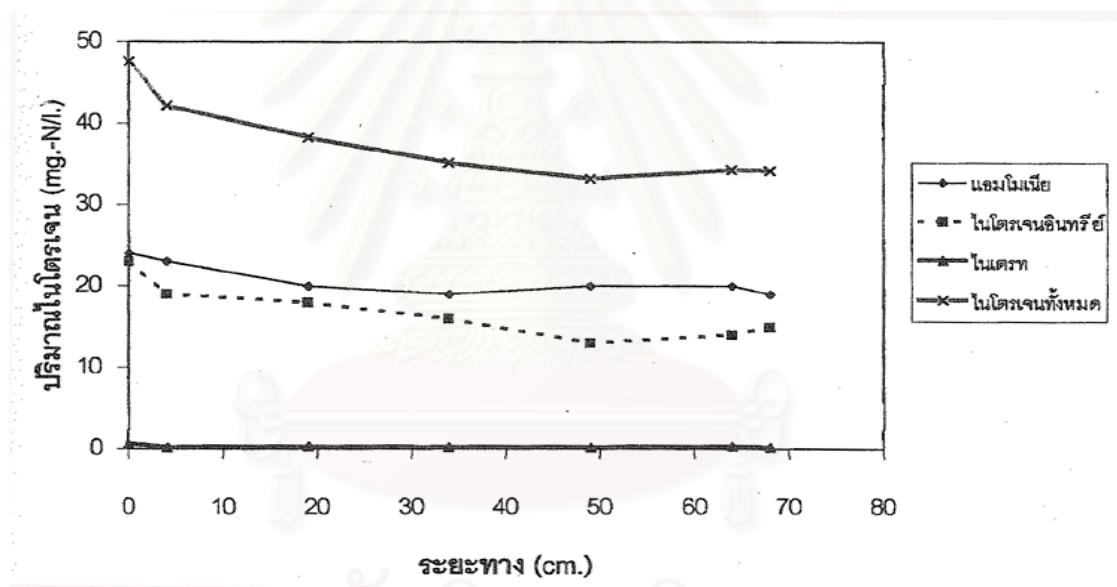
4.3.8 ไนโตรเจน

4.3.8.1 ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 47.6

มก./ล. ให้เหลือในน้ำทิ้ง 34.2 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 28.0% โดยที่ในน้ำเข้ามีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเฉลี่ย 24 มก./ล. อินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 23 มก./ล. และไนเตรทประมาณ 0.6 มก./ล. ส่วนในน้ำออกพบแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน และไนเตรท เฉลี่ยประมาณ 19, 15 และ 0.2 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพกำจัดที่เคเอ็น 28.0%

หลังจากบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 61 วันแล้วตรวจวัดและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและน้ำออก รวมทั้งที่สะสมในทรายและพืช ได้ผลดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดไนโตรเจนส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมในตัวกลางทราย โดยคิดเป็น 16.7% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 4.21 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงปลาหมอ ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

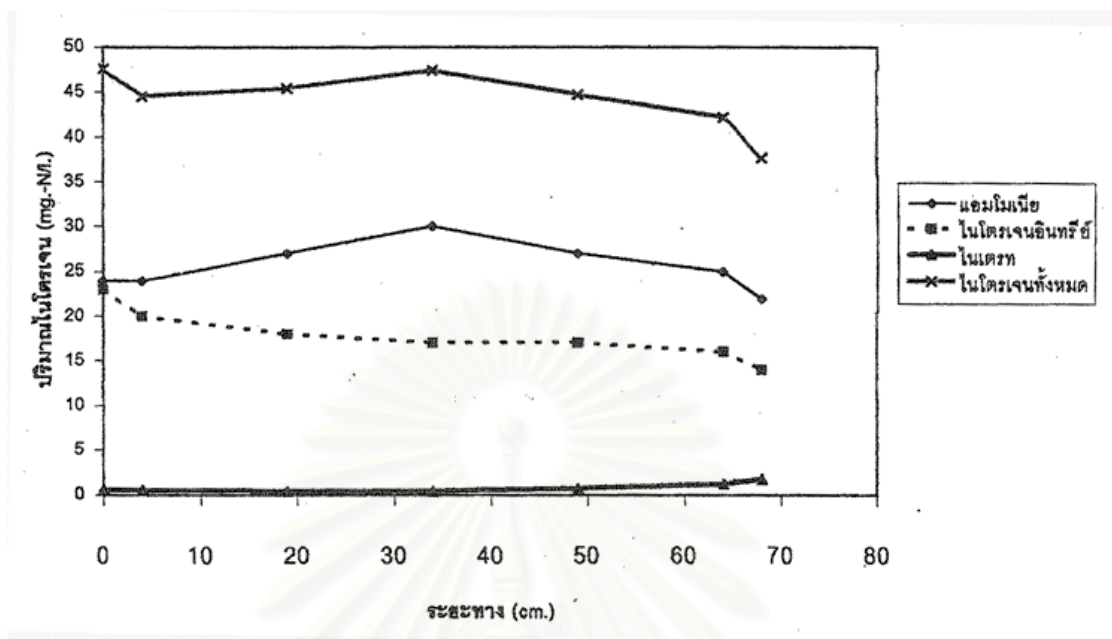
ตารางที่ 4.6 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ
ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	20.4	100
น้ำออก	13.2	65
สะสมในทราย	3.4	17
สะสมในต้นเหียงอกปลาหมอ	0.2	1

4.3.8.2 ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย 47.6 มก./ล. ถูกกำจัดให้เหลือเฉลี่ย 37.7 มก./ล. ในน้ำทิ้ง คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 20.8% จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่า อินทรีย์ไนโตรเจนลดลงอย่างช้าๆ โดยในช่วง 34 ซม. แรกเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย สังเกตได้จากแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 24 มก./ล. เป็น 30 มก./ล. โดยอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 23 มก./ล. เป็น 17 มก./ล. และหลังจาก 34 ซม. ไปแล้วแอมโมเนียจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าเป็น 22 มก./ล. โดยเฉลี่ยในน้ำออก ส่วนไนเตรทในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย 0.6 มก./ล. นั้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนมีค่าเป็น 1.7 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับไออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่มีค่าในช่วง -43 ถึง -120 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงแพคัลเททที่จึงเป็นไปได้ว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบ ส่วนการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดนั้นเกิดจากการสะสมในตุ๊กกลางทราย

หลังจากบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 61 วันแล้วตรวจวัดและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและออกทั้งหมด รวมทั้งที่สะสมในทรายได้ผลดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.22 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอ ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอ ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	11.6	100
น้ำออก	8.1	70
สะสมในทราย	2.5	22
สะสมในต้นเหงือกปลาหมอ	0.2	2

4.3.8.3 ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงต้นเหงือกปลาหมอที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.23 ที่แสดงให้เห็นว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงถึง 71.0% โดยไนโตรเจนทั้งหมดที่มีค่าเฉลี่ยในน้ำเข้า 46.2 มก./ล. ถูกกำจัดจนเหลือเพียง

13.4 มก./ล. โดยเฉลี่ยในน้ำออก จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่าไนโตรเจนอินทรีย์ลดลงตามระยะทาง แนวราบจากทางน้ำเข้าโดยในช่วง 19 ซม. แรกเห็นได้ชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็น แอมโมเนีย เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 25 มก./ล. เป็น 35 มก./ล. ขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจาก 21 เป็น 11 มก./ล. และหลังจาก 19 ซม. แรกแล้วแอมโมเนียจะ ลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 11 มก./ล. ที่ระยะทาง 49 ซม. และลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าเป็น 7 มก./ล. ในน้ำออก ส่วนไนเตรทนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 34 ซม. แรก โดยเพิ่มจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 0.2 เป็น 19.1 มก./ล. แล้วค่อยๆลดลงจนมีค่าเป็น 2.4 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับ ไออาร์พีในระบบซึ่งมีค่าประมาณ -43 ถึง -144 มิลลิโวลท์ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดี ไนตริฟิเคชัน ซึ่งไนโตรเจนถูกกำจัดออกจากระบบด้วยปฏิกิริยาดังกล่าว ทั้งนี้หลังจากทำการโดย บ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 52 วันแล้ว ได้เก็บตัวอย่างทรายมาทดสอบหาอัตราการเกิด ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเพื่อหาการสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากกระบวนการดังกล่าว (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.) ปรากฏว่าในช่วงที่กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินอยู่นั้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าในกระบวนการดังกล่าวไม่มีการสูญเสีย ไนโตรเจน ส่วนเมื่อระบบเกิดปฏิกิริยาดีไนตริ ฟิเคชัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยรวมมีค่าลดลง อย่างเป็นรูปแบบ กล่าวคือ อัตราการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับ ไนเตรท โดยมีค่าคงที่ของปฏิกิริยาเป็น 0.18 วัน^{-1} ดังรูปที่ 4.24

ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าที่เคเอ็นที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ฉะนั้นการคำนวณหาไนโตรเจนที่สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าว จึงใช้ค่าที่เคเอ็นที่ถูกกำจัดใน ระบบบึงประดิษฐ์ 35 มก./ล. เป็นความเข้มข้นของไนเตรทที่จุดเริ่มต้นของปฏิกิริยา และปฏิกิริยาดี ไนตริฟิเคชันดำเนินจากระยะทาง 34 ถึง 64 ซม. คิดเป็นเวลา 5 วัน ปรากฏว่าใน 1 วันไนโตรเจนจะ สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริ ฟิเคชัน 41.6 มก.

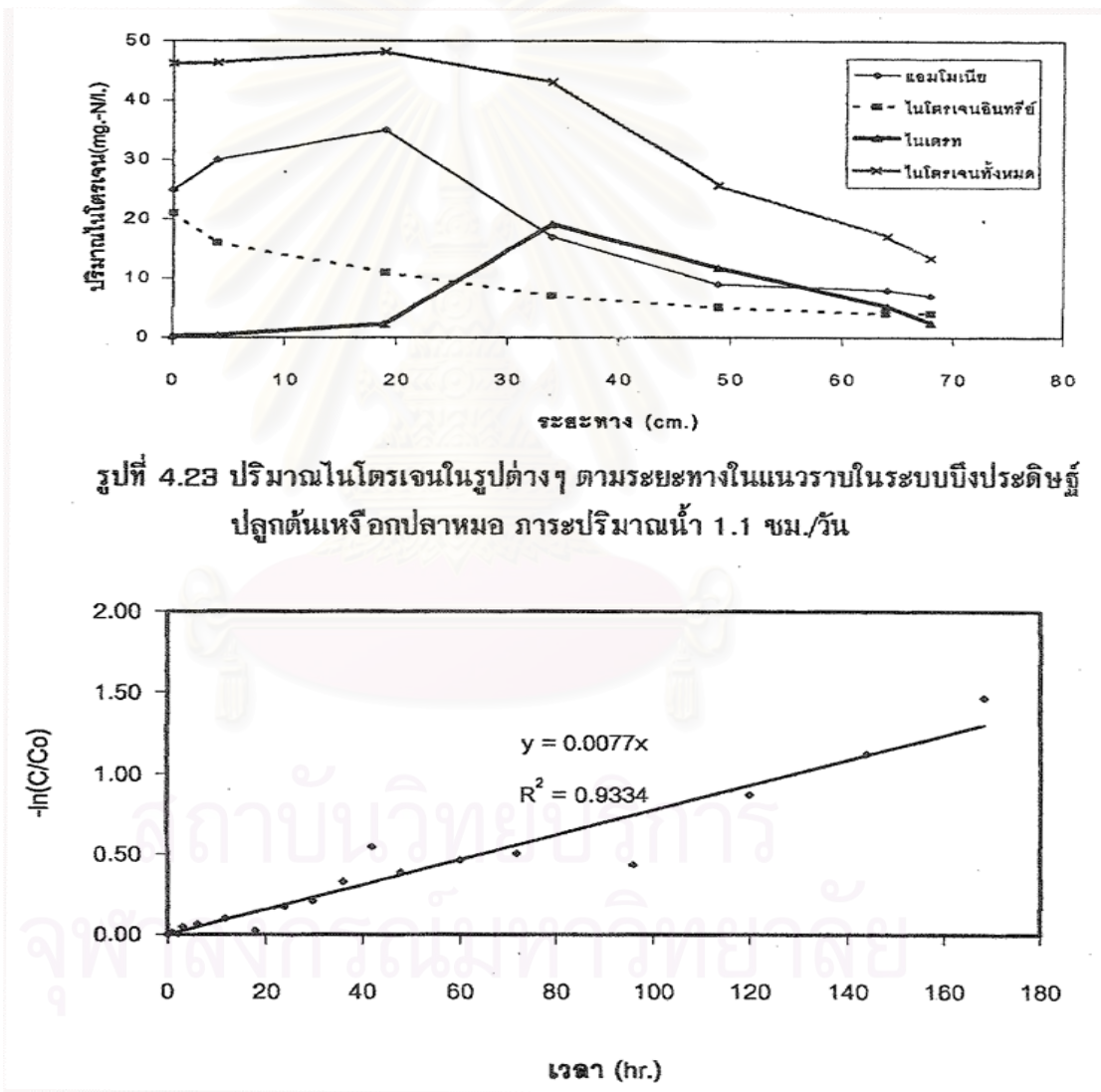
ภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองแล้วได้ตรวจสอบและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้า และออกทั้งหมด รวมทั้งส่วนที่สะสมในทรายและสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพื่อ การทำสมดุลมวลไนโตรเจนได้ผลดังตารางที่ 4.8

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (1)

$$\begin{aligned} \text{INF} &= \text{EFF} + \text{PB} + \text{MD} + \text{NDN} + \text{UNA} \\ 4.9 &= 1.0 + 0 + 1.4 + 1.2 + \text{UNA} \end{aligned}$$

จะได้ UNA = 1.3 กรัม

แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สามารถตรวจวัดได้มีค่า 1.3 กรัม คิดเป็น 26% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งไนโตรเจนที่หายไปนี้คาดว่าอาจเกิดจากการระเหยของแอมโมเนีย เนื่องจากพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่าค่อนข้างเป็นด่าง (พีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 8.0)



รูปที่ 4.23 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลงเหียงอกปลาหมอ ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

รูปที่ 4.24 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดินทรีย์ในบึงประดิษฐ์ปลูกลงเหียงอกปลาหมอ ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

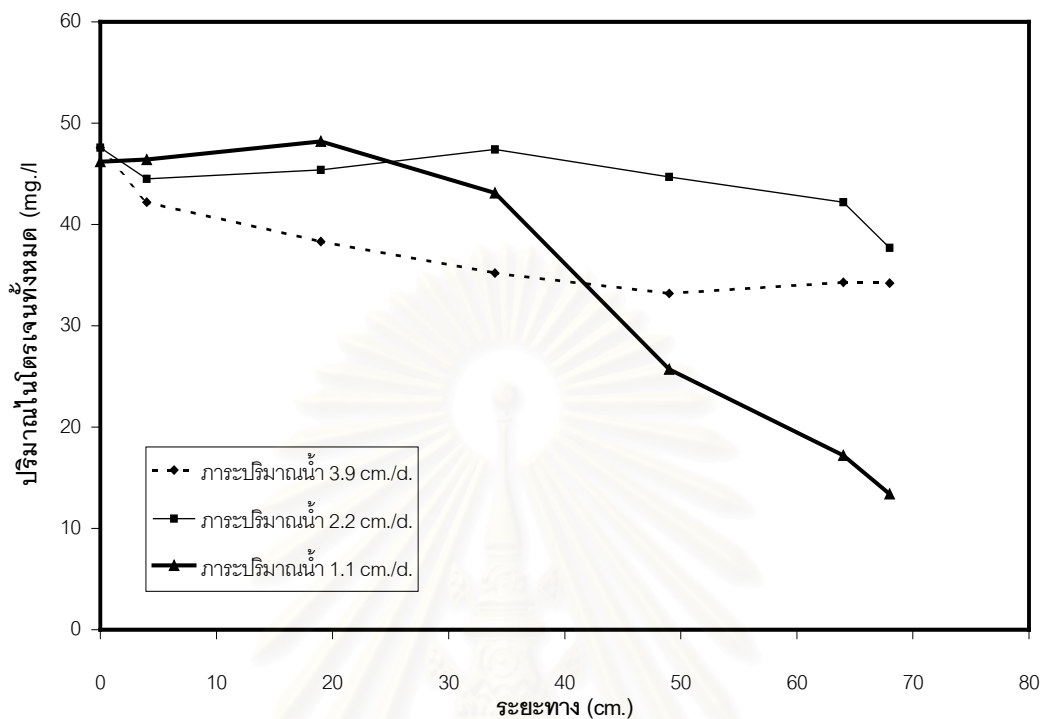
ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอค
ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	4.9	100
น้ำออก	1.0	20
สะสมในทราย	1.4	28
สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน	1.2	24
สะสมในพืช	N/D	0

4.3.8.4 การกำจัดไนโตรเจนโดยรวม

เมื่อนำผลการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอคตามระยะในแนวราบจากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ มาสร้างกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.25 เห็นได้ว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน (คิดเป็นระยะเวลาเก็บน้ำ 3 และ 5 วันตามลำดับ) สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 28.0 และ 20.8 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีเท่ากับที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน (เวลากักเก็บน้ำ 10 วัน) ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 71.0 จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน ไนโตรเจนทั้งหมดลดลงในช่วงต้นของระบบ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.21 เห็นได้ว่าในช่วง 4 ซม. แรกนั้นไนโตรเจนอินทรีย์มีค่าลดลงเช่นกัน ฉะนั้นการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดที่สังเกตได้อาจเกิดจากการตกตะกอนของไนโตรเจนอินทรีย์ในช่วงต้นของระบบ

เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเช่นเดียวกับในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้อจากรูปที่ 4.22 พบว่าไนเตรทในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอค ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นที่ระยะทาง 34 ซม. และจากรูปที่ 4.23 สังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของไนเตรทในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอคที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ได้ที่ระยะทาง 19 ซม. จึงกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอคเกิดขึ้นหลังจากที่น้ำเสียถูกปั๊มและผ่านอยู่ในระบบเป็นเวลา 3 วัน และหากต้องการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำชะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอคแล้ว ควรดำเนินระบบที่ภาระปริมาณน้ำไม่เกิน 1.1 ซม./วัน เพื่อให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



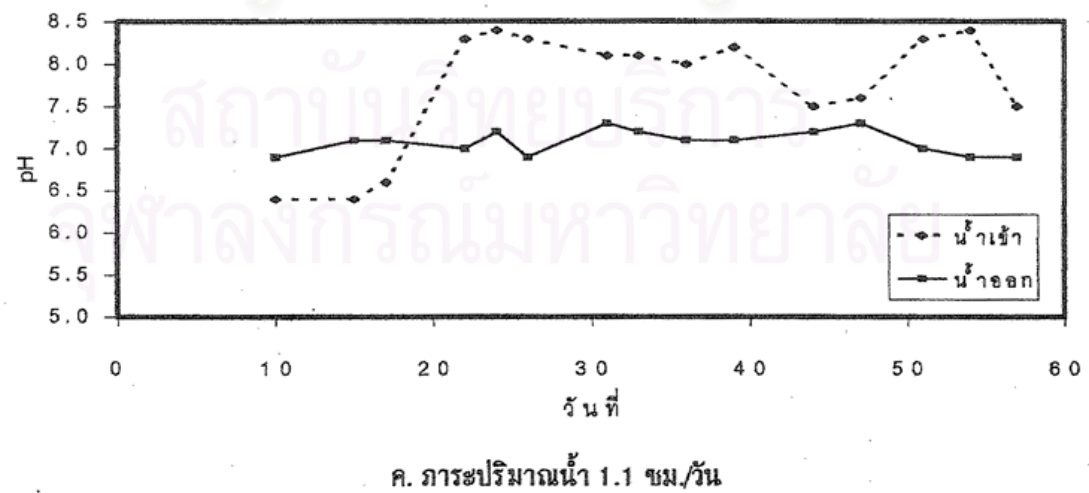
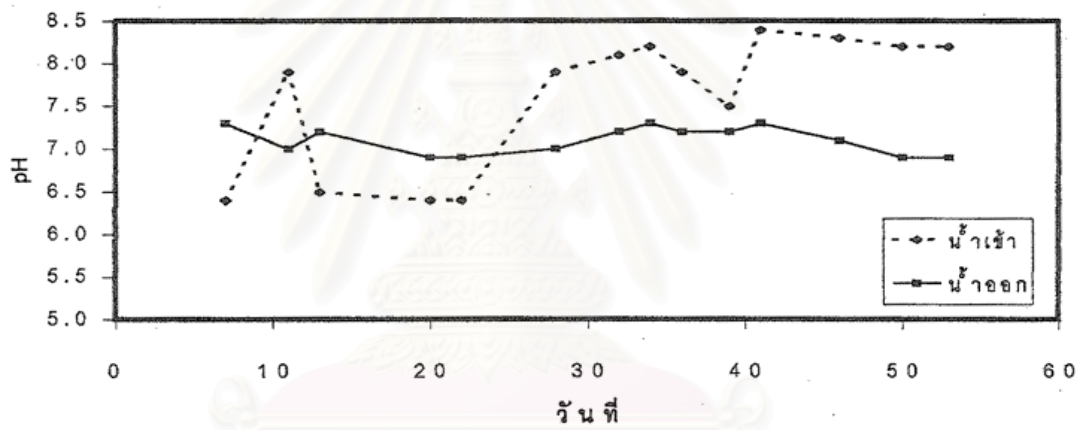
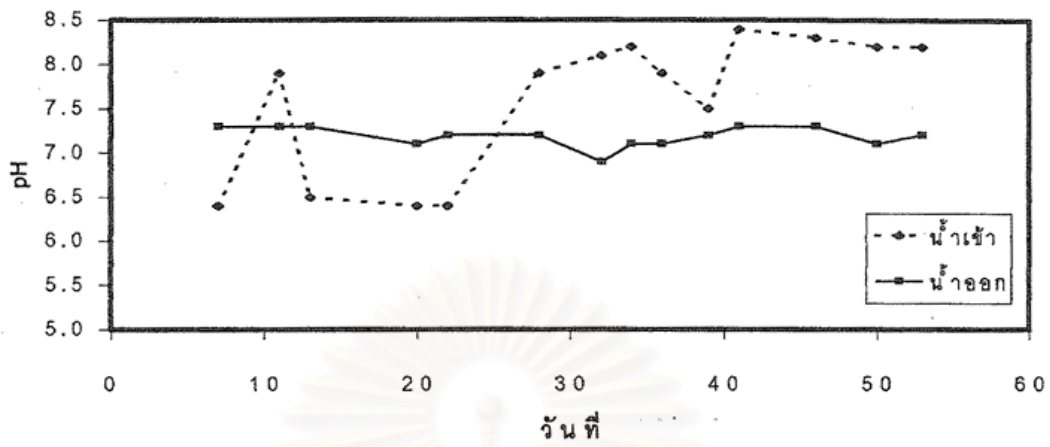
รูปที่ 4.25 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอที่การะปริมาณน้ำต่างๆ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี

จากการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์ที่บรรจุตัวกลางทราย และปลูกต้นธูปฤาษี ที่การะปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1. ซม./วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 พีเอช

จากการวัดค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบตลอดการทดลองได้ผลดังรูปที่ 4.26 ซึ่งน้ำเข้าจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6.4 - 8.4 และเมื่อน้ำเสียผ่านระบบบึงประดิษฐ์แล้วพีเอชจะมีค่าเข้าใกล้ 7 เป็นอย่างมาก จึงกล่าวได้ว่าแม้เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษีสามารถปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เป็นกลางได้



รูปที่ 4.26 ค่าพีเอชในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นตูปลา ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

4.4.2 การระเหยของน้ำออกจากระบบ

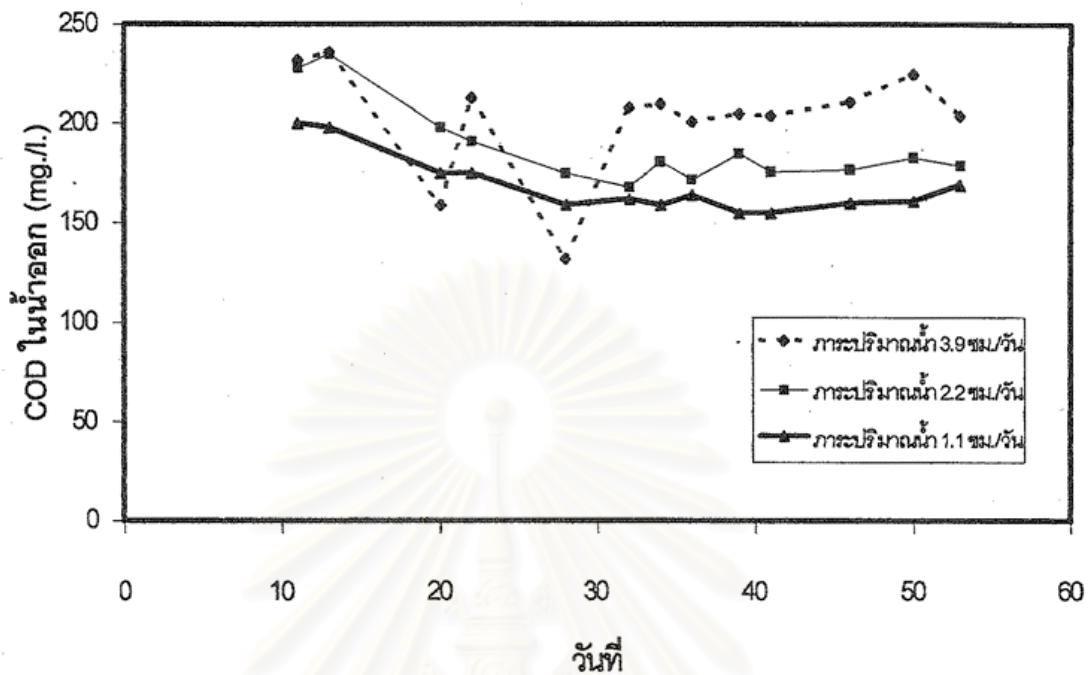
จากการเปรียบเทียบอัตราการบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบกับอัตราการระเหยน้ำทิ้ง พบว่าระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นเหียงอกปลาหม่อมมีอัตราการระเหยของน้ำออกจากระบบเป็น 0.4 – 0.7 ลิตร/วัน (ดูภาคผนวก ง.)

4.4.3 ซีโอดี

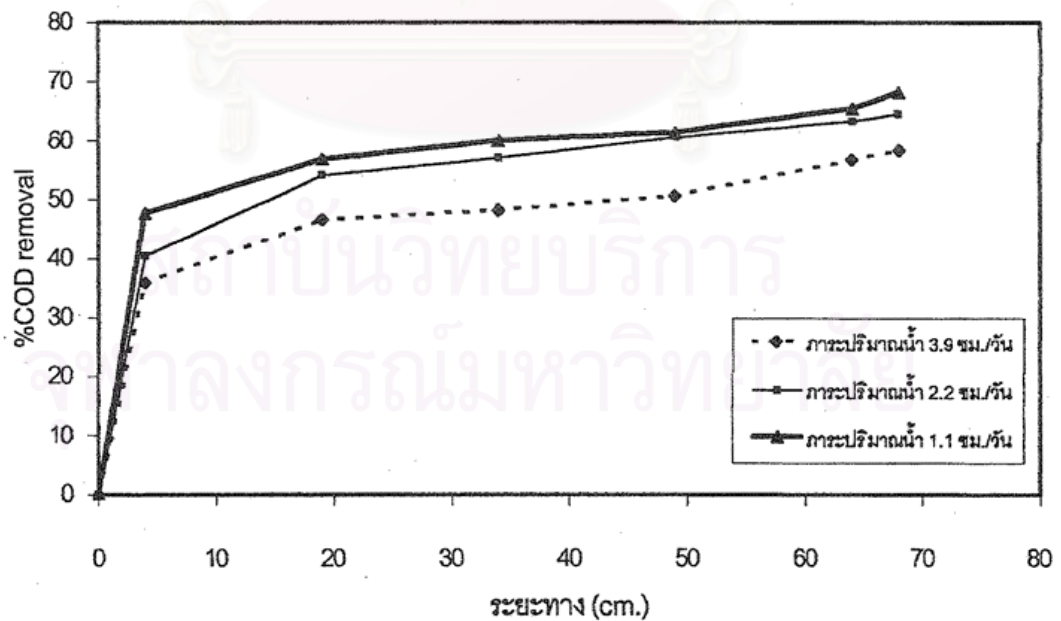
จากการทดลองโดยบ่อน้ำเสียที่ความเข้มข้นซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 500 มก./ล พบว่าในทุกระยะปริมาณน้ำระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัวประมาณ 30 วันหลังจากเริ่มบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้สังเกตได้จากปริมาณซีโอดีในน้ำออกจากระบบที่มีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 โดยที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ชม./วัน ซีโอดีในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ยเป็น 209, 177 และ 160 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อระบบคงตัวแล้วพบว่าเมื่อภาระปริมาณน้ำลดลงอัตราการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้น คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 58.5, 64.6 และ 68.2% ที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9, 2.2 และ 1.1 ชม./วัน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.28 โดยการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของระบบ และการกำจัดซีโอดีจะลดลงหลังจากระยะทาง 10 เซนติเมตร จากทางน้ำเข้า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกับระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหม่อมและระบบที่ไม่ปลูกพืช พบว่าระบบที่ปลูกต้นอัญชี่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าเฉลี่ยร้อยละ 18.1 และ 14.8 ตามลำดับ แสดงว่าต้นอัญชี่มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย

4.4.4 ฟอสฟอรัส

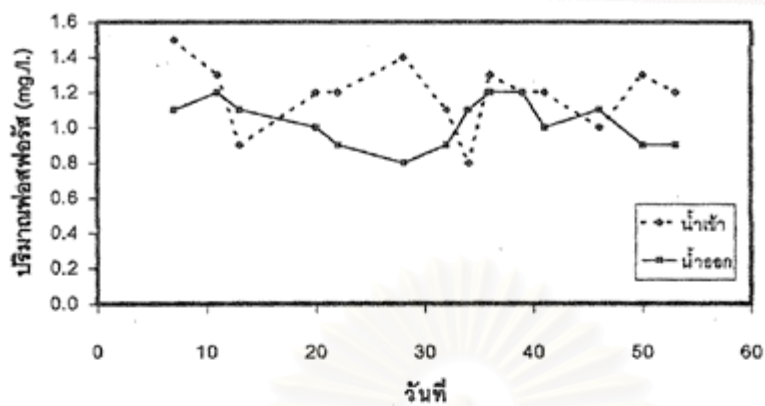
จากรูปที่ 4.29 เห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณน้อยกว่าในน้ำเสียที่บ่อน้ำระบบเพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้อะ และระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหม่อม ดังเช่นที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้ามีประมาณ 1.2 มก./ล. แต่ในน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัส 1.0 มก./ล. แสดงว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 16.6 ส่วนที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 และ 1.1 ชม./วัน สามารถกำจัดได้ร้อยละ 19.7 และ 27.2 ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ว่าพืชในระบบไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำชะมูลฝอย การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์จึงเกิดจากแบคทีเรียในตุ่มกลางทรายนำฟอสฟอรัสไปใช้สร้างเซลล์ใหม่



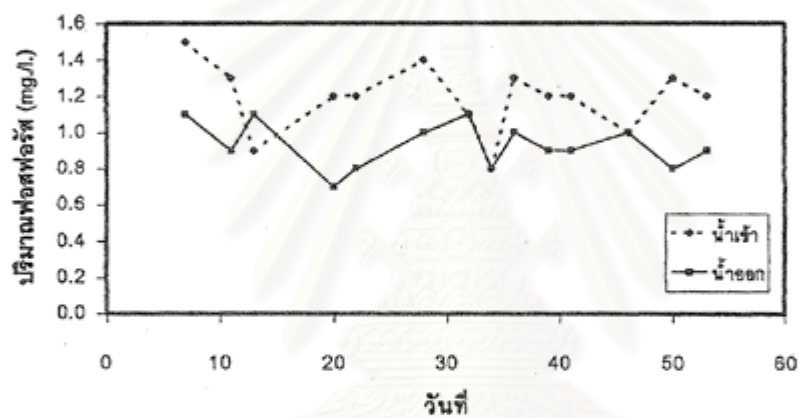
รูปที่ 4.27 ปริมาณซีโอดีในน้ำออกกับเวลาหลังจากเริ่มป้อนน้ำเสีย ในบึงประดิษฐ์ ปลูกลงเหวหรือปลาทอม ที่การระปริมาณน้ำต่างๆ โดยน้ำเข้ามีซีโอดีเฉลี่ย 500 มก./ล.



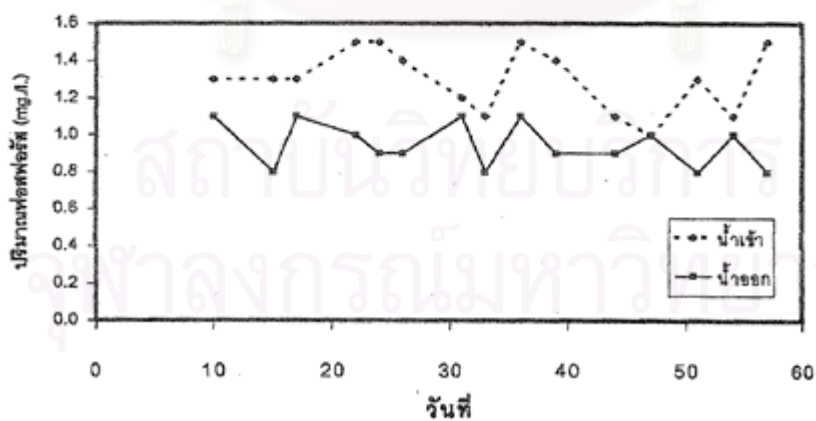
รูปที่ 4.28 อัตราการกำจัดซีโอดีตามระยะทางในแนวนอนจากทางน้ำเข้า ในระบบบึงประดิษฐ์ ปลูกลงเหวหรือปลาทอม ที่การระปริมาณน้ำต่างๆ เมื่อระบบคงตัวแล้ว



ก. ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน



ข. ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน



ค. ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

รูปที่ 4.29 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและออกของระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นทุปฤชา
ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ

4.4.5 ของแข็งแขวนลอย

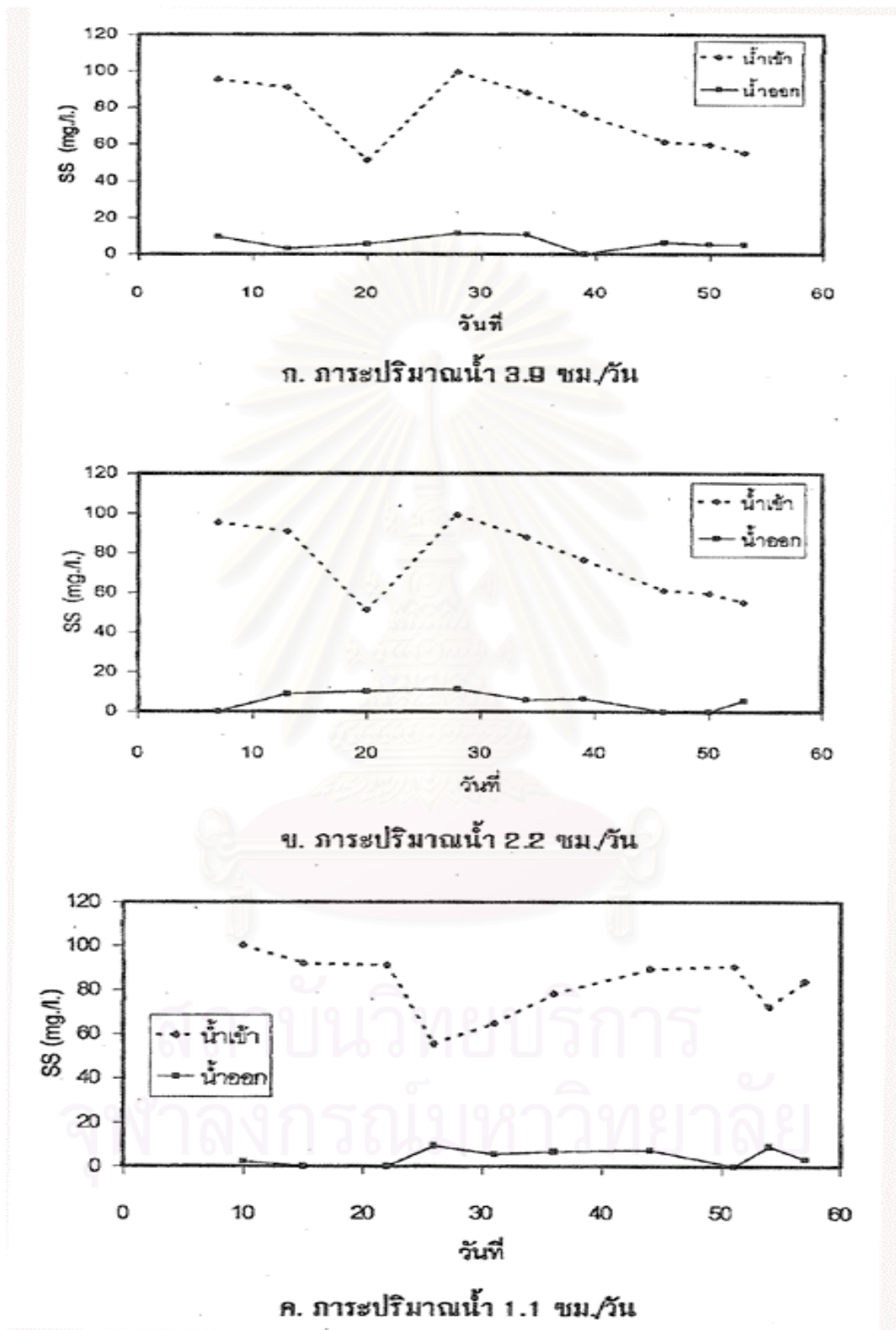
จากรูปที่ 4.30 เห็นได้ว่าทุกภาวะปริมาณน้ำ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่า 11.4 มก./ล. โดยที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ชม./วัน มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าเฉลี่ยเท่ากันคือ 75.3 มก./ล. ส่วนในน้ำออกมีค่าเฉลี่ยเป็น 7.0 และ 8.1 มก./ล. ตามลำดับ ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าเป็น 81.9 และ 6.3 มก./ล. ตามลำดับ

4.4.6 สี

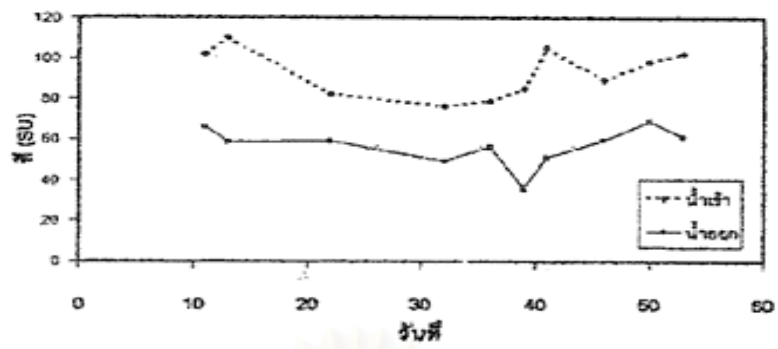
จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีมีความสามารถในการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยได้ โดยที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ชม./วัน น้ำเข้ามีสีเฉลี่ย 93.0 SU และน้ำออกมีสีเฉลี่ย 56.7 และ 54.7 SU ตามลำดับ ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ในน้ำเข้าและออก มีสีเฉลี่ย 80.6 และ 27.9 SU ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดสีที่สูงถึง 65.2% ดังแสดงในรูปที่ 4.32

4.4.7 ไออาร์พี

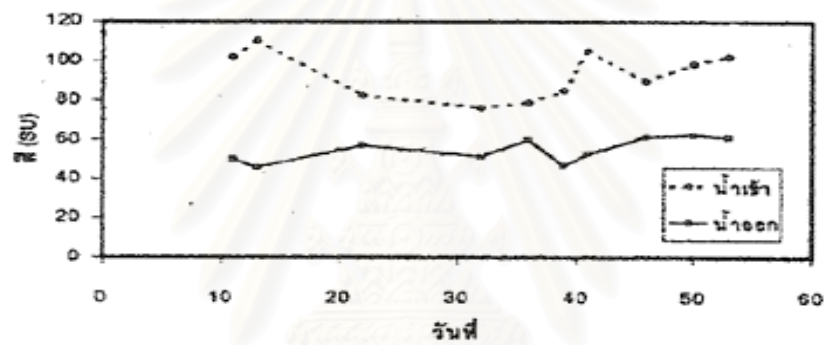
จากรูปที่ 4.33 เห็นได้ว่าที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน ไออาร์พีมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทาง จากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย -52 มิลลิโวลท์ เป็น -130 มิลลิโวลท์ในน้ำออก ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 และ 1.1 ชม./วัน ไออาร์พีก็มีแนวโน้มที่ลดลงในลักษณะเดียวกัน โดยที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน ไออาร์พี มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 34 เซนติเมตรแรก โดยลดลงจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย -52 มิลลิโวลท์เป็น -128 มิลลิโวลท์ ต่อจากนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าเฉลี่ยเป็น -145 มิลลิโวลท์ ที่ระยะ 64 เซนติเมตร ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ไออาร์พีในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย -49 มิลลิโวลท์ และลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าเฉลี่ยเป็น -144 มิลลิโวลท์ที่ระยะ 34 เซนติเมตร และมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีค่าเฉลี่ยเป็น -139 มิลลิโวลท์ ในน้ำออก



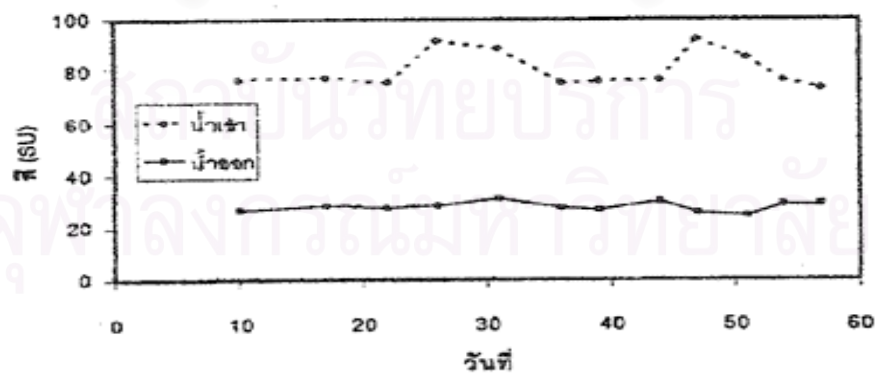
รูปที่ 4.30 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าและน้ำออกของระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษี ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ



ก. การระปรมาณน้ำ 9.9 ซม./วัน

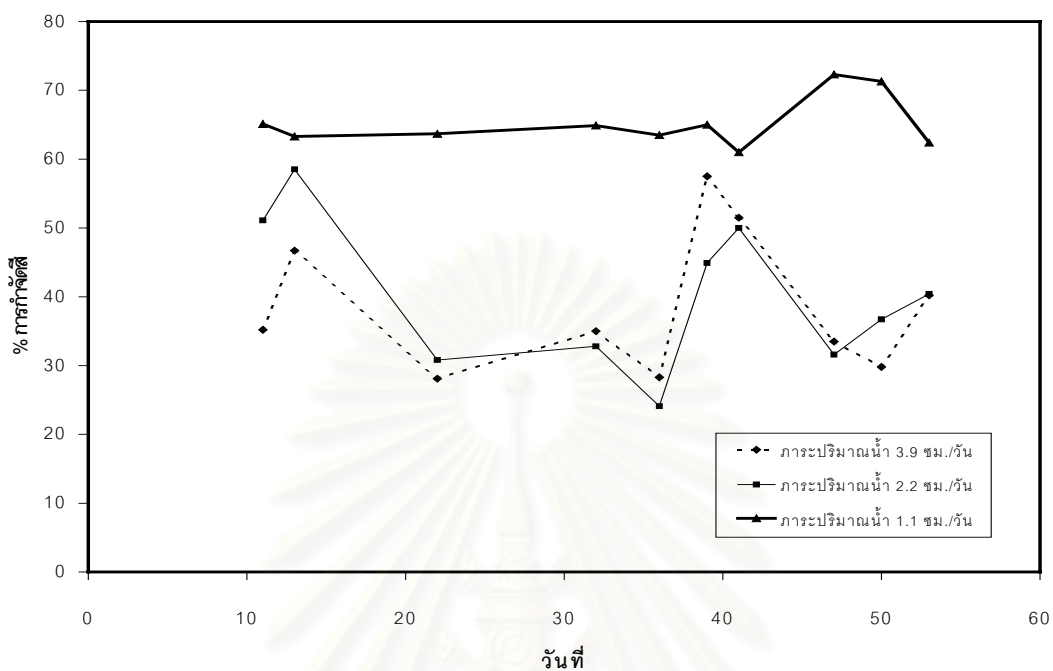


ข. การระปรมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

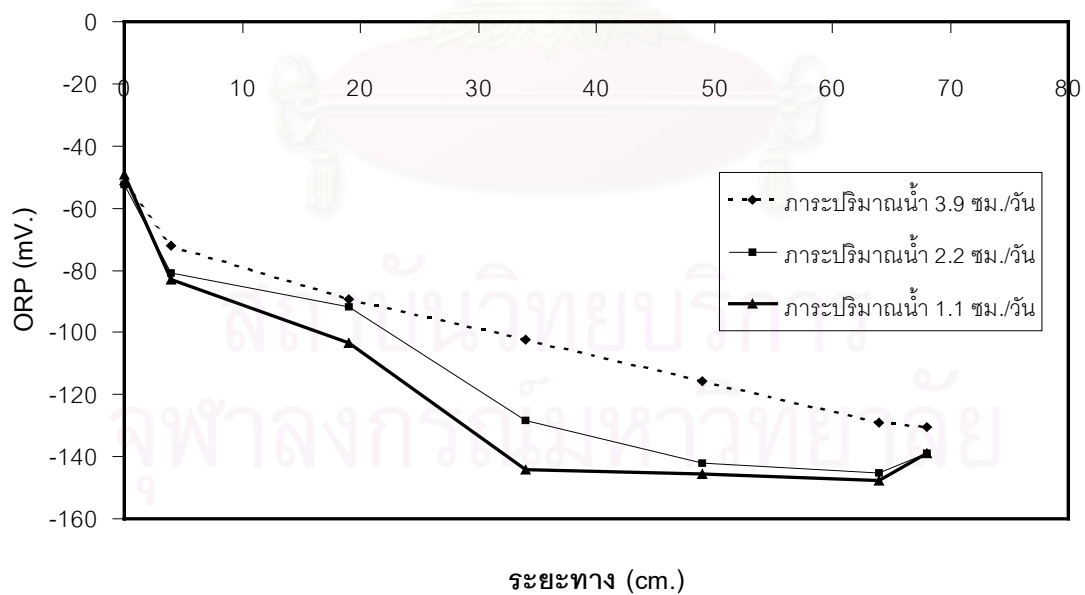


ค. การระปรมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

รูปที่ 4.31 สี (SU) ของน้ำเข้าและออกในระบบบึงประดิษฐ์ปลุกต้นธูปฤๅษี ที่การระปรมาณน้ำต่างๆ



รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

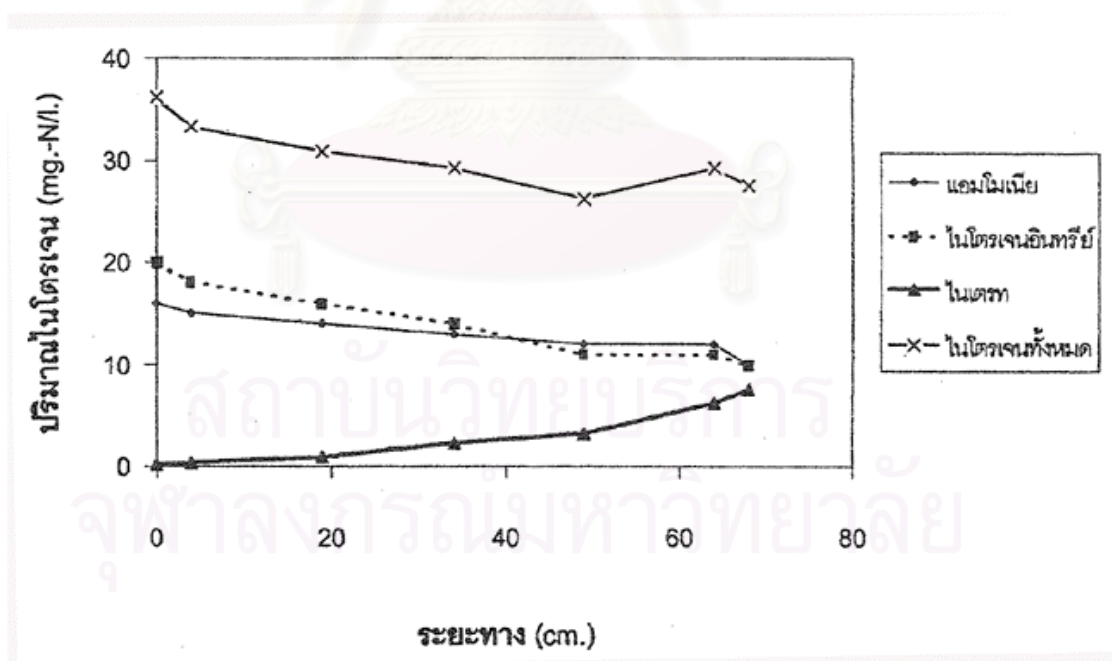


รูปที่ 4.33 ค่าโออาร์พีของน้ำเสียในบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีตามระยะทางในแนวราบ จากทางน้ำเข้า ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

4.4.8 ไนโตรเจน

4.4.8.1 ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 36.2 มก./ล. ให้เหลือในน้ำทิ้ง 27.5 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 24% โดยที่ในน้ำเข้ามีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเฉลี่ย 16 มก./ล. อินทรีย์ไนโตรเจนเฉลี่ย 20 มก./ล. ส่วนในน้ำออกพบแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน เฉลี่ยเท่ากันคือ ประมาณ 10 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็น 44% ซึ่งการกำจัดที่เคเอ็นนี้เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าระยะทาง จากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.2 มก./ล. เป็น 7.5 มก./ล.



รูปที่ 4.34 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

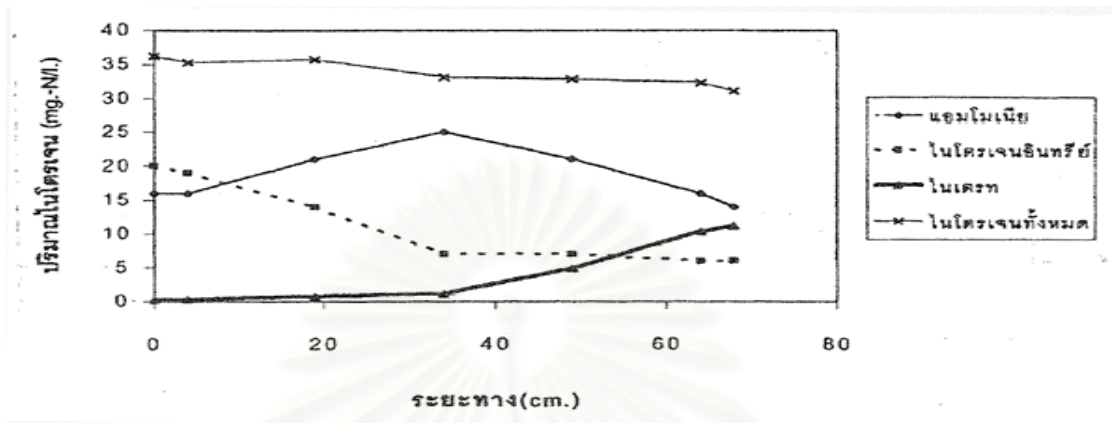
หลังจากบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 53 วันแล้วตรวจวัดและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและน้ำออก รวมทั้งที่สะสมในทรายและพีช ได้ผลดังตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดไนโตรเจนส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมในตุ๊กกลางทราย โดยคิดเป็น 26.7% ของไนโตรเจนทั้งหมดที่บ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์
ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	13.1	100
น้ำออก	9.3	71
สะสมในทราย	3.5	27
สะสมในต้นธูปฤๅษี	0.2	2

4.4.8.2 ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.35 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย 36.2 มก./ล. ถูกกำจัดให้เหลือเฉลี่ย 31.1 มก./ล. ในน้ำทิ้ง คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 14.1% จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 34 เซนติเมตรแรก เห็นได้อย่างชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย สังเกตได้จากแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 16 มก./ล. เป็น 25 มก./ล. โดยอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 20 มก./ล. เป็น 7 มก./ล. และหลังจาก 34 เซนติเมตรไปแล้วแอมโมเนียจะลดลงจนมีค่าเป็น 14 มก./ล. โดยเฉลี่ยในน้ำออก ส่วนไนเตรทในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ย 0.2 มก./ล. นั้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนมีค่าเป็น 1.1 มก./ล. ที่ระยะ 34 เซนติเมตร และหลังจากนั้นไนเตรทจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าเฉลี่ยเป็น 11.1 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับไออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่มีค่าในช่วง -52 ถึง -145 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงแพคัลเทที่ฟจึงเป็นไปได้ว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบ ส่วนการลดลงของไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่เกิดจากการสะสมในตุ๊กกลางทรายดังตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ที่ตรวจวัดและคำนวณได้หลังจากบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 53 วัน



รูปที่ 4.35 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

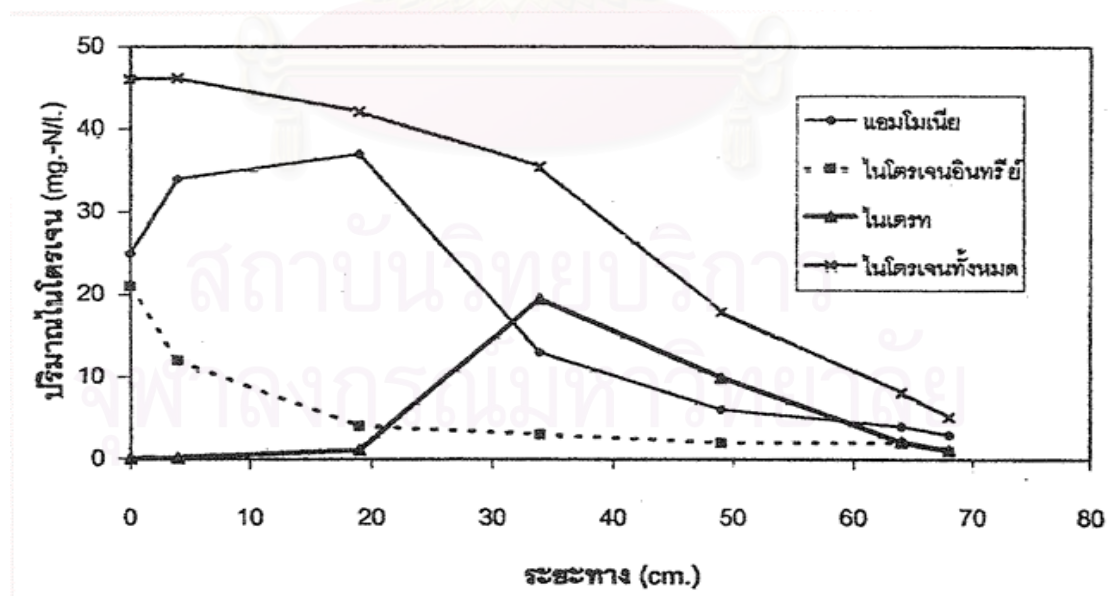
ตารางที่ 4.10 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	7.5	100
น้ำออก	5.7	76
สะสมในทราย	1.8	24
สะสมในต้นธูปฤๅษี	N/D	

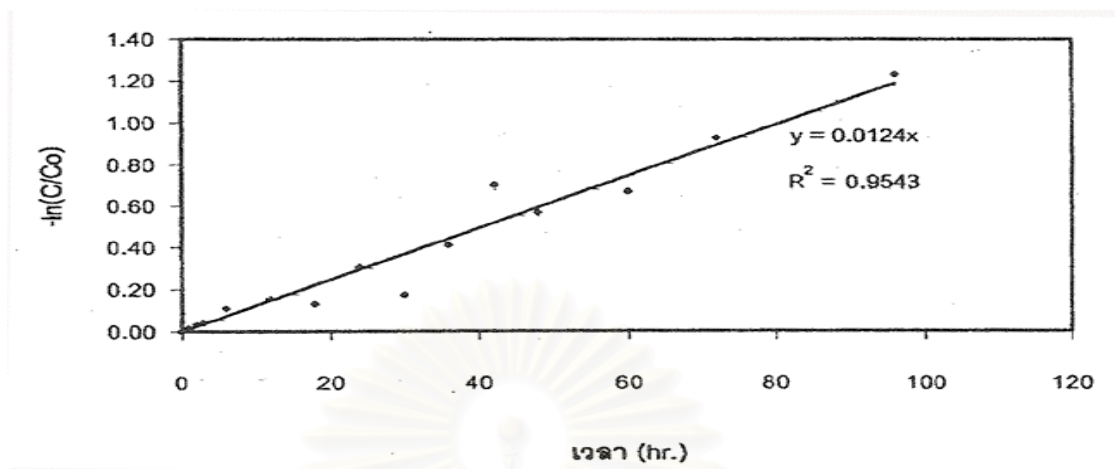
4.4.8.3 ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

ในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ได้ตรวจวัดไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบจากทางน้ำเข้าได้ผลดังรูปที่ 4.36 ที่แสดงให้เห็นว่าที่เวลากักน้ำ 10 วัน ระบบสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงถึง 88.9% โดยไนโตรเจนทั้งหมดที่มีค่าเฉลี่ยในน้ำเข้า 46.1 มก./ล. ถูกกำจัดจนเหลือเพียง 5.1 มก./ล. โดยเฉลี่ยในน้ำออก จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่าอินทรีย์ไนโตรเจนลดลงตามระยะทางแนวราบจากทาง

น้ำเข้าโดยในช่วง 19 เซนติเมตรแรกเห็นได้ชัดเจนว่าอินทรีย์ไนโตรเจนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว เห็นได้จากปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 25 เป็น 37 มก./ล. ขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนลดลงจาก 21 เป็น 4 มก./ล. และหลังจาก 19 เซนติเมตรแรกแล้วแอมโมเนียจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 6 มก./ล. ที่ระยะทาง 49 ซม. และลดลงอย่างช้าๆ จนมีค่าเป็น 3 มก./ล. ในน้ำออก ส่วนไนเตรทนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 34 ซม.แรก โดยเพิ่มจากน้ำเข้าที่มีค่าเฉลี่ย 0.1 เป็น 19.5 มก./ล. แล้วค่อยๆ ลดลงจนมีค่าเป็น 1.1 มก./ล. ในน้ำออก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับไออาร์พีในระบบซึ่งมีค่าประมาณ -49 ถึง -148 มิลลิโวลต์ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งไนโตรเจนถูกกำจัดออกจากระบบด้วยปฏิกิริยาดังกล่าว ทั้งนี้หลังจากทำการโดยป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเวลา 57 วันแล้ว ได้เก็บตัวอย่างทรายมาทดสอบหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเพื่อหาการสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากกระบวนการดังกล่าว (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค.) ปรากฏว่าในช่วงที่กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินอยู่นั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าในกระบวนการดังกล่าวไม่มีการสูญเสียไนโตรเจน ส่วนเมื่อระบบเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยรวมมีค่าลดลงอย่างเป็นรูปแบบ กล่าวคือ อัตราการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับไนเตรท โดยมีค่าคงที่ของปฏิกิริยาเป็น 0.30 วัน^{-1} ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.36 ปริมาณไนโตรเจนในรูปต่างๆ ตามระยะทางในแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์
ปลูกต้นธูปฤาษี ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน



รูปที่ 4.97 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ปลูกลำต้นธูปฤาษี
ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าที่เคเอ็นที่สูญเสียจากระบบส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ฉะนั้นการคำนวณหาไนโตรเจนที่สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าว จึงใช้ค่าที่เคเอ็นที่ถูกกำจัดในระบบบึงประดิษฐ์ 42 มก./ล. เป็นความเข้มข้นของไนเตรทที่จุดเริ่มต้นของปฏิกิริยา และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันดำเนินจากระยะทาง 34 ถึง 64 เซนติเมตร คิดเป็นเวลา 5 วัน ปรากฏว่าใน 1 วัน ไนโตรเจนจะสูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริ ฟิเคชัน 65.2 มก.

ภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองแล้วได้ตรวจสอบและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในน้ำเข้าและออกทั้งหมด รวมทั้งส่วนที่สะสมในทรายและสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เพื่อการทำสมดุลมวลไนโตรเจนได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณไนโตรเจนในส่วนต่างๆ ในระบบบึงประดิษฐ์ ปลูกลำต้นธูปฤาษี
ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

ไนโตรเจนในส่วนต่างๆ	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
น้ำเข้า	5.2	100
น้ำออก	0.5	10
สะสมในทราย	1.5	29
สูญเสียเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริ ฟิเคชัน	2.2	42
สะสมในต้นธูปฤาษี	N/D	0

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (1)

$$\begin{aligned} \text{INF} &= \text{EFF} + \text{PB} + \text{MD} + \text{NDN} + \text{UNA} \\ 5.2 &= 0.5 + 0 + 1.5 + 2.2 + \text{UNA} \\ \text{จะได้} \quad \text{UNA} &= 1.0 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

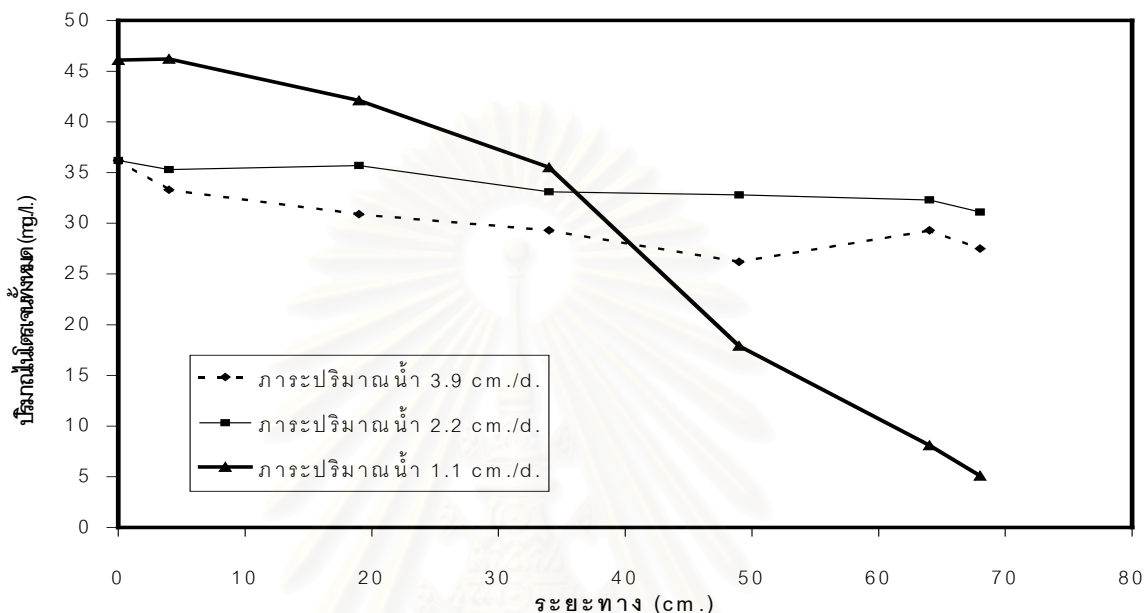
แสดงว่าปริมาณไนโตรเจนที่ไม่สามารถตรวจวัดได้มีค่า 1.0 กรัม คิดเป็นร้อยละ 19 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

4.4.8.4 การกำจัดไนโตรเจนโดยรวม

เมื่อนำผลการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางในแนวราบ ของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ มาสร้างกราฟ จะได้ดังรูปที่ 4.38 ซึ่งเห็นได้ว่าน้ำทิ้งของระบบที่ภาระปริมาณน้ำ 3.9 และ 2.2 ซม./วัน (คิดเป็นระยะเวลาที่เก็บน้ำ 3 และ 5 วัน ตามลำดับ) มีค่าเป็น 27.5 และ 31.1 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 24.0 และ 14.1 ตามลำดับ ทั้งนี้ที่ภาระปริมาณทั้งสองดังกล่าวมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนน้อยกว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน (เวลากักเก็บน้ำ 10 วัน) ซึ่งสามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 88.9 โดยที่ไนโตรเจนถูกกำจัดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการดำเนินกระบวนการ กล่าวคือในขั้นแรกจะต้องเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันก่อน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.35 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน ปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระยะทาง 34 ซม. จากทางน้ำเข้า ซึ่งที่ระยะทางดังกล่าวคิดเป็นระยะเวลาที่น้ำเสียถูกกักอยู่ในระบบได้ประมาณ 3 วัน และจากรูปที่ 4.36 เห็นว่าเช่นเดียวกันว่าที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเริ่มเกิดขึ้นที่ระยะทาง 19 ซม. หรือคิดเป็นระยะเวลาที่น้ำเสียถูกกักอยู่ในระบบได้ 3 วัน จึงกล่าวได้ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินที่ปลูกต้นธูปฤๅษีเกิดขึ้นหลังจากที่น้ำเสียถูกป้อนและผ่านอยู่ในระบบเป็นเวลา 3 วัน

หลังจากนั้นไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนหลุดออกจากระบบด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้สังเกตได้จากรูปที่ 4.38 ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากระยะทาง 19 ซม. ที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะลดลงเพียงเล็กน้อยหลังจากระยะทาง 34 ซม. ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาเก็บกักน้ำน้อยเกินไปที่จะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ฉะนั้นหากต้องการกำจัด

ไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองมาแล้วด้วยบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีก็ควรดำเนินงานที่ภาระปริมาณน้ำต่ำกว่า 1.1 ซม./วัน

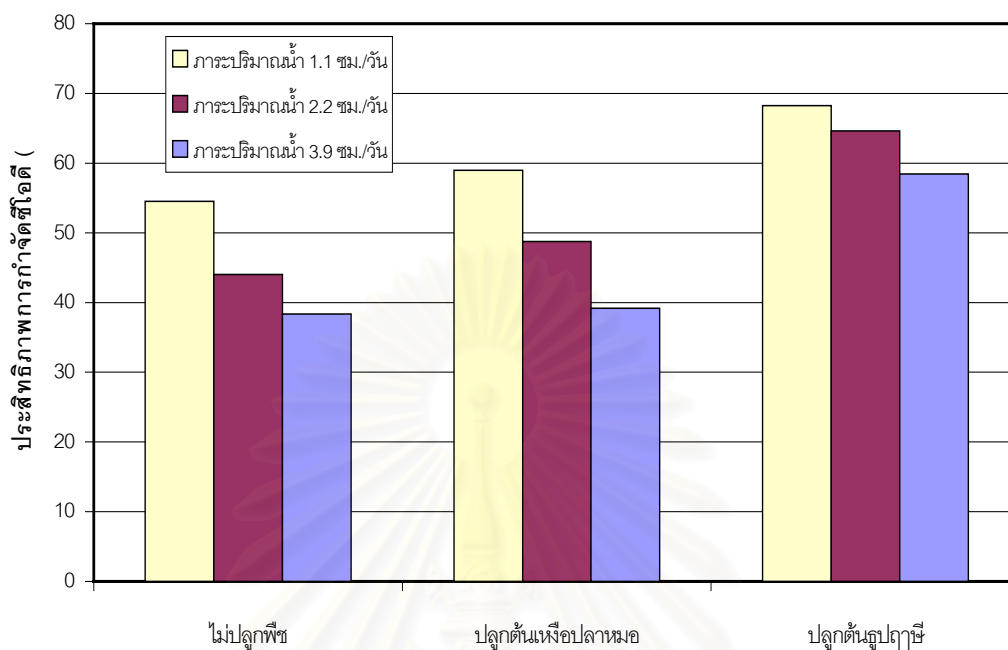


รูปที่ 4.38 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดตามระยะทางแนวราบในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตอนที 4.2, 4.3 และ 4.4 ข้างต้น เมื่อนำประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ มาสรุปรวมเป็นแผนภูมิ จะได้ดังรูปที่ 4.39 – 4.44

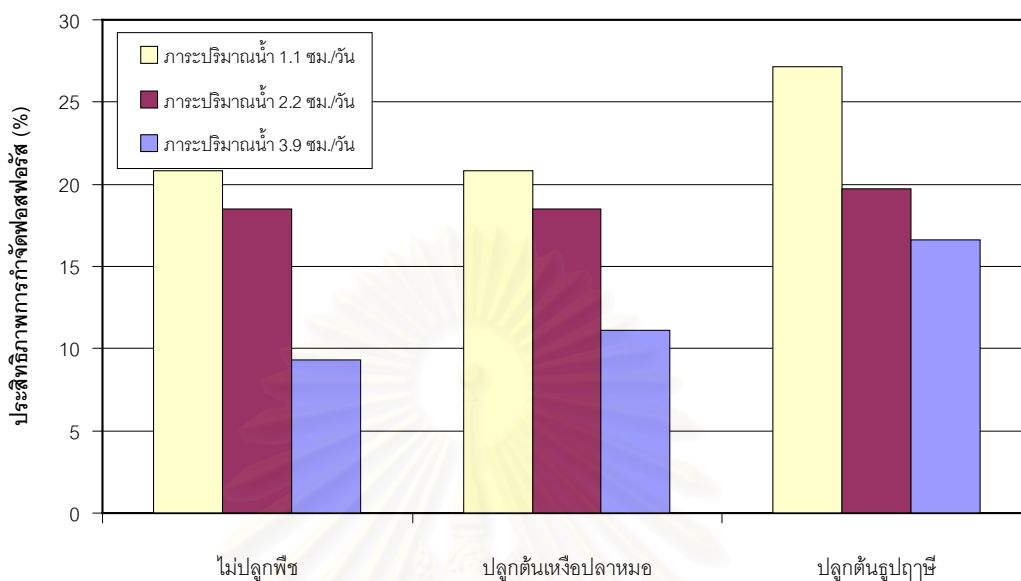
จากรูปที่ 4.39 เห็นได้ว่าในระบบที่ปลูกพืชชนิดเดียวกันประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะแปรผกผันกับภาระปริมาณน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบึงประดิษฐ์เป็นแบบใช้อากาศ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในชั้นตัวกลางทราย และถูกจำกัดด้วยปริมาณอากาศที่ถ่ายเทลงสู่ชั้นตัวกลาง (Katrin and Sabine, 1997) การเพิ่มภาระปริมาณน้ำเป็นการเพิ่มภาระอินทรีย์ด้วย แต่อากาศที่ถ่ายเทลงสู่ชั้นตัวกลางทรายของระบบนั้นมีค่าคงที่ ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารอินทรีย์จึงลดลงเมื่อภาระปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ตัวกลางของระบบยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางกรองสารอินทรีย์ด้วย (Howard, et al., 1999)



รูปที่ 4.39 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ

ฉะนั้นเมื่อเพิ่มภาวะปริมาณน้ำซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราการไหลทำให้การทำงานของตัวกลางกรองเลวลง ไม่สามารถกรองสารอินทรีย์ไว้ได้เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าต่ำลง แต่เมื่อพิจารณาที่ภาวะปริมาณน้ำเดียวกันระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงกว่าระบบที่ไม่ปลูกพืชเล็กน้อย ส่วนระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษีจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงสุด ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากต้นธูปฤๅษีมีรากที่ละเอียดและแผ่กระจายได้ดีกว่าต้นเหียงปลาหมอ ทำให้อากาศสามารถแพร่กระจายออกตามรากต้นธูปฤๅษีได้ดีกว่าเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษีดีกว่าระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอ

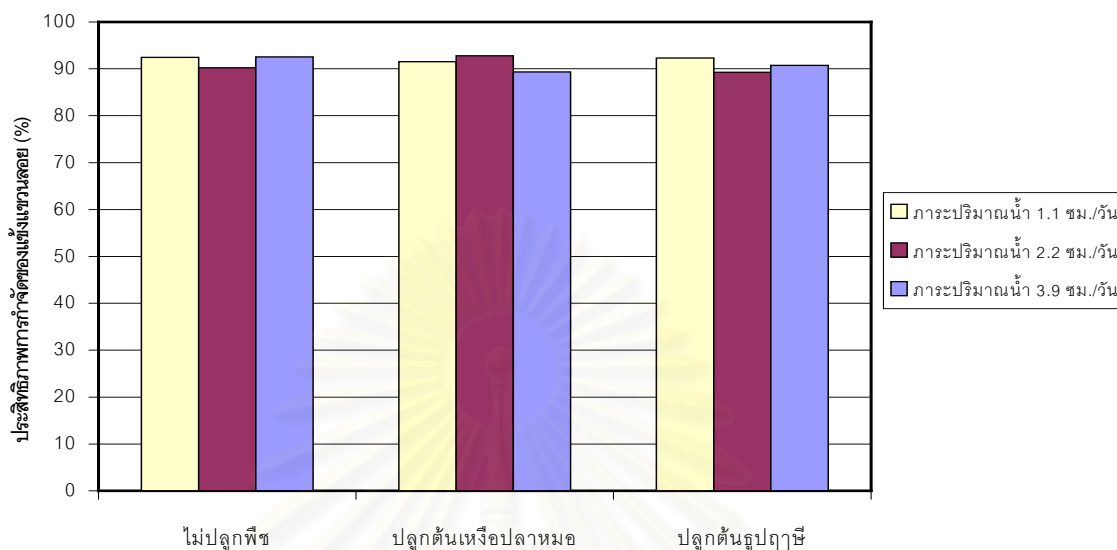
การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์ เกิดจากฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ถูกดูดซับด้วยประจุบวกที่อยู่บนผิวดิน และด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{3-}) ที่พืชสามารถจับใช้ได้ เมื่อพืชตายลง ฟอสฟอรัสยังคงสะสมในซากพืชนั้น (William, 1999) ด้วยกระบวนการดังกล่าวบึงประดิษฐ์ที่ใช้ดินเป็นตัวกลางสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้มากกว่าร้อยละ 90 (Katekinta, 1994; Peter, 1997) แต่จากผลการทดลองข้างต้นซึ่งเป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ทรายเป็นตัวกลางได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.40 เห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำกว่าร้อยละ 28 กล่าวคือที่ภาวะปริมาณน้ำ



รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ

3.9 ซม./วัน ในระบบที่ไม่ปลูกพืชสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 9.3 ส่วนในระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอและทุเรียนสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 11.1 และ 16.6 ในขณะที่ที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน ระบบทั้งสามมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคิดเป็นร้อยละ 18.5, 18.5 และ 19.7 ตามลำดับ ส่วนที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ระบบที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพเท่ากับระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอคือร้อยละ 20.8 และในระบบที่ปลูกต้นทุเรียนมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 27.2 เหตุที่ระบบบึงประดิษฐ์ที่ใช้ทรายเป็นตัวกลางมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบที่เป็นดิน เนื่องจากประจุบวกที่อยู่บนผิวตัวกลางทรายมีน้อยกว่าบนผิวดิน ทำให้การดูดซับฟอสเฟตบนผิวทรายเกิดขึ้นน้อยกว่า จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าเมื่อลดภาวะปริมาณน้ำประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสจะสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำชะมูลฝอยไหลผ่านชั้นตัวกลางข้างล่างทำให้โอกาสที่ฟอสเฟตจะถูกดูดซับบนผิวทรายมีมากขึ้น ทำให้ฟอสฟอรัสถูกกำจัดได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการกำจัดฟอสฟอรัสบางส่วนเกิดจากการจับใช้ของจุลินทรีย์ในชั้นตัวกลางด้วย

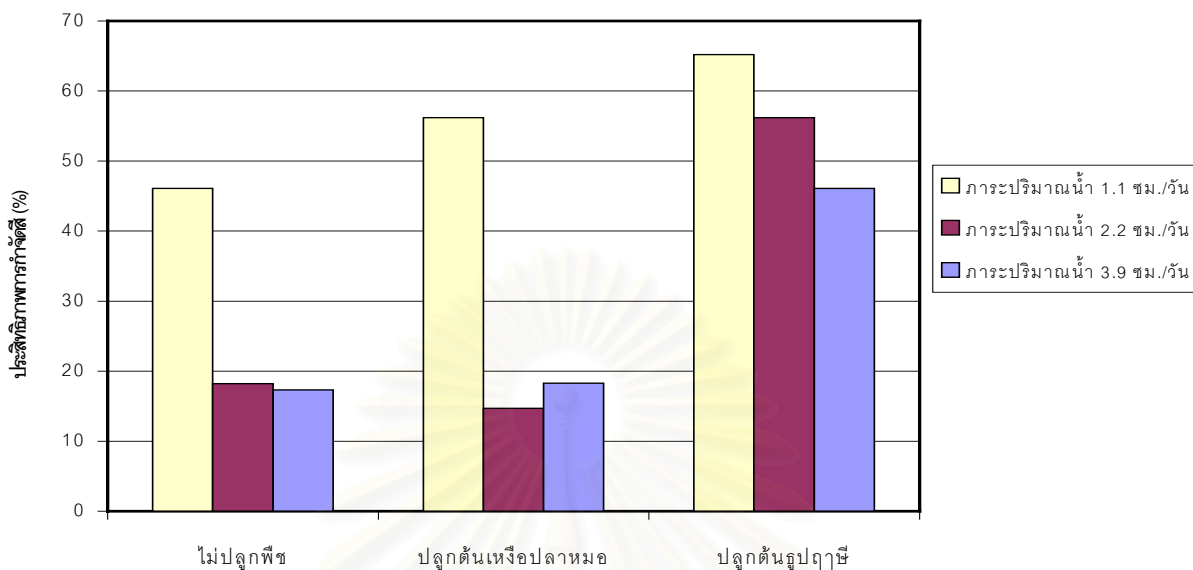
การกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบึงประดิษฐ์เกิดจากการกรองของตัวกลาง ดังเห็นได้จากในรูปที่ 4.41 ซึ่งระบบบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพสูงกว่า 90% ในการกำจัดของแข็งแขวนลอยแม้ในระบบที่ไม่ได้ปลูกพืช บึงประดิษฐ์จึงเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดของแข็งแขวนลอย



รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกชนิดต่างๆ

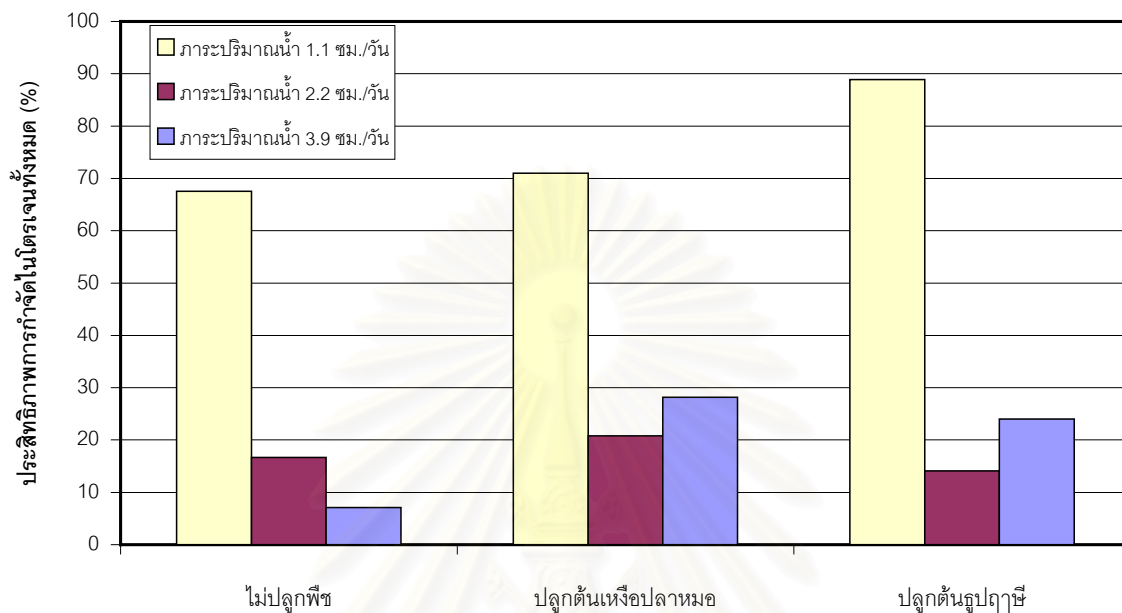
จากรูปที่ 4.42 เห็นได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างสูงคือ ร้อยละ 46.1 ในระบบที่ไม่ปลูกพืช ร้อยละ 56.2 ในระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอบ และร้อยละ 65.2 ในระบบที่ปลูกต้นอูปลา สีที่ตรวจวัดได้ในน้ำชะมูลฝอยเป็นสีจริงที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูงจำพวกกรดฮิวมิก ซึ่งกำจัดได้ยาก จากการทดลองของ จตุพร วงษ์จาด (2542) ที่ได้ใช้ระบบเอสปีอาร์ที่มีการถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการบำบัดสีของน้ำชะมูลฝอยพบว่าที่ภาวะบรรทุกซีโอดี 0.571 กก./ลบ.ม.-วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิด PL-75 20,000 มก./ล. อายุสัปดาห์ 20 วัน สามารถกำจัดสีได้ 75.4% โดยในน้ำออกมีความเข้มสี 42.1 SU ทั้งนี้เห็นว่าระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นอูปลาสามารถกำจัดสีได้น้อยกว่าระบบเอสปีอาร์ที่เติมถ่านกัมมันต์ประมาณ 10% โดยเมื่อน้ำชะมูลฝอยถูกป้อนเข้าสู่ชั้นตัวกลางทรายของบึงประดิษฐ์ซึ่งมีซากพืชและเซลล์ของจุลินทรีย์ทับถมอยู่ รวมถึงรากพืชที่ปลูกในระบบ สิ่งเหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีในน้ำชะมูลฝอย ทำให้สีในน้ำชะมูลฝอยลดลง

การกำจัดไนโตรเจนของระบบบึงประดิษฐ์เกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน และการจับใช้ของพืช (Brix, 1993) จากการทดลองพบว่าการจับใช้ของพืชนั้นมีค่าต่ำมากคือน้อยกว่าร้อยละ 2 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่ถูกกำจัดในระบบ ฉะนั้นการกำจัดไนโตรเจนส่วนใหญ่จึงเกิดจากกระบวนการการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.43 พบว่าในระบบที่ปลูกพืชชนิดเดียวกันที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน จะมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน

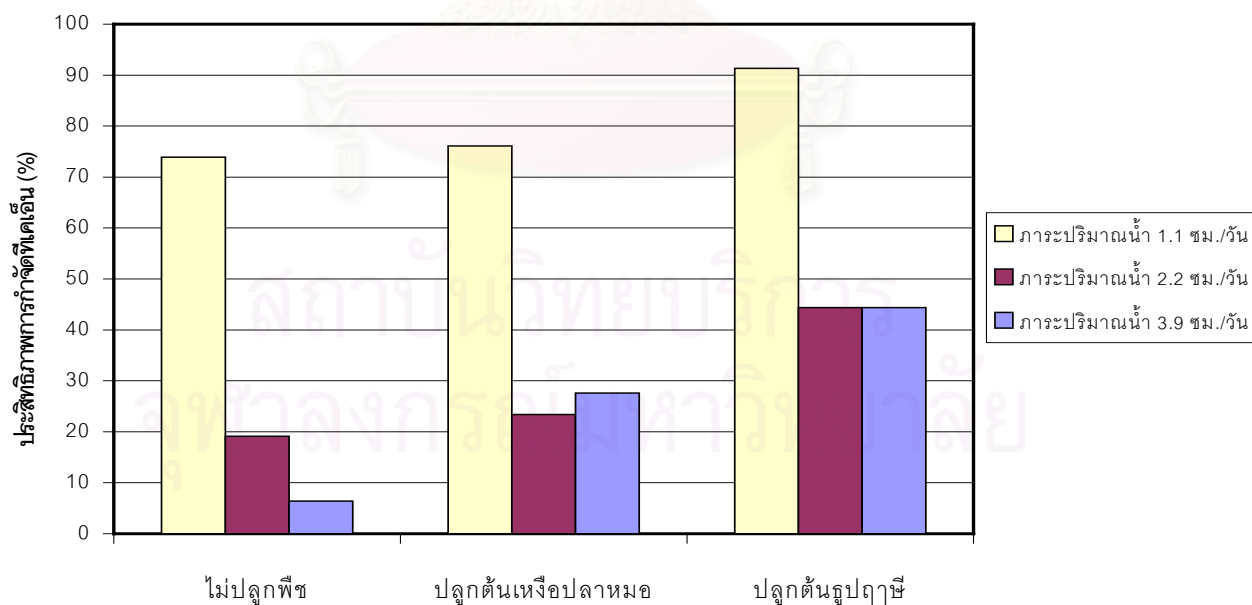


รูปที่ 4.42 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ

ทั้งหมดสูงที่สุด คือในระบบที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 67.5 ส่วนในระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอบและทุเรียนมีประสิทธิภาพร้อยละ 71.0 และ 88.9 ตามลำดับ เช่นเดียวกับในรูปที่ 4.44 ซึ่งเห็นได้ว่าที่ภาวะปริมาณน้ำดังกล่าวระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นทุเรียนมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่เค้นสูงสุดคือร้อยละ 93.1 ส่วนในระบบที่ไม่ปลูกพืชมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 73.9 และร้อยละ 76.1 ในระบบที่ปลูกต้นเหียงปลาหมอบ ทั้งนี้เนื่องจากการกำจัดไนโตรเจนต้องผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งต้องอาศัยออกซิเจนในการดำเนินปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะถูกจำกัดด้วยการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่ชั้นตัวกลางทราย ดังที่กล่าวแล้วว่าออกซิเจนสามารถแพร่กระจายออกตามรากต้นทุเรียนได้ดี ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นตามบริเวณรากต้นทุเรียนดำเนินไปได้ดีกว่าในระบบที่ไม่ปลูกพืชและปลูกต้นเหียงปลาหมอบ เมื่อไนเตรทที่เกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันผ่านเข้าสู่บริเวณที่เป็นภาวะแอน็อกซิก ไนเตรทจะถูกกำจัดออกจากระบบบึงประดิษฐ์ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ฉะนั้นเมื่อระบบที่ปลูกต้นทุเรียนมีความสามารถสูงในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท ทำให้มีไนเตรทซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันมีมาก โอกาสที่ไนเตรทจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนจึงมีมาก ไนโตรเจนจึงถูกกำจัดออกจากระบบได้มากด้วย



รูปที่ 4.43 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.44 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.39 – 4.44 แสดงให้เห็นว่าที่ภาวะปริมาณน้ำต่ำที่สุดคือ 1.1 ซม./วัน ระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสูงสุด ซึ่งประสิทธิภาพการ

กำจัดมลสารต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.12 ฉะนั้นที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน จึงเป็นภาระปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับชะมูลฝอย และเมื่อพิจารณาจากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่าในระบบที่ปลูกพืชชนิดเดียวกันเมื่อภาระปริมาณน้ำลดลงประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ จะสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดมลสารต่างๆ โดยเฉลี่ยของระบบบึงประดิษฐ์แต่ละชนิด ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

สารปนเปื้อน	ลักษณะน้ำทิ้ง (มก./ล.)			ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
	ไม่ปลูกพืช	ปลูกเหงือกปลาหมอ	ปลูกธูปฤๅษี	ไม่ปลูกพืช	ปลูกเหงือกปลาหมอ	ปลูกธูปฤๅษี
ซีไอดี	229	207	160	54.5	59.0	68.2
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.8	0.8	0.9	20.8	20.8	27.2
ของแข็งแขวนลอย	5.7	6.4	6.3	92.4	91.5	92.3
ดี (SU)	38.9	31.6	27.9	46.1	56.2	65.2
ทีเคเอ็น	12	11	4	73.9	76.1	91.3
แอมโมเนียไนโตรเจน	9	7	3	64.0	72.0	88.0
ไนโตรเจนทั้งหมด	15.0	13.4	5.1	67.5	71.0	88.9

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าแม้เป็นระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้ก็สามารถกำจัดสารปนเปื้อนได้ ระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกต้นไม้กับระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการปลูกต้นเหงือกปลาหมอไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ระบบได้เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ส่วนระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีนั้นเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสูงกว่าระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอและไม่ปลูกต้นไม้ แสดงให้เห็นว่าการปลูกต้นธูปฤๅษีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ระบบได้ โดยเฉพาะการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งต้นธูปฤๅษีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่าระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ร้อยละ 17.4, 24.0 และ 21.4 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.12 เห็นได้ว่าระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธูปฤๅษีในตัวกลางทรายขนาด 1 - 3 มม. ลึก 30 เซนติเมตร ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน (ภาระบรรทุกซีโอดี 5.5 ก./ม.²-วัน)สามารถใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเมื่อนำไปใช้งานจริงที่สถานกำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลอำเภอไทรน้อยที่มีน้ำชะมูลฝอยเกิดขึ้นวันละไม่เกิน 4 ลูกบาศก์เมตร และจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดของสถานกำจัดขยะมูลฝอยดังกล่าวมีความเข้มข้นซีโอดีไม่เกิน 3,000 มก./ล. คิดเป็นปริมาณซีโอดีสูงสุดไม่เกิน 12 กก./วัน หากคำนวณหาที่ดินที่ใช้ในการสร้างระบบดังกล่าว ที่ภาระบรรทุกซีโอดี 5.5 ก./ม.²-วัน จะใช้พื้นที่เพียง 2,182 ม.² หรือไม่เกิน 1.5 ไร่ ฉะนั้นระบบดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่หากต้องการจะลดขนาดพื้นที่ลงสามารถกระทำได้โดยก่อสร้างระบบให้ชั้นตัวกลางทรายลึกมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่ควรเกิน 75 ซม. เพราะจะเกินความลึกของชั้นรากของต้นธูปฤๅษี ทำให้การถ่ายเทอากาศผ่านทางรากของต้นธูปฤๅษีเกิดได้ไม่ทั่วถึง เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) ในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกันประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจะแปรผกผันกับภาระปริมาณน้ำ

2) ที่ภาระปริมาณน้ำเท่ากันระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอที่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยใกล้เคียงกับระบบที่ไม่ปลูกพืช และระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกธูปฤๅษีมีประสิทธิภาพสูงกว่าสองระบบข้างต้น

3) ระบบบึงประดิษฐ์สามารถกำจัดไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยได้ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น และดูดซับในชั้นตัวกลางทราย ปฏิริยาดีไนตริฟิเคชั่นที่เกิดในชั้นตัวกลางทรายของระบบบึงประดิษฐ์เป็นปฏิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับไนเตรท โดยที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน ในระบบที่ไม่ปลูกพืช ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ และปลูกต้นธูปฤๅษี มีค่าคงที่ของปฏิริยาเป็น 0.21, 0.18 และ 0.30 วัน⁻¹ ตามลำดับ

4) ระบบบึงประดิษฐ์ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสูงสุด กล่าวคือสามารถกำจัดซีไอดีได้ถึงร้อยละ 68.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 27.2 ของแข็งแขวนลอยร้อยละ 92.3 ทีเคเอ็นร้อยละ 91.3 ไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 88.9 และซีร้อยละ 65.2 โดยในน้ำทิ้งพบสารปนเปื้อนดังกล่าวเฉลี่ย 160, 0.9, 6.3, 4, 5.1 มก./ล. และ 27.9 เอสยู ตามลำดับ

5) ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่ปลูกต้นธูปฤๅษีในตัวกลางทรายขนาด 1 - 3 มม. ลึก 30 ซม. ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน (ภาระบรรทุกซีไอดี 5.5 ก./ม.²-วัน) เหมาะสมจะใช้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำชะมูลฝอย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด และเป็นระบบที่ประหยัด ดำเนินงานง่าย ซึ่งหากนำไปใช้งานจริงที่สถานกำจัดขยะมูลฝอยอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี จะใช้พื้นที่ในการสร้างระบบไม่เกิน 1.5 ไร่

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ความเข้มข้นซีไอดีประมาณ 500 มก./ล. เพียงความเข้มข้นเดียว จึงควรมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น เพื่อจะได้มีการเปรียบเทียบถึงผลของภาวะปริมาณน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วย

2) ระบบบึงประดิษฐ์ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน มีความสามารถในการกำจัดสีของน้ำชะมูลฝอยได้ดี จึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้บึงประดิษฐ์ในการกำจัดสี โดยอาจเปลี่ยนตัวกลางของระบบเป็นวัสดุอย่างอื่นที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสีในน้ำชะมูลฝอย ได้มากกว่าทราย เช่น ดินถ่านหินร่วน (peat soil

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จตุพร วงษ์จาด. 2542. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยระบบเอสปีอาร์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธรรณิศวรรค์ ทรรพนันท์. 2535. การปนเปื้อนของปรอท แคดเมียม แมงกานีส ในน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธวัชชัย รัตน์ชเลศ และ เจ เอฟ แมกซ์เวล. 2540. รายชื่อวัชพืชที่มีรายงานพบในประเทศไทย. เชียงใหม่: หน่วยเอกสารและการพิมพ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิวดี วัชรกร และ กุลภิสสร เลิศยนต์ชีพ. 2531. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆของเหงือกปลาหมอชนิดดอกสีม่วงกับดอกสีขาว . โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุศบรณ ณ สงขลา. 2525. สมุนไพรไทย. ตอนที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ฟีนี พลับพลึงซึ่ง.
- เบกพล ก้านสังวร. 2542. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบโคเมตาบอลิคด้วยระบบยูเอสพี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วีรวรรณ ปัทมาภีรัต. 2530. การศึกษาลักษณะของ Leachate จากที่ทิ้งขยะบริเวณซอยอ่อนนุชและการบำบัดทางชีววิทยา .กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริรัตน์ ชาญไวยวิทย์. 2536. ผลกระทบของน้ำชะขยะต่อคุณภาพน้ำใต้ดินอำเภอบางใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุทัย สิ้นเพ็ง. 2538. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยถังกรองไร้ออกซิเจนตามแนวราบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ภาษาอังกฤษ

- Anawat Pinisakul, 1997. Nitrogen Removal in Constructed Wetland Beds Treating Septage. Master's Thesis, Asian Institute of Technology.
- Andreadakis, A. D., and Chatjikonstantinou, G. J. 1994. Fate of Readily Biodegradable Substrate under Anoxic Condition. Water Science and Technology 29(7): 53-56
- APHA, AWWA, and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. Maryland: United Book Press.
- Brix, H. 1993. Wastewater Treatment in Constructed Wetland: System Design, Removal Processes and Treatment Performances. In G. A. Moshiri (ed.), Constructed Wetland for Water Quality Improvement. Michigan: Lewis Publishers.
- Bulc T., Danijel, V., and Vlasta, K. 1997. The Use of Constructed Wetland for Landfill Leachate Treatment. Water Science and Technology 35(5): 301-306.
- Chain, E. S. K., and DeWalle, F. B. 1976. Character of Soluble Organic Matter in Leachate. Environment Science and Technology. 11(2): 158-162.
- Craig, D. M. and Keith D. J. 1995. The Use of Extended Aeration and in-series Surface-Flow Wetlands for Landfill Leachate Treatment. Water Science and Technology 32(3): 119-128
- Dan, N. P. 1993. Potential of Constructed Wetland for Toxic Organic Waste Treatment. Master's Thesis. Asian Institute of Technology.
- Diamadopoulos, E., Samaras, P., Dabou, X., and Sakellaropoulos, G. P. 1997. Combined Treatment of Landfill Leachate and Domestic Sewage in a Sequencing Batch Reactor. Water Science and Technology. 36(2-3): 61-68.
- Doller, J., and Wilderer, P. A. 1996. Biological Treatment of Leachate from Hazardous Waste Landfill Using SBR Technology. Water Science and Technology 34(7-8): 133-143.
- Gersberg, R. M., et al. 1977. The Removal of Heavy Metals by Artificial Wetland. EPA-60/D-84-258.

- Green, M. B., Griffin, P., Seabridge, J. K., and Dhobic, D. 1997. Removal of Bacteria in Subsurface Flow Wetland. Water Science and Technology 35(5): 109-116.
- Henry, J. G., Prasad, D., and Young, H. 1987. Removal of Organics From Leachates by Anaerobic Filter. Water Research 21(11): 1395-1399.
- Howard, R., Gwyn, H., Martin, C., Mike, B., and Steve, L. 1999. The Use of an Engineered Reed Bed System to Treat Leachate at Monument Hill Landfill Site, Southern England. In G. Mulamoo, E. D. McBean, and F. Rovers (eds.), Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates , pp. 71-97. New York: Lewis Publishers.
- Katekinta, T. 1994. Tertiary Treatment of Pond Effluent with Constructed Wetlands. Master's Thesis, Asian Institute of Technology.
- Kartrin, F., and Sabine, K. 1997. N- and COD-Removal in Vertical-Flow Systems. Water Science and Technology 35(5): 79-85
- Keenan, J. D., Streiner, R. L., and Fungaroli, A. A. 1984. Landfill Leachate Treatment. Journal of Water Pollute Control Fed 56(1): 27-33.
- Keenan, P. J., Iza, J., and Switzenbaum, M. S. 1993. Inorganic Solid Development in a Pilot-Scale Anaerobic Reactor Treating Municipal Solid Waste Landfill Leachate. Water Environment Research 65(2): 181-188.
- Kim, D. W. 1986. Effect of Organic Matters on Nitrification Process. Master's Thesis. Asian Institute of Technology
- Lugowski, A. et al. 1990. Biological Treatment of Landfill Leachate. 44th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings. Michigan: Lewis Publishers.
- Metcalf & Eddy. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed . New York: McGraw-Hill.
- Mitchell, L. K., and Karathanasis, A. D. 1995. Treatment of Metal Chloride-Enriched Wastewater by Simulated Constructed Wetland. Environmental Geochemistry and Health 17:119-126.

- Monika, S., Ferdinand, K. Reinhard, P., Raimund, H., and Johannes, L. 1997. Tertiary Treatment in a Vertical Flow Reed Bed System - a Full Scale Pilot for 200-600 p.e.. Water Science and Technology 35(5): 223-230.
- Mæhlum, T. 1995. Treatment of Landfill Leachate in on-site Lagoon and Constructed Wetlands. Water Science and Technology 32(3): 129-135.
- Nakayama, M., and Enari, K. 1997. The Degradation of Highly Concentrated Organic Wastewater by the Sand Layer Method. Water Science and Technology 35(8): 223-229.
- Niramon Thanuddhanusilp. 1995. Treatability of Landfill Leachate by Using SBR and Effective Microorganisms. Master's Thesis, Asian Institute of Technology.
- Peter F. Breen. 1997. The Performance of Vertical Flow Experimental Wetland under a Range of Operational Formats and Environmental Conditions. Water Science and Technology 35(5): 197-174.
- Polprasert, C., Dan, N. P., and Thayakumara, N. 1996. Application of Constructed Wetlands to Treat Some Toxic Wastewater under Tropical Condition. Water Science and Technology 34(2): 165-171.
- Reddy, K. R., and Debusk, W. F. 1987. Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants. In R. H. Kadlec, and R. L. Knight (eds.), Treatment Wetland. pp.337-357. Michigan: Lewis Publishers.
- Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., and Criles, R. W. 1988. Natural Systems for Waste Management and Treatment. New York: McGraw-Hill.
- Rodgers, J. H. Jr., Cherry, D. S., and Guthrie, R. K. 1978. Cycling of Elements in Duckweed in an Ash Settling Basin and Swamp Drainage System. Water Research 12: 765-770.
- Sung, M. S., Chang, D., and Lee, H. Y. 1997. Performance Improvement of an Unstable and Anaerobic Leachate Treatment System in an Industrial Waste Landfill. Water Science and Technology 36(12): 333-340.
- Supatpong Mattaraj. 1995. Kinetic Evaluation of Constructed Wetland for Treatment of Domestic Wastewater. Master's Thesis, Asian Institute of Technology.

- Tchobanoglous, G., and Culp, G. 1980. Wetland System for Wastewater Treatment : An Engineering Assessment. In S. C. Reed and R. K. Bastan (eds.), Aquaculture System for Wastewater Treatment : An Engineering Assessment, EPA.
- Tchobanoglous, G., Theisen, and Vigil. 1993. Integrated Solid Waste Management. New York: McGraw-Hill.
- Theingi, M. 1996. Evaluation of Factors Affecting Phosphorus Removal in Constructed Wetland. Master's Thesis, Asian Institute of Technology.
- Tjasa, B., Danijel, V., and Vlasta, K. 1997. The Use of Constructed Wetland for Landfill Leachate Treatment. Water Science and Technology 35(5): 301-306
- Urase, T. et al. 1997. Effect of High Concentration of Organic and Inorganic Matters in Landfill Leachate on the Treatment of Heavy Metals in Very Low Concentration Level. Water Science and Technology 36(12): 349-356.
- William, F. D. 1999. Evaluation of a Constructed Wetland for Treatment of Leachate at a Municipal Landfill in Northwest Florida. In G. Mulamoo, E. D. McBean, and F. Rovers (eds.), Constructed Wetlands for the Treatment of Landfill Leachates . pp. 175-186. New York: Lewis Publishers.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียในหน่วยทดลอง

ข้อมูลในการคำนวณ

- 1) ทrayที่เป็นตัวกลางบรรจุในหน่วยทดลองมีขนาด กว้าง 30 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 30 ซม.
- 2) ระดับน้ำในหน่วยทดลองสูง 26 ซม.
- 3) Trayที่ใช้มีขนาดประมาณ 1 - 3 มม. ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่ามีอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) เท่ากับ 0.4

วิธีการคำนวณ

1) คำนวณปริมาตรของช่องว่างในตัวกลางที่น้ำเสียไหลผ่าน

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{ระดับน้ำ} \times \text{อัตราส่วนช่องว่าง} \\
 &= 30 \text{ ซม.} \times 60 \text{ ซม.} \times 26 \text{ ซม.} \times 0.4 \\
 &= 18,720 \quad \text{ซม.}^3 \\
 &= 18.72 \quad \text{ลิตร}
 \end{aligned}$$

2) คำนวณพื้นที่รับน้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่รับน้ำ} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \\
 &= 30 \text{ ซม.} \times 60 \text{ ซม.} \\
 &= 1,800 \quad \text{ซม.}^2
 \end{aligned}$$

3) คำนวณอัตราการไหลและภาระปริมาณน้ำของน้ำเสียในหน่วยทดลองที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเก็บกักน้ำ} &= 3 \quad \text{วัน} \\
 \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย} &= \frac{\text{ปริมาตรของช่องว่างในตัวกลาง}}{\text{เวลาเก็บกักน้ำ}} \\
 &= 18.72 \text{ ลิตร} / 3 \text{ วัน} \\
 &= 6.24 \quad \text{ลิตร/วัน}
 \end{aligned}$$

ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น 7 ลิตร/วัน

$$\begin{aligned}
 \text{ภาวะปริมาณน้ำ} &= \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}{\text{พื้นที่รับน้ำ}} \\
 &= \frac{7,000 \text{ ชม.}^3/\text{วัน}}{1,800 \text{ ชม.}^2} \\
 &= 3.9 \quad \text{ชม./วัน}
 \end{aligned}$$

4) คำนวณอัตราการไหลและภาวะปริมาณน้ำของน้ำเสียในหน่วยทดลองที่ 2

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเก็บกักน้ำ} &= 5 \quad \text{วัน} \\
 \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย} &= 18.72 / 5 \\
 &= 3.74 \quad \text{ลิตร/วัน} \\
 \text{ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น} & 4 \text{ ลิตร/วัน} \\
 \text{ภาวะปริมาณน้ำ} &= 4,000/1,800 \\
 &= 2.2 \quad \text{ชม./วัน}
 \end{aligned}$$

5) คำนวณอัตราการไหลและภาวะปริมาณน้ำของน้ำเสียในหน่วยทดลองที่ 3

$$\begin{aligned}
 \text{เวลาเก็บกักน้ำ} &= 10 \quad \text{วัน} \\
 \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย} &= 18.72/10 \\
 &= 1.87 \quad \text{ลิตร/วัน} \\
 \text{ค่าที่ใช้ในการทดลองเป็น} & 2 \text{ ลิตร/วัน} \\
 \text{ภาวะปริมาณน้ำ} &= 2,000/1,800 \\
 &= 1.1 \quad \text{ชม./วัน}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข. การคำนวณซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบบึงประดิษฐ์

ข้อมูลในการคำนวณ

- 1) พื้นที่รับน้ำของแต่ละหน่วยทดลองกว้าง 30 ซม. ยาว 60 ซม.
- 2) อัตราการไหลของน้ำเสียในหน่วยทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเป็น 7, 4 และ 2 ลิตร/วัน
- 3) อัตราส่วน บีไอดี : ซีไอดี ของน้ำเสียมีค่าประมาณ 1 : 2
- 4) ภาวะบรรทุกบีไอดีของระบบบึงประดิษฐ์มีค่าไม่เกิน 60 กก. บีไอดี/เฮกเตอร์-วัน
(0.6 มก.บีไอดี/ซม.²-วัน)

วิธีการคำนวณ

$$\text{จาก ภาวะบรรทุกบีไอดี} = \frac{\text{บีไอดี} \times \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}{\text{พื้นที่รับน้ำ}}$$

$$\therefore \text{บีไอดี} = \frac{\text{ภาวะบรรทุกบีไอดี} \times \text{พื้นที่รับน้ำ}}{\text{อัตราการไหลของน้ำเสีย}}$$

คำนวณภาวะบรรทุกบีไอดีที่อัตราการไหลของน้ำเสีย 4 ลิตร/วัน

$$\therefore \text{บีไอดี} = \frac{(0.6 \text{ มก./ซม.}^2\text{-วัน}) \times (30 \text{ ซม.} \times 60 \text{ ซม.})}{4 \text{ ลิตร/วัน}}$$

$$= 270 \text{ มก./วัน}$$

$$\therefore \text{ซีไอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบ} = 2 \times 270 = 540 \text{ มก./ลิตร}$$

ค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบที่ใช้ในการทดลองคือ 500 มก./ลิตร

ภาคผนวก ค.

อัตราการสูญเสียไนโตรเจนจากระบบเนื่องจากกระบวนการ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

ค.1 หลักการ

การสูญเสียไนโตรเจนเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นตัวกลางนับเป็นการสูญเสียหลักในระบบบึงประดิษฐ์ อัตราการสูญเสียไนโตรเจนด้วยกระบวนการดังกล่าว กระทำได้โดยหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน แล้วเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งสอง ปฏิกิริยาใดเกิดขึ้นช้ากว่าจะเป็นปฏิกิริยาที่ควบคุมอัตราการสูญเสียไนโตรเจนของระบบ

ค.2 วิธีการ

วิธีการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน สามารถกระทำได้ในห้องทดลอง โดยเก็บตัวอย่างทรายที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบมาวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งระเหยไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท

การวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันดำเนินการดังนี้ (Kim, 1986)

- 1) นำตัวอย่างทราย 100 กรัมใส่ลงในถัง เติมน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง 10 ลิตร
- 2) ระหว่างทำการทดลอง เติมออกซิเจนลงในขวดเพื่อควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 มก./ล. และมีการกวนผสม
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำในขวดมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน และไนเตรท ทุกชั่วโมงในช่วง 3 ชั่วโมงแรก ต่อจากนั้นวิเคราะห์ทุก 6 ชั่วโมงจนครบ 2 วัน และวิเคราะห์วันละหนึ่งครั้งจนครบ 1 สัปดาห์ หรือจนกระทั่ง ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจน และไนเตรทคงที่

สำหรับการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันดังนี้ (Andreadakis and Chatjikonstantinou, 1994)

- 1) ใช้น้ำเสียที่เหลือจากการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันโดยหยุดเติมอากาศแล้ว วิเคราะห์หาความเข้มข้นของไนเตรททุก 30 นาที จนกระทั่งสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของไนเตรทเริ่มลดลง แสดงว่าปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้เกิดขึ้นแล้ว
- 2) เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นไนเตรท ทุกชั่วโมงในช่วง 3 ชั่วโมงแรก ต่อจากนั้นวิเคราะห์ทุก 6 ชั่วโมงจนครบ 2 วัน และวิเคราะห์วันละหนึ่งครั้งจนครบ 1 สัปดาห์

ค.3 ผลการทดลอง

ค.3.1 การวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

การวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในชั้นตัวกลางทรายของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่าง ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ได้ผลดังตารางที่ ค.1 – ค.3 จากผลดังกล่าวเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนโตรเจนรวมซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันไม่ได้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากระบบ

ค.3.2 การวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

การวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในชั้นตัวกลางทรายของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่าง ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน ได้ผลดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช							
ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน							
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ	DO	ORP	ความเข้มข้นไนโตรเจนในรูป (mg.-N/l.)			
				อินทรีย์	แอมโมเนีย	ไนเตรท	รวม
	(C)	(mg./l.)	(mV.)				
0	26.2	1.25	76.23	19	21	0.1	40.1
1	26.2	1.85	90.54	19	21	0.1	40.1
2	25.9	1.88	96.54	18	22	0.1	40.1
3	27.1	1.47	92.36	17	23	0.5	40.5
6	26.5	1.11	88.74	12	26	1.3	39.3
12	26.6	1.23	94.45	8	31	2.2	41.2
18	25.4	1.54	94.01	10	26	3.1	39.1
24	25.8	1.66	94.36	7	25	6.6	38.6
30	26.9	1.49	95.23	4	27	8.4	39.4
36	26.2	1.35	93.54	4	22	13.4	39.4
42	25.4	1.37	92.58	5	20	14.9	39.9
48	25.6	1.26	94.78	4	15	20.4	39.4
60	26.4	1.27	95.02	5	15	19.6	39.6
72	26.4	1.49	94.79	5	10	24.2	39.2
96	25.1	1.83	94.27	4	7	27.3	38.3
120	27.5	1.52	94.67	5	6	28.5	39.5
144	26.6	1.64	95.18	5	6	28.9	39.9
168	26.9	1.47	94.55	5	6	28.3	39.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ							
ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน							
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ (C)	DO (mg./l.)	ORP (mV.)	ความเข้มข้นไนโตรเจนในรูป (mg.- N/l.)			
				อินทรีย์	แอมโมเนีย	ไนเตรท	รวม
0	25.9	1.02	89.98	22	19	N/D	41.0
1	25.8	1.35	98.58	23	19	0.1	42.1
2	26.1	1.11	98.47	21	20	0.1	41.1
3	26.4	1.12	99.36	18	22	0.7	40.7
6	25.4	1.14	98.05	16	24	1.9	41.9
12	25.9	1.45	102.35	17	23	2.2	42.2
18	26.5	1.56	94.69	15	23	3.3	41.3
24	27.1	1.35	94.25	13	23	4.8	40.8
30	25.9	1.25	103.58	11	24	5.7	40.7
36	26.4	1.26	100.56	9	18	13.4	40.4
42	26.6	1.27	94.69	8	16	16.8	40.8
48	26.6	1.36	92.58	7	12	22.7	41.7
60	26.5	1.14	93.58	6	7	28.9	41.9
72	25.7	1.76	95.79	5	6	31.4	42.4
96	25.1	1.55	93.25	5	5	31.1	41.1
120	25.5	1.69	99.47	4	5	30.4	39.4
144	25.4	1.64	98.13	4	6	31.1	41.1
168	25.8	1.56	96.54	4	5	31.2	40.2

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี							
ที่ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน							
ชั่วโมงที่	อุณหภูมิน้ำ	DO	ORP	ความเข้มข้นไนโตรเจนในรูป (mg.-N/l.)			
				อินทรีย์	แอมโมเนีย	ไนเตรท	รวม
	(C)	(mg./l.)	(mV.)				
0	26.4	1.22	99.63	19	17	0.2	36.2
1	26.6	1.03	94.25	20	16	0.1	36.1
2	26.4	1.18	92.36	19	17	0.6	36.6
3	26.2	1.23	100.23	17	19	0.4	36.4
6	26.4	1.23	96.47	15	21	1.8	37.8
12	25.9	1.11	92.39	13	20	3.4	36.4
18	25.5	1.14	99.46	11	22	3.5	36.5
24	25.8	1.15	96.69	9	17	9.5	35.5
30	27.1	1.12	96.25	10	15	13.7	38.7
36	25.1	1.26	95.25	8	10	19.2	37.2
42	25.6	1.35	94.68	5	8	23.4	36.4
48	26.4	1.41	96.34	3	6	28.8	37.8
60	26.3	1.25	102.36	2	4	30.5	36.5
72	27.4	1.28	95.27	3	5	27.5	35.5
96	25.8	1.35	93.24	2	6	24.4	32.4
120	26.3	1.56	103.69	4	4	28.9	36.9
144	26.4	1.54	101.39	3	5	29.2	37.2
168	27.5	1.21	97.28	3	5	29.0	37.0

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกพืชชนิดต่างๆ						
ที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
ชั่วโมงที่	ไม่ปลูกพืช		ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ		ปลูกต้นธูปฤๅษี	
	ORP (mV.)	ไนเตรท (mg.-N/l.)	ORP (mV.)	ไนเตรท (mg.-N/l.)	ORP (mV.)	ไนเตรท (mg.-N/l.)
0	-156.69	28.3	-159.03	31.2	-150.36	29.0
1	-153.58	28.3	-160.23	30.9	-150.47	28.5
2	-154.69	28.1	-159.85	31.0	-154.21	28.1
3	-156.69	27.5	-158.36	29.7	-156.47	27.8
6	-157.23	24.9	-160.24	29.3	-153.77	26.0
12	-152.36	25.0	-158.39	28.2	-154.02	24.8
18	-152.96	24.4	-154.57	30.5	-162.16	25.4
24	-151.69	22.5	-164.23	26.1	-143.27	21.3
30	-149.58	23.7	-154.25	25.2	-158.88	24.3
36	-158.23	20.5	-162.36	22.5	-163.46	19.2
42	-164.36	18.2	-162.37	18.1	-164.24	14.4
48	-174.58	19.4	-152.37	21.2	-158.73	16.4
60	-169.25	14.6	-145.73	19.6	-156.27	14.9
72	-164.25	14.2	-162.44	18.8	-164.95	11.5
96	-168.52	11.1	-159.22	20.2	-164.52	8.5
120	-166.42	12.3	-168.24	13.1	-	-
144	-164.25	9.2	-175.26	10.2	-	-
168	-167.61	5.4	-157.95	7.2	-	-
จากตารางที่ ค.4 นำมาสร้างกราฟเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1						
ได้ดังรูปที่ 4.12, 4.23 และ 4.35						

ภาคผนวก ง

รายละเอียด

ผลการทดลอง

ง.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช							
ง.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน							
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 กันยายน 2542							
ตารางที่ ง.1 คุณภูมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ไม่ปลูกพืช ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน							
จำนวนวัน	วันที่	คุณภูมิน้ำ	คุณภูมิอากาศ	พีเอช		การระเหย (ล./วัน)	
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก		
5	10/9/1942	25.0	26.5	6.4	6.9	0.2	
8	13/9/1942	25.0	27.7	6.8	6.9	0.3	
10	15/9/1942	24.9	26.5	6.9	7.1	0.3	
12	17/9/1942	24.5	25.6	7.7	7.2	0.3	
15	20/9/1942	25.2	26.9	6.6	7.3	0.3	
17	22/9/1942	26.3	27.3	8.1	6.9	0.2	
19	24/9/1942	26.6	28.9	6.5	7.3	0.0	
22	27/9/1942	26.2	28.6	6.4	6.9	0.4	
24	29/9/1942	25.7	27.3	6.5	7.2	0.2	
27	2/10/1942	26.5	27.8	7.9	7.0	0.2	
29	4/10/1942	25.9	28.1	8.1	7.1	0.2	
31	6/10/1942	25.5	27.6	8.0	7.1	0.3	
33	8/10/1942	25.5	27.2	7.2	7.2	0.3	
36	11/10/1942	25.3	28.4	6.8	7.4	0.2	
38	13/10/1942	25.4	28.3	6.8	7.3	0.2	
40	15/10/1942	26.9	27.7	6.9	7.3	0.2	
43	18/10/1942	26.1	28.1	6.4	7.1	0.2	
47	22/10/1942	25.4	26.4	6.5	6.9	0.2	
54	29/10/1942	25.0	27.1	7.7	6.9	0.2	
61	5/11/1942	25.8	27.0	6.6	7.2	0.0	

ตารางที่ ง.2 ซีโอดีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	%rem
5	#####	503	364	293	284	213	267	391	22.3
8	#####	512	345	265	358	233	289	368	28.1
10	#####	489	419	307	351	297	344	358	26.8
12	#####	492	344	339	341	285	302	376	23.6
15	#####	502	385	351	355	372	310	375	25.3
17	#####	528	396	284	349	262	298	382	27.7
19	#####	509	405	381	348	350	362	371	27.1
22	#####	509	411	385	352	275	322	355	30.3
24	#####	490	416	392	349	347	284	290	40.8
27	#####	505	422	391	352	341	322	310	38.6
29	#####	512	410	385	356	341	331	315	38.5
31	#####	501	425	390	348	342	325	311	37.9
33	#####	505	423	388	351	349	326	312	38.2
36	#####	502	-	-	-	-	-	311	38.0
38	#####	510	-	-	-	-	-	316	38.0
40	#####	496	420	386	351	350	324	305	38.5
43	#####	522	-	-	-	-	-	314	39.8
47	#####	499	416	382	351	346	329	313	37.3
54	#####	500	419	394	355	348	328	313	37.4
61	#####	511	409	389	349	351	325	311	39.1
หน่วย : มก./ล.									

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และสี ของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลุกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
5	10/9/42	1.1	0.8	27.3	95.5	2.2	97.7	-	-	-
8	13/9/42	0.8	0.7	12.5	-	-	-	-	-	-
10	15/9/42	0.9	0.7	22.2	96.1	5.3	92.3	-	-	-
12	17/9/42	1.0	0.5	50.0	-	-	-	-	-	-
15	20/9/42	0.7	0.9	-	77.4	11.1	85.6	82.25	63.09	23.3
17	22/9/42	0.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-
19	24/9/42	0.9	0.9	0.0	-	-	-	-	-	-
22	27/9/42	0.8	0.9	-	90.0	N/D	100.0	76.21	61.12	19.8
24	29/9/42	1.0	0.8	20.0	-	-	-	78.52	61.05	22.2
27	2/10/42	1.2	0.8	33.3	-	-	-	-	-	-
29	4/10/42	0.6	0.6	0.0	51.2	4.4	91.4	73.30	61.52	16.1
31	6/10/42	0.7	0.9	-	-	-	-	-	-	-
33	8/10/42	1.2	1.0	16.7	-	-	-	-	-	-
36	11/10/42	1.5	1.1	26.7	63.3	6.2	90.2	-	-	-
38	13/10/42	0.8	0.8	0.0	-	-	-	72.22	62.08	14.0
40	15/10/42	1.2	0.8	33.3	-	-	-	79.52	62.40	21.5
43	18/10/42	0.9	0.9	0.0	79.2	3.0	96.2	65.59	61.12	6.8
47	22/10/42	0.9	0.7	22.2	-	-	-	71.20	61.35	13.8
54	29/10/42	0.9	0.7	22.2	72.5	N/D	100.0	75.03	63.55	15.3
61	5/11/42	1.0	1.1	-	91.1	7.7	91.6	74.35	62.11	16.5

ตารางที่ ง.4 ไอออนพีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลุกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	27/9/42	-43.55	-75.52	-85.55	-97.78	-90.05	-95.58	-99.27
27	2/10/42	-55.81	-68.77	-76.62	-92.23	-89.98	-94.03	-84.32
31	6/10/42	-48.12	-73.24	-84.48	-85.95	-101.01	-87.73	-88.91
36	11/10/42	-60.51	-79.25	-89.51	-101.21	-91.21	-105.09	-95.50
40	15/10/42	-51.13	-67.08	-78.95	-91.11	-90.36	-88.05	-99.22
43	18/10/42	-49.91	-72.24	-81.46	-102.05	-94.02	-90.35	-75.52
47	22/10/42	-56.12	-73.68	-84.49	-98.56	-108.87	-104.45	-91.89
54	29/10/42	-43.89	-77.21	-85.64	-94.02	-90.05	-86.79	-104.24
61	5/11/42	-61.27	-66.48	-89.22	-100.59	-88.98	-94.99	-98.71

ตารางที่ 4.5 โน้ตคะแนนในรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ การประเมินค่า 3.0 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย							ซิงค์							ไนเตรท							
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	
5	10/9/42	24	25	22	23	25	24	22	18	20	21	22	22	21	23	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	
8	13/9/42	27	25	25	20	21	22	25	27	25	23	24	21	20	22	N/D	0.2	N/D	N/D	N/D	0.2	0.1	
10	15/9/42	26	-	-	23	-	-	21	20	-	-	24	-	-	26	N/D	-	-	N/D	-	-	N/D	
12	17/9/42	28	26	27	25	24	22	25	28	24	24	25	22	22	24	0.5	N/D	0.2	0.1	N/D	0.1	0.2	
15	20/9/42	26	-	-	24	-	-	22	24	-	-	27	-	-	27	N/D	-	-	0.1	-	-	0.1	
17	22/9/42	26	27	25	24	21	22	24	22	24	24	24	25	23	23	N/D	0.3	0.1	N/D	N/D	N/D	N/D	
19	24/9/42	23	25	26	26	24	23	21	23	23	22	22	23	23	24	1.0	N/D	N/D	N/D	0.2	N/D	N/D	
22	27/9/42	25	26	24	24	25	23	23	25	23	23	24	24	22	23	0.2	0.2	0.1	N/D	N/D	0.2	N/D	
24	29/9/42	26	-	-	23	-	-	20	21	-	-	23	-	-	24	N/D	-	-	N/D	-	-	0.1	
27	2/10/42	24	24	23	23	21	20	21	23	22	22	23	24	22	22	N/D	0.1	N/D	0.1	N/D	N/D	N/D	
29	4/10/42	25	-	-	21	-	-	18	21	24	-	-	23	-	-	23	1.1	-	-	N/D	-	-	0.1
31	6/10/42	25	25	23	22	19	19	19	19	22	23	24	24	24	23	N/D	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.4	
33	8/10/42	23	-	-	20	-	-	20	24	-	-	21	-	-	20	0.7	-	-	0.2	-	-	0.3	
36	11/10/42	22	24	23	20	21	19	20	22	23	23	24	25	24	23	N/D	-	-	0.2	-	-	0.1	
38	13/10/42	20	-	-	18	-	-	21	20	-	-	21	-	-	22	0.6	0.4	N/D	N/D	N/D	0.2	N/D	
40	15/10/42	28	25	22	21	20	19	21	27	26	25	25	23	23	24	N/D	0.4	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	
43	18/10/42	18	-	-	18	-	-	18	23	-	-	25	-	-	25	0.1	-	-	N/D	-	-	N/D	
47	22/10/42	26	-	-	23	19	21	21	18	26	25	25	23	20	24	23	0.2	N/D	N/D	N/D	N/D	0.1	0.3
54	29/10/42	22	-	-	20	-	-	18	24	-	-	25	-	-	24	N/D	-	-	0.1	-	-	N/D	
61	5/11/42	23	23	24	21	19	16	18	22	23	23	24	24	26	24	N/D	N/D	N/D	0.1	N/D	0.1	0.1	

หน่วย : mg-N/l.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน						
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 มกราคม 2543						
ตารางที่ ง.6 คุณทฤษฎี พีเอชและการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ไม่ปลูกพืช ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	คุณทฤษฎีน้ำ	คุณทฤษฎีอากาศ	พีเอช		การระเหย
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	(ล./วัน)
6	10/1/1943	24.8	27.5	6.6	6.9	0.4
10	14/1/1943	25.1	26.8	8.4	7.1	0.2
13	17/1/1943	24.2	27.9	8.0	7.0	0.3
15	19/1/1943	25.0	28.3	7.9	7.2	0.2
17	21/1/1943	24.5	27.6	8.4	7.3	0.3
20	24/1/1943	25.0	27.9	8.3	7.3	0.3
22	26/1/1943	24.0	25.8	8.3	7.2	0.3
24	28/1/1943	24.9	26.9	8.0	7.1	0.2
27	31/1/1943	25.3	26.8	8.2	6.9	0.2
29	2/2/1943	25.0	28.7	7.6	6.9	0.4
31	4/2/1943	25.8	27.7	7.9	7.0	0.3
34	7/2/1943	25.5	27.5	8.1	7.2	0.3
36	9/2/1943	24.9	27.6	6.5	7.0	0.0
38	11/2/1943	24.5	27.5	8.3	6.9	0.2
41	14/2/1943	25.1	28.2	8.5	7.1	0.3
45	18/2/1943	25.1	28.1	8.1	7.3	0.2
49	22/2/1943	25.2	28.3	7.8	6.9	0.3
52	25/2/1943	25.4	28.4	7.7	7.1	0.2

ตารางที่ ง.7 ซีไอดีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
6	#####	504	218	195	155	118	120	159	68.5
10	#####	490	302	218	225	199	232	220	55.1
13	#####	518	345	283	231	222	289	312	39.8
15	#####	502	333	369	250	280	318	351	30.1
17	#####	502	418	365	255	264	254	369	26.5
20	#####	503	380	356	269	290	230	244	51.5
22	#####	499	375	295	280	281	199	244	51.1
24	#####	496	385	394	298	277	288	275	44.6
27	#####	510	391	372	285	285	265	281	44.9
29	2/2/1943	500	374	361	311	289	291	291	41.8
31	4/2/1943	494	382	362	292	275	281	275	44.3
34	7/2/1943	509	379	355	291	276	277	283	44.4
36	9/2/1943	513	-	-	-	-	-	284	44.6
38	#####	511	384	358	285	282	288	279	45.4
41	#####	504	-	-	-	-	-	288	42.9
45	#####	507	375	340	292	283	276	284	44.0
49	#####	507	-	-	-	-	-	295	41.8
52	#####	507	379	362	305	291	290	279	45.0
หน่วย : มก./ล.									

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.8 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และสี ของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
13	#####	1.1	0.9	18.2	78.9	8.5	89.2	75.02	62.02	17.3
15	#####	1.2	0.8	33.3	-	-	-	-	-	-
17	#####	1.0	0.8	20.0	-	-	-	76.65	61.11	20.3
20	#####	0.9	0.8	11.1	66.2	11.1	83.2	-	-	-
22	#####	0.8	0.9	-	-	-	-	77.87	61.09	21.5
24	#####	1.1	1.0	9.1	-	-	-	-	-	-
27	#####	0.8	1.2	-	52.5	9.9	81.1	65.21	61.89	5.1
29	2/2/1943	1.4	0.9	35.7	-	-	-	-	-	-
31	4/2/1943	0.9	0.9	0.0	-	-	-	74.45	61.97	16.8
34	7/2/1943	1.0	0.9	10.0	54.8	9.5	82.7	-	-	-
36	9/2/1943	1.1	1.1	0.0	-	-	-	74.89	62.03	17.2
38	#####	1.5	1.0	33.3	-	-	-	74.01	59.69	19.3
41	#####	0.9	1.0	-	67.2	3.2	95.2	-	-	-
45	#####	0.8	1.1	-	-	-	-	64.04	60.21	6.0
49	#####	1.1	0.8	27.3	92.1	2.2	97.6	74.11	61.02	17.7
52	#####	1.2	0.9	25.0	83.0	10.1	87.8	68.82	62.01	9.9

ตารางที่ ง.9 ไออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	#####	-54.59	-59.69	-95.89	-110.23	-108.08	-105.52	-95.59
27	#####	-41.23	-75.12	-103.35	-108.59	-110.95	-95.98	-94.48
31	4/2/1943	-43.51	-56.08	-98.86	-98.52	-106.68	-106.66	-103.37
36	9/2/1943	-40.95	-59.18	-103.48	-100.23	-111.80	-105.48	-95.05
41	#####	-39.05	-58.11	-100.29	-102.32	-102.22	-102.36	-98.12
45	#####	-40.98	-60.87	-99.54	-99.87	-108.56	-108.58	-98.08
52	#####	-41.45	-65.88	-97.16	-110.03	-109.55	-102.91	-100.26

ตารางที่ 4.10 ในไตรภาคนี้สรุปค่าของน้ำเสียในระบบที่ขับไปสู่อ่างน้ำใส ภาควิทยบริการ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย					ซิงค์					ไนเตรท										
		นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก	นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก	นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก
6	10/1/43	26	25	23	24	26	22	26	22	21	22	24	23	22	20	0.2	N/D	0.1	0.4	0.2	0.1	N/D
10	14/1/43	26	28	27	22	22	21	23	24	22	22	20	22	17	15	N/D	0.2	0.3	0.7	0.4	0.7	0.8
13	17/1/43	28	26	28	29	27	24	20	22	20	20	19	19	18	13	N/D	0.1	N/D	0.4	0.7	1.0	1.2
15	19/1/43	27	-	-	30	-	-	22	21	-	-	19	-	-	11	0.1	-	-	0.5	-	-	1.3
17	21/1/43	29	25	26	32	27	23	19	23	20	18	19	20	21	17	-	-	-	-	-	-	-
20	24/1/43	25	28	27	35	29	25	23	29	19	17	20	19	19	16	0.2	0.1	0.5	0.2	0.5	0.9	1.5
22	26/1/43	24	-	-	35	-	-	25	20	-	-	21	-	-	11	N/D	-	-	0.6	-	-	1.4
24	28/1/43	26	23	29	29	26	24	25	23	22	21	18	16	17	15	0.1	N/D	0.4	0.6	0.6	1.0	1.4
27	31/1/43	26	27	30	35	26	24	24	23	20	18	17	19	15	13	N/D	0.2	0.4	0.4	0.5	1.1	1.1
29	2/2/43	28	25	30	32	28	26	22	25	21	19	19	21	16	18	N/D	0.3	0.2	0.3	0.7	0.8	1.3
31	4/2/43	24	26	28	34	31	27	22	22	22	24	16	17	17	16	N/D	0.2	0.5	0.5	0.6	0.7	1.3
34	7/2/43	23	-	-	30	-	-	25	21	-	-	19	-	-	17	N/D	-	-	0.1	-	-	1.5
36	9/2/43	24	28	29	32	27	26	23	17	20	21	18	14	12	18	0.3	0.2	0.3	0.6	0.6	0.9	1.6
38	11/2/43	25	26	29	32	28	26	24	25	22	19	20	16	16	15	N/D	0.3	0.5	0.7	0.7	1.0	1.3
41	14/2/43	26	-	-	33	-	-	25	23	-	-	16	-	-	15	0.2	-	-	0.4	-	-	1.1
45	18/2/43	27	25	27	29	26	24	24	21	21	15	17	16	15	13	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0
49	22/2/43	23	-	-	28	-	-	24	19	-	-	19	-	-	14	N/D	-	-	0.5	-	-	1.2
52	25/2/43	22	25	30	31	29	26	23	17	22	21	19	19	20	17	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	1.0	1.1

หน่วย : mg-N/L.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
เริ่มบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 มกราคม 2543						
ตารางที่ ง.11 คุณหมุมิ พีเอชและการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ไม่ปลูกพืช ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	คุณหมุมิน้ำ	คุณหมุมิอากาศ	พีเอช		การระเหย
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	(ล./วัน)
13	17/1/1943	24.2	27.9	8.0	7.0	0.2
15	19/1/1943	25.0	28.3	7.9	7.1	0.2
17	21/1/1943	24.5	27.6	8.4	7.1	0.2
20	24/1/1943	25.0	27.9	8.3	6.9	0.2
22	26/1/1943	24.0	25.8	8.3	7.0	0.2
24	28/1/1943	24.9	26.9	8.0	7.3	0.2
27	31/1/1943	25.3	26.8	8.2	6.8	0.2
29	2/2/1943	25.0	28.7	7.6	7.2	0.3
31	4/2/1943	25.8	27.7	7.9	7.2	0.3
34	7/2/1943	25.5	27.5	8.1	6.8	0.2
36	9/2/1943	24.9	27.6	6.5	7.1	0.2
38	11/2/1943	24.5	27.5	8.3	7.3	0.3
41	14/2/1943	25.1	28.2	8.5	6.9	0.2
45	18/2/1943	25.1	28.1	8.1	7.2	0.1
49	22/2/1943	25.2	28.3	7.8	7.1	0.2
52	25/2/1943	25.4	28.4	7.7	6.9	0.3

ตารางที่ ง.12 ซีไอดีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
13	#####	518	420	416	368	335	298	254	51.0
15	#####	502	381	372	341	304	261	267	46.8
17	#####	502	369	366	299	311	264	251	50.0
20	#####	503	359	292	305	257	248	233	53.7
22	#####	499	364	281	257	239	212	225	54.9
24	#####	496	372	291	251	301	233	222	55.2
27	#####	510	359	285	254	245	229	224	56.1
29	2/2/1943	500	358	277	246	238	236	218	56.4
31	4/2/1943	494	367	285	318	240	234	230	53.4
34	7/2/1943	509	365	277	253	237	226	226	55.6
36	9/2/1943	513	348	275	250	241	233	235	54.2
38	#####	511	-	-	-	-	-	242	52.6
41	#####	504	355	295	259	232	239	227	55.0
45	#####	507	-	-	-	-	-	233	54.0
49	#####	507	367	281	245	244	234	239	52.9
52	#####	507	374	301	265	236	227	227	55.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.13 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอย และสี ของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
13	#####	1.1	0.8	27.3	78.9	N/D	100.0	75.02	39.01	48.0
15	#####	1.2	0.6	50.0	-	-	-	-	-	-
17	#####	1.0	0.7	30.0	-	-	-	76.65	38.89	49.3
20	#####	0.9	0.9	0.0	66.2	5.5	91.7	-	-	-
22	#####	0.8	0.8	0.0	-	-	-	77.87	38.50	50.6
24	#####	1.1	0.9	18.2	-	-	-	-	-	-
27	#####	0.8	0.8	0.0	52.5	4.1	92.2	65.21	39.65	39.2
29	2/2/1943	1.4	1.0	28.6	-	-	-	-	-	-
31	4/2/1943	0.9	1.1	-	-	-	-	74.45	38.02	48.9
34	7/2/1943	1.0	0.8	20.0	54.8	6.9	87.4	-	-	-
36	9/2/1943	1.1	0.8	27.3	-	-	-	74.89	39.87	46.8
38	#####	1.5	0.9	40.0	-	-	-	74.01	38.52	48.0
41	#####	0.9	0.6	33.3	67.2	7.4	89.0	-	-	-
45	#####	0.8	0.7	12.5	-	-	-	64.04	38.68	39.6
49	#####	1.1	1.2	-	92.1	2.2	97.6	74.11	39.02	47.3
52	#####	1.2	0.7	41.7	83.0	11.4	86.3	68.82	38.90	43.5

ตารางที่ ง.14 โออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่ไม่ปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	#####	-54.59	-60.22	-70.01	-115.58	-150.12	-169.36	-155.99
27	#####	-41.23	-56.69	-67.88	-112.38	-161.06	-168.23	-152.25
31	4/2/1943	-43.51	-59.21	-65.99	-110.56	-165.56	-167.89	-158.73
36	9/2/1943	-40.95	-57.23	-67.78	-110.23	-155.29	-168.25	-155.69
41	#####	-39.05	-59.47	-67.44	-113.35	-147.85	-169.06	-154.42
45	#####	-40.98	-60.52	-65.02	-112.34	-167.74	-170.21	-158.87
52	#####	-41.45	-62.03	-64.89	-111.05	-165.59	-169.92	-158.22

ตารางที่ ๑.15 โมเดลประเมินรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่มีปลูกต้นไม้ ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ระบบเม็ย					อินทรีย์					ในสภ										
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
10	14/1/43	26	28	26	27	25	24	24	24	22	22	20	22	17	15	N/D	0.2	0.3	0.7	0.7	1.1	2.3
13	17/1/43	28	26	28	29	27	20	20	22	20	20	19	19	18	13	N/D	0.1	N/D	0.4	0.7	1.0	1.2
15	19/1/43	27	-	-	26	-	-	22	21	-	-	19	-	-	11	0.1	-	-	0.5	-	-	1.3
17	21/1/43	28	25	31	25	23	15	19	23	20	18	19	20	21	17	0.1	-	-	-	-	-	-
20	24/1/43	25	28	30	23	21	13	13	29	19	17	20	19	19	16	0.2	0.1	0.5	0.2	0.5	0.9	1.5
24	28/1/43	26	28	34	19	11	10	9	23	18	11	8	7	5	4	0.1	0.4	1.9	7.1	6.3	4.9	3.1
27	31/1/43	26	29	32	20	11	9	9	23	19	12	7	5	4	3	N/D	0.3	1.8	6.6	6.2	6.1	3.3
29	2/2/43	28	26	33	18	12	8	9	25	16	10	7	5	3	2	N/D	0.1	2.0	7.1	5.9	5.2	3.3
31	4/2/43	24	-	-	17	-	-	10	22	-	-	6	-	-	3	N/D	-	-	7.2	-	-	3.1
34	7/2/43	23	32	36	18	10	9	8	21	18	13	9	6	4	4	N/D	0.4	2.1	7.3	5.9	5.3	2.8
36	9/2/43	24	-	-	19	-	-	7	17	-	-	8	-	-	N/D	0.3	0.5	1.8	6.6	5.8	4.8	3.5
38	11/2/43	25	28	31	19	12	10	6	25	15	12	7	7	4	2	N/D	0.2	1.7	7.0	5.7	5.1	2.7
41	14/2/43	26	27	32	21	8	12	11	23	16	12	9	8	7	3	0.2	0.4	1.8	6.8	6.1	5.1	3.0
45	18/2/43	27	-	-	20	-	-	9	21	-	-	4	-	-	4	0.1	-	-	7.1	-	-	1.1
49	22/2/43	23	28	36	19	9	8	8	19	18	13	8	8	3	4	N/D	0.5	1.9	6.6	6.3	4.9	3.4
52	25/2/43	22	29	35	18	11	10	8	17	15	13	7	6	2	N/D	0.3	0.2	2.2	7.2	5.8	5.0	3.2

หน่วย : mg-N/l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ						
ง.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน						
เริ่มบ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 กันยายน 2542						
ตารางที่ ง.16 คุณภูมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ						
ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	พีเอช		การระเหย (ล./วัน)
				น้ำเข้า	น้ำออก	
5	10/9/1942	27.5	29.8	6.4	7.0	0.3
8	13/9/1942	29.6	30.2	6.8	7.1	0.3
10	15/9/1942	29.5	31.5	6.9	7.1	0.3
12	17/9/1942	29.0	31.3	7.7	6.8	0.4
15	20/9/1942	29.8	32.1	6.6	7.4	0.2
17	22/9/1942	28.8	30.8	8.1	7.3	0.3
19	24/9/1942	28.7	30.9	6.5	7.0	0.3
22	27/9/1942	28.1	29.8	6.4	7.2	0.3
24	29/9/1942	25.7	28.5	6.5	7.4	0.2
27	2/10/1942	29.1	30.4	7.9	7.3	0.2
29	4/10/1942	26.0	29.1	8.1	7.3	0.3
31	6/10/1942	29.7	32.1	8.0	7.3	0.4
33	8/10/1942	30.9	34.2	7.2	7.1	0.4
36	11/10/1942	32.1	33.5	6.8	7.0	0.3
38	13/10/1942	26.5	29.7	6.8	6.8	0.3
40	15/10/1942	27.0	30.4	6.9	7.1	0.3
43	18/10/1942	29.9	32.5	6.4	7.3	0.3
47	22/10/1942	32.0	33.3	6.5	6.9	0.3
54	29/10/1942	27.7	29.5	7.7	6.8	0.3
61	5/11/1942	28.6	30.6	6.6	7.2	0.2

ตารางที่ ง.17 ซีไอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอค ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
5	#####	503	356	255	133	204	213	373	25.8
8	#####	512	386	265	265	242	260	377	26.4
10	#####	489	424	344	293	256	298	419	14.3
12	#####	492	388	252	254	235	301	399	18.9
15	#####	502	375	365	280	233	325	356	29.1
17	#####	528	381	365	310	248	322	336	36.4
19	#####	509	416	380	360	263	308	303	40.5
22	#####	509	377	371	305	270	300	312	38.7
24	#####	490	351	360	295	269	310	306	37.6
27	#####	505	369	360	274	244	296	320	36.6
29	#####	512	402	354	275	259	302	315	38.5
31	#####	501	422	350	280	254	298	300	40.1
33	#####	505	398	360	286	264	300	295	41.6
36	#####	502	376	355	286	260	311	310	38.2
38	#####	510	382	350	278	256	295	316	38.0
40	#####	496	385	352	271	254	295	320	35.5
43	#####	522	-	-	-	-	-	311	40.4
47	#####	499	385	349	278	260	305	299	40.1
54	#####	500	-	-	-	-	-	308	38.4
61	#####	511	371	361	284	266	300	305	40.3

ตารางที่ ง.18 ฟอสฟอรัส ของแข็งแวนลอย และสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
5	10/9/42	1.1	0.9	18.2	95.5	10.8	88.7	-	-	-
8	13/9/42	0.8	0.6	25.0	-	-	-	-	-	-
10	15/9/42	0.9	0.8	11.1	69.1	9.6	86.1	-	-	-
12	17/9/42	1.0	0.8	20.0	-	-	-	-	-	-
15	20/9/42	0.7	0.7	0.0	77.4	8.8	88.6	82.25	62.21	24.4
17	22/9/42	0.5	0.8	-	-	-	-	-	-	-
19	24/9/42	0.9	1.0	-	-	-	-	-	-	-
22	27/9/42	0.8	0.7	12.5	90.0	9.2	89.8	76.21	62.02	19.9
24	29/9/42	1.0	0.7	30.0	-	-	-	78.52	61.15	22.1
27	2/10/42	1.2	0.9	25.0	-	-	-	-	-	-
29	4/10/42	0.6	0.9	-	51.2	N/D	100.0	73.30	61.18	16.5
31	6/10/42	0.7	0.7	0.0	-	-	-	-	-	-
33	8/10/42	1.2	1.0	16.7	-	-	-	-	-	-
36	11/10/42	1.5	0.6	60.0	63.3	5.1	91.9	-	-	-
38	13/10/42	0.8	0.7	12.5	-	-	-	72.22	60.90	15.7
40	15/10/42	1.2	0.8	33.3	-	-	-	79.52	61.13	23.1
43	18/10/42	0.9	0.6	33.3	79.2	5.6	92.9	65.59	58.81	10.3
47	22/10/42	0.9	0.9	0.0	-	-	-	71.20	61.22	14.0
54	29/10/42	0.9	0.6	33.3	72.5	8.1	88.8	75.03	61.04	18.6
61	5/11/42	1.0	0.6	40.0	91.1	N/D	100.0	74.35	61.11	17.8

ตารางที่ ง.19 ไอออนพีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	27/9/42	-43.55	-73.88	-90.25	-93.35	-99.65	-95.14	-93.93
27	2/10/42	-55.81	-76.65	-89.72	-97.87	-94.46	-98.84	-95.41
31	6/10/42	-48.12	-79.25	-86.62	-91.02	-92.22	-93.22	-92.11
36	11/10/42	-60.51	-72.27	-93.65	-83.19	-96.34	-95.53	-84.48
40	15/10/42	-51.13	-64.52	-90.14	-96.26	-98.78	-91.24	-95.58
43	18/10/42	-49.91	-73.55	-81.44	-95.21	-94.43	-95.66	-92.23
47	22/10/42	-56.12	-71.06	-95.96	-93.22	-95.56	-93.34	-93.21
54	29/10/42	-43.89	-79.02	-90.11	-98.88	-96.61	-94.45	-89.51
61	5/11/42	-61.27	-77.54	-92.24	-94.41	-98.11	-94.18	-91.28

ตารางที่ ๑.20 ไนโตรเจนในรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่ปลูกพืชเชิงกลบดินเพาะ การประเมินน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย							ไนเตรต							ไนเตรท						
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
5	10/9/42	24	27	14	9	27	24	20	18	16	17	14	15	15	15	N/D	0.1	N/D	N/D	N/D	0.3	N/D
8	13/9/42	27	17	13	12	11	8	12	27	18	17	16	14	14	12	N/D	0.3	N/D	0.1	0.1	N/D	N/D
10	15/9/42	26	26	20	13	-	11	19	20	-	-	12	-	13	12	N/D	N/D	0.1	0.2	0.2	N/D	N/D
12	17/9/42	28	26	20	9	27	16	25	28	21	15	13	14	16	16	0.5	N/D	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
15	20/9/42	26	-	-	15	-	-	22	24	-	-	15	-	-	14	N/D	-	-	0.1	-	-	0.3
17	22/9/42	26	24	24	20	15	20	17	22	-	-	17	-	-	17	N/D	-	-	N/D	-	-	0.3
19	24/9/42	23	20	17	9	17	17	10	23	17	17	13	13	12	14	1.0	N/D	0.4	0.3	0.2	0.3	N/D
22	27/9/42	26	24	24	23	22	22	22	26	18	17	15	13	15	15	0.2	0.2	N/D	0.4	N/D	0.3	0.1
24	29/9/42	26	24	16	20	18	24	23	21	18	16	14	11	11	11	N/D	0.3	0.5	N/D	0.1	0.2	0.3
27	2/10/42	24	25	20	23	15	26	22	23	16	17	12	12	13	13	N/D	N/D	N/D	0.1	0.3	N/D	0.4
29	4/10/42	25	-	-	20	-	-	21	24	-	-	16	-	-	15	1.1	-	-	N/D	-	-	0.2
31	6/10/42	25	-	-	22	-	-	20	19	-	-	17	-	-	15	N/D	-	-	N/D	-	-	0.2
33	8/10/42	23	25	23	19	26	20	16	24	16	20	19	15	14	14	0.7	-	-	0.3	-	-	N/D
36	11/10/42	22	-	-	20	-	-	18	22	-	-	16	-	-	15	N/D	-	-	0.2	-	-	0.3
38	13/10/42	20	18	17	15	16	16	16	20	18	12	16	12	12	17	0.6	0.2	N/D	0.2	0.3	0.4	0.1
40	15/10/42	28	-	-	20	-	-	19	27	-	-	18	-	-	14	N/D	-	-	N/D	-	-	N/D
43	18/10/42	18	22	19	23	24	22	15	23	21	19	20	15	15	16	0.1	N/D	0.3	N/D	N/D	0.2	0.3
47	22/10/42	26	-	-	16	-	-	19	26	-	-	19	-	-	15	0.2	-	-	N/D	-	-	0.3
54	29/10/42	22	-	-	19	-	-	22	24	-	-	16	-	-	13	N/D	-	-	0.1	-	-	0.2
61	5/11/42	23	20	18	23	19	20	17	22	23	28	15	15	15	13	N/D	N/D	0.2	0.3	N/D	N/D	0.1

หน่วย : mg-N/l.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอที่ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน						
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 กันยายน 2542						
ตารางที่ ง.21 คุณภูมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ						
ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	คุณภูมิน้ำ		พีเอช		การระเหย (ล./วัน)
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	
5	10/9/1942	27.4	29.8	6.4	6.8	0.4
8	13/9/1942	29.2	30.2	6.8	6.9	0.4
10	15/9/1942	29.5	31.5	6.9	7.0	0.3
12	17/9/1942	29.3	31.3	7.7	7.1	0.3
15	20/9/1942	30.1	32.1	6.6	6.9	0.4
17	22/9/1942	29.1	30.8	8.1	7.3	0.3
19	24/9/1942	28.8	30.9	6.5	6.8	0.4
22	27/9/1942	28.3	29.8	6.4	7.2	0.3
24	29/9/1942	25.5	28.5	6.5	7.0	0.4
27	2/10/1942	29.5	30.4	7.9	7.3	0.4
29	4/10/1942	26.4	29.1	8.1	7.4	0.3
31	6/10/1942	29.5	32.1	8.0	6.9	0.4
33	8/10/1942	30.6	34.2	7.2	6.8	0.3
36	11/10/1942	32.4	33.5	6.8	7.1	0.3
38	13/10/1942	26.5	29.7	6.8	7.0	0.2
40	15/10/1942	27.2	30.4	6.9	7.2	0.3
43	18/10/1942	30.1	32.5	6.4	7.3	0.4
47	22/10/1942	31.6	33.3	6.5	6.8	0.3
54	29/10/1942	27.5	29.5	7.7	7.3	0.2
61	5/11/1942	28.6	30.6	6.6	7.3	0.3

ตารางที่ ง.22 ซีโอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอค ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
5	#####	503	258	178	160	175	187	249	50.5
8	#####	512	344	205	182	172	247	293	42.8
10	#####	489	377	228	219	228	293	321	34.4
12	#####	492	350	220	222	230	293	311	36.8
15	#####	502	361	333	258	250	299	251	50.0
17	#####	528	285	345	279	250	285	336	36.4
19	#####	509	416	380	274	263	308	303	40.5
22	#####	509	377	332	285	264	312	273	46.4
24	#####	490	365	320	271	273	302	266	45.7
27	#####	505	365	342	277	275	308	253	49.9
29	#####	512	359	330	286	280	305	260	49.2
31	#####	501	387	326	269	271	300	263	47.5
33	#####	505	361	329	274	269	305	259	48.7
36	#####	502	-	-	-	-	-	260	48.2
38	#####	510	-	-	-	-	-	260	49.0
40	#####	496	372	334	275	268	305	267	46.2
43	#####	522	-	-	-	-	-	253	51.5
47	#####	499	368	334	266	270	295	255	48.9
54	#####	500	372	329	280	276	290	255	49.0
61	#####	511	375	340	275	275	321	268	47.6

ตารางที่ ง.23 ฟอสฟอรัส ของแข็งแรงแวนลอย และสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแรงแวนลอย(มก./ล.)			สี (เซสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
5	10/9/42	1.1	0.8	27.3	95.5	9.4	90.1	-	-	-
8	13/9/42	0.8	0.5	37.5	-	-	-	-	-	-
10	15/9/42	0.9	0.7	22.2	69.1	5.5	92.0	-	-	-
12	17/9/42	1.0	0.6	40.0	-	-	-	-	-	-
15	20/9/42	0.7	0.5	28.6	77.4	N/D	100.0	82.25	66.31	19.4
17	22/9/42	0.5	0.7	-	-	-	-	-	-	-
19	24/9/42	0.9	0.8	11.1	-	-	-	-	-	-
22	27/9/42	0.8	0.8	0.0	90.0	6.2	93.1	76.21	64.4	15.5
24	29/9/42	1.0	0.9	10.0	-	-	-	78.52	65.02	17.2
27	2/10/42	1.2	0.6	50.0	-	-	-	-	-	-
29	4/10/42	0.6	0.5	16.7	51.2	8.4	83.6	73.30	63.02	14.0
31	6/10/42	0.7	0.6	14.3	-	-	-	-	-	-
33	8/10/42	1.2	0.6	50.0	-	-	-	-	-	-
36	11/10/42	1.5	0.9	40.0	63.3	4.1	93.5	-	-	-
38	13/10/42	0.8	1.1	-	-	-	-	72.22	63.55	12.0
40	15/10/42	1.2	1.0	16.7	-	-	-	79.52	61.15	23.1
43	18/10/42	0.9	0.8	11.1	79.2	2.2	97.2	65.59	62.40	4.9
47	22/10/42	0.9	0.9	0.0	-	-	-	71.20	62.03	12.9
54	29/10/42	0.9	0.7	22.2	72.5	N/D	100.0	75.03	65.39	12.8
61	5/11/42	1.0	0.5	50.0	91.1	2.8	96.9	74.35	63.35	14.8

ตารางที่ ง.24 ไออาร์พีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	27/9/42	-43.55	-75.25	-100.23	-108.25	-107.68	-123.12	-99.45
27	2/10/42	-55.81	-78.89	-99.68	-111.23	-108.94	-112.58	-98.21
31	6/10/42	-48.12	-79.22	-108.69	-95.44	-113.35	-117.84	-95.06
36	11/10/42	-60.51	-74.16	-105.22	-103.25	-106.23	-120.36	-99.92
40	15/10/42	-51.13	-69.12	-94.69	-109.88	-110.84	-118.26	-96.04
43	18/10/42	-49.91	-73.23	-105.56	-110.28	-109.85	-115.96	-92.12
47	22/10/42	-56.12	-82.5	-100.36	-112.57	-109.48	-117.02	-92.13
54	29/10/42	-43.89	-81.11	-95.91	-107.87	-108.52	-121.88	-96.13
61	5/11/42	-61.27	-76.36	-102.53	-107.35	-109.77	-120.02	-92.28

ตารางที่ 4.25 โยโคเจนในรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่ปลูกดินแอมโมเนียม อัตราปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย					ซินเทรีย					ไนเตรท										
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
5	10/9/42	24	23	27	17	20	24	24	18	18	22	23	12	24	22	N/D	N/D	0.2	0.2	N/D	0.3	N/D
8	13/9/42	27	23	25	15	22	15	22	27	23	24	24	22	25	22	N/D	N/D	N/D	0.5	0.2	N/D	N/D
10	15/9/42	26	24	31	8	22	10	16	20	21	23	24	25	25	23	N/D	0.1	0.3	N/D	0.2	0.7	0.2
12	17/9/42	28	25	25	29	27	22	12	28	22	22	23	22	22	24	0.5	0.2	0.6	0.8	0.3	0.8	0.7
15	20/9/42	26	23	22	26	27	26	26	24	20	19	25	24	20	11	N/D	N/D	0.6	0.8	0.3	0.7	0.9
17	22/9/42	26	25	26	25	26	24	26	22	28	21	22	19	19	19	N/D	0.7	0.5	N/D	0.7	1.0	1.1
19	24/9/42	23	23	27	26	25	23	20	23	20	17	17	15	16	16	1.0	0.6	0.8	0.2	0.8	1.2	2.0
22	27/9/42	25	26	29	30	28	23	19	25	22	20	18	11	16	11	0.2	N/D	N/D	0.5	0.5	1.2	1.5
24	29/9/42	26	24	26	29	27	25	19	21	21	20	16	14	15	12	N/D	1.0	0.2	0.3	0.6	1.3	1.9
27	2/10/42	24	-	-	32	-	-	21	23	-	-	18	-	-	12	N/D	-	-	0.4	-	-	1.1
29	4/10/42	25	-	-	31	-	-	22	24	-	-	17	-	-	11	1.1	-	-	0.6	-	-	1.4
31	6/10/42	25	26	26	29	27	24	20	19	21	19	15	17	17	15	N/D	0.7	0.2	0.4	0.8	1.1	1.9
33	8/10/42	23	-	-	32	-	-	21	24	-	-	18	-	-	15	0.7	-	-	0.5	-	-	1.7
36	11/10/42	22	-	-	27	-	-	22	22	-	-	15	-	-	16	N/D	-	-	0.5	-	-	1.8
38	13/10/42	20	23	25	29	28	25	21	20	20	22	17	17	15	14	0.6	0.2	0.1	0.8	0.5	1.4	1.6
40	15/10/42	28	25	27	30	25	26	23	27	22	15	18	19	17	13	N/D	0.1	0.4	0.3	0.5	1.0	1.5
43	18/10/42	18	22	27	29	28	26	26	23	23	17	17	20	18	16	0.1	N/D	0.3	0.4	0.6	1.2	1.3
47	22/10/42	26	23	28	31	28	25	24	26	19	21	18	17	17	12	0.2	0.3	0.5	0.2	0.8	1.3	1.8
54	29/10/42	22	-	-	31	-	-	24	24	-	-	15	-	-	15	N/D	-	-	0.6	-	-	1.9
61	5/11/42	23	24	27	29	31	27	20	22	16	15	12	19	16	15	N/D	1.0	0.4	0.4	0.9	1.3	1.7

หน่วย : mg-N/L

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 5 มกราคม 2543						
ตารางที่ ง.26 คุณภูมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ						
ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	คุณภูมิน้ำ	คุณภูมิอากาศ	พีเอช		การระเหย
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	(ล./วัน)
13	17/1/1943	27.7	28.9	8.0	7.2	0.5
15	19/1/1943	27.4	29.3	7.9	7.3	0.5
17	21/1/1943	28.4	29.6	8.4	6.9	0.3
20	24/1/1943	29.5	30.9	8.3	7.3	0.4
22	26/1/1943	28.8	30.8	8.3	6.8	0.4
24	28/1/1943	27.6	28.9	8.0	6.9	0.5
27	31/1/1943	28.8	29.8	8.2	7.0	0.3
29	2/2/1943	29.5	31.2	7.6	7.1	0.4
31	4/2/1943	30.2	31.7	7.9	7.3	0.5
34	7/2/1943	27.7	29.8	8.1	7.3	0.5
36	9/2/1943	30.1	32.2	6.5	7.3	0.5
38	11/2/1943	28.1	29.8	8.3	6.8	0.4
41	14/2/1943	28.4	30.4	8.5	6.9	0.4
45	18/2/1943	29.3	33.3	8.1	7.1	0.3
49	22/2/1943	30.5	34.1	7.8	7.3	0.3
52	25/2/1943	27.9	30.2	7.7	7.2	0.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.27 ซีไอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหียงกปลาหม้อ ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
13	#####	518	351	283	214	220	289	314	39.4
15	#####	502	370	250	205	234	318	289	42.4
17	#####	502	366	231	205	222	254	261	48.0
20	#####	503	350	220	198	195	230	241	52.1
22	#####	499	361	211	179	189	199	207	58.5
24	#####	496	365	215	185	195	210	207	58.3
27	#####	510	356	209	164	185	192	214	58.0
29	2/2/1943	500	358	201	181	203	198	222	55.6
31	4/2/1943	494	375	219	184	201	206	216	56.3
34	7/2/1943	509	364	221	170	197	204	210	58.7
36	9/2/1943	513	-	-	-	-	-	202	60.6
38	#####	511	352	212	179	191	204	197	61.4
41	#####	504	-	-	-	-	-	205	59.3
45	#####	507	361	208	181	190	193	190	62.5
49	#####	507	-	-	-	-	-	203	60.0
52	#####	507	372	334	188	189	201	206	59.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.28 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอยและสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอ ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน										
จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
13	#####	1.1	0.8	27.3	78.9	N/D	100.0	75.02	32.00	57.3
15	#####	1.2	0.6	50.0	-	-	-	-	-	-
17	#####	1.0	0.7	30.0	-	-	-	76.65	31.11	59.4
20	#####	0.9	0.9	0.0	66.2	3.2	95.2	-	-	-
22	#####	0.8	0.8	0.0	-	-	-	77.87	30.01	61.5
24	#####	1.1	0.9	18.2	-	-	-	-	-	-
27	#####	0.8	0.8	0.0	52.5	11.4	78.3	65.21	32.05	50.9
29	2/2/1943	1.4	1.0	28.6	-	-	-	-	-	-
31	4/2/1943	0.9	1.1	-	-	-	-	74.45	32.20	56.7
34	7/2/1943	1.0	0.8	20.0	54.8	5.5	90.0	-	-	-
36	9/2/1943	1.1	0.8	27.3	-	-	-	74.89	30.58	59.2
38	#####	1.5	0.9	40.0	-	-	-	74.01	31.54	57.4
41	#####	0.9	0.6	33.3	67.2	7.4	89.0	-	-	-
45	#####	0.8	0.7	12.5	-	-	-	64.04	31.91	50.2
49	#####	1.1	1.2	-	92.1	6.1	93.4	74.11	32.65	55.9
52	#####	1.2	0.7	41.7	83.0	1.8	97.8	68.82	31.97	53.5
ตารางที่ ง.29 ไคอาร์พีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นเหียงอกปลาหมอภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน										
จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก		
22	#####	-54.59	-52.23	-99.87	-127.58	-140.18	-147.35	-123.36		
27	#####	-41.23	-60.21	-94.41	-125.05	-141.48	-142.02	-132.25		
31	4/2/1943	-43.51	-51.48	-97.05	-131.09	-140.83	-139.03	-129.99		
36	9/2/1943	-40.95	-56.25	-94.22	-127.81	-138.72	-141.14	-128.42		
41	#####	-39.05	-55.04	-91.89	-129.11	-141.32	-146.71	-127.07		
45	#####	-40.98	-53.21	-95.55	-126.86	-144.78	-143.25	-126.64		
52	#####	-41.45	-51.09	-96.60	-127.18	-146.84	-145.55	-130.08		

ตารางที่ 4.30 ไม้ที่ทรานในรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบอบที่ปลูกต้นตอสีชมพูจากของ การระเหยปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย							อินทรีย์							ไนเตรท							
		นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก	นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก	นำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	นำออก	
10	14/1/43	26	-	-	-	-	-	11	24	-	-	-	-	-	13	N/D	-	-	-	-	-	-	N/D
13	17/1/43	28	27	21	15	15	8	8	22	23	24	15	12	10	9	N/D	N/D	0.4	1.8	1.8	2.9	2.2	N/D
15	19/1/43	27	25	26	21	12	10	4	21	21	18	16	14	12	12	0.1	0.5	3.1	8.7	11.1	2.2	3.4	
20	24/1/43	25	27	26	28	12	22	22	19	15	15	13	13	9	8	0.2	N/D	5.1	15.8	14.1	8.4	4.5	
22	26/1/43	24	28	31	22	14	11	11	20	17	15	15	11	8	7	N/D	0.1	0.9	10.1	12.0	5.1	1.9	
24	28/1/43	26	28	32	15	8	8	7	23	15	9	6	4	6	5	0.1	0.3	1.9	18.5	11.8	5.2	2.2	
29	2/2/43	28	32	36	17	9	7	8	25	19	11	7	3	3	1	N/D	0.5	2.1	19.5	11.7	5.6	2.2	
31	4/2/43	24	30	38	19	10	7	7	22	13	11	5	2	2	N/D	N/D	0.3	2	19.2	11.4	4.8	2.9	
34	7/2/43	23	32	35	17	8	9	6	21	14	12	8	N/D	4	4	N/D	0.6	2.4	19.1	11.5	4.8	2.3	
36	9/2/43	24	29	37	16	7	7	6	17	16	10	9	2	3	4	0.3	0.5	2.6	18.9	11.9	5.1	N/D	
38	11/2/43	25	-	-	15	-	-	5	25	-	-	5	-	-	2	N/D	-	-	18.8	-	-	3.1	
41	14/2/43	26	30	36	17	9	8	5	23	15	12	5	4	4	5	0.2	0.4	1.8	19.5	12.5	5.2	2.0	
45	18/2/43	27	32	35	18	10	8	8	21	16	11	6	5	2	4	0.1	0.5	2.7	19.4	11.8	5.6	2.5	
49	22/2/43	23	33	36	15	7	9	7	19	14	10	7	5	3	2	N/D	0.3	2.6	19.1	11.5	4.7	2.1	
52	25/2/43	22	29	36	19	8	8	7	17	17	13	4	5	N/D	3	0.3	0.4	2.8	18.7	11.6	5.6	N/D	

หน่วย : mg-N/L

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษี						
ง.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน						
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 21 เมษายน 2543						
ตารางที่ ง.31 คุณภูมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	คุณภูมิน้ำ	คุณภูมิอากาศ	พีเอช		การระเหย (ล./วัน)
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	
7	27/4/1943	31.5	34.5	6.4	7.3	0.5
11	1/5/1943	30.2	33.3	7.9	7.3	0.5
13	3/5/1943	28.9	30.5	6.5	7.3	0.5
20	10/5/1943	27.1	29.4	6.4	7.1	0.5
22	12/5/1943	30.0	32.1	6.4	7.2	0.5
28	18/5/1943	26.6	28.4	7.9	7.2	0.4
32	22/5/1943	27.7	29.5	8.1	6.9	0.4
34	24/5/1943	28.9	30.8	8.2	7.1	0.5
36	26/5/1943	29.0	32.2	7.9	7.1	0.4
39	29/5/1943	28.8	31.2	7.5	7.2	0.5
41	31/5/1943	27.9	30.4	8.4	7.3	0.5
46	5/6/1943	27.4	29.2	8.3	7.3	0.5
50	9/6/1943	27.8	29.5	8.2	7.1	0.4
53	12/6/1943	28.6	30.6	8.2	7.2	0.5

ตารางที่ ง.32 ซีโอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
7	#####	520	289	480	480	480	480	480	7.7
11	1/5/1943	513	286	480	-	480	480	480	6.4
13	3/5/1943	495	175	480	241	-	480	480	3.0
20	#####	508	468	468	468	200	468	468	7.8
22	#####	501	468	468	468	-	468	468	6.5
28	#####	496	294	472	472	-	472	472	4.8
32	#####	496	308	255	246	239	221	208	58.1
34	#####	502	315	265	251	244	229	210	58.2
36	#####	503	472	472	472	251	472	472	6.1
39	#####	505	308	252	247	248	232	205	59.4
41	#####	496	480	480	480	480	209	480	3.2
46	5/6/1943	511	325	253	236	241	222	211	58.7
50	9/6/1943	504	480	480	480	480	480	480	4.8
53	#####	498	311	282	255	250	225	204	59.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.33 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอยและสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
7	#####	1.5	1.1	26.7	95.4	9.5	90.0	-	-	-
11	1/5/1943	1.3	1.2	7.7	-	-	-	101.98	66.12	35.2
13	3/5/1943	0.9	1.1	-	91.1	2.9	96.8	110.15	58.74	46.7
20	#####	1.2	1.0	16.7	51.4	5.4	89.5	-	-	-
22	#####	1.2	0.9	25.0	-	-	-	82.32	59.12	28.1
28	#####	1.4	0.8	42.9	99.3	11.4	88.5	-	-	-
32	#####	1.1	0.9	18.2	-	-	-	76.21	49.55	35.0
34	#####	0.8	1.1	-	88.0	10.5	88.1	-	-	-
36	#####	1.3	1.2	7.7	-	-	-	78.80	56.50	28.3
39	#####	1.2	1.2	0.0	76.5	N/D	100.0	84.77	36.02	57.5
41	#####	1.2	1.0	16.7	-	-	-	105.27	51.01	51.5
46	5/6/1943	1.0	1.1	-	61.2	6.2	89.9	89.53	59.58	33.5
50	9/6/1943	1.3	0.9	30.8	59.7	5.1	91.5	98.52	69.18	29.8
53	#####	1.2	0.9	25.0	55.3	1.9	91.1	102.32	61.22	40.2

ตารางที่ ง.34 ไอออนพีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษีภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ชม.วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	#####	-50.06	-72.58	-85.48	-101.25	-116.68	-125.58	-133.25
28	#####	-55.56	-75.15	-89.57	-98.57	-112.36	-130.24	-133.25
32	#####	-42.89	-69.99	-88.41	-102.35	-114.58	-129.97	-123.69
34	#####	-51.48	-71.28	-90.24	-105.87	-119.63	-127.74	-128.95
36	#####	-61.23	-74.47	-89.65	-99.48	-114.47	-128.06	-130.25
39	#####	-54.48	-66.79	-90.03	-100.84	-115.28	-131.35	-132.08
41	#####	-54.23	-72.39	-90.68	-105.54	-116.03	-129.58	-127.79
46	5/6/1943	-49.98	-74.08	-88.79	-103.35	-114.08	-127.64	-136.25
50	9/6/1943	-51.18	-75.10	-89.91	-102.04	-115.56	-127.41	-129.09
53	#####	-52.47	-68.48	-90.02	-102.58	-119.35	-132.55	-130.10

ตารางที่ ง.35 โคนิทรมนในรูปต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นไม้ประดับ การระเหยน้ำ 3.9 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย							อินทรีย์							ไนเตรท						
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
7	27/4/43	16	12	15	15	15	12	12	24	12	11	13	9	10	14	N/D	0.2	N/D	1.3	2.4	4.1	5.0
11	1/5/43	13	7	13	15	14	12	12	21	11	14	13	15	9	12	N/D	N/D	0.5	2.0	2.2	4.4	6.7
13	3/5/43	13	15	14	14	11	11	10	17	19	18	15	9	10	10	N/D	0.3	0.8	2.5	2.9	6.4	7.5
20	10/5/43	19	16	16	12	12	12	8	18	15	17	14	11	9	9	0.1	0.3	0.9	2.1	3.1	6.2	7.5
22	12/5/43	17	11	10	13	13	13	6	17	18	16	13	12	12	11	0.2	0.3	1.0	2.2	3.5	5.9	6.9
28	18/5/43	13	14	15	13	14	13	11	20	18	16	13	12	13	9	0.1	0.2	1.2	2.2	3.1	5.8	8.0
32	22/5/43	15	14	15	15	14	9	12	21	17	16	14	12	13	12	N/D	0.2	0.8	3.1	2.8	5.8	7.2
34	24/5/43	17	13	14	14	13	13	10	21	19	15	16	11	10	8	0.3	N/D	1.0	2.5	2.9	6.9	7.3
36	26/5/43	14	16	14	14	13	12	9	20	15	17	12	13	11	10	0.1	0.1	0.9	2.2	3.0	6.0	7.4
39	29/5/43	16	16	12	13	12	12	9	23	20	18	14	10	12	9	N/D	0.2	0.9	2.3	3.4	6.3	6.5
41	31/5/43	13	18	18	12	11	11	12	22	21	15	14	10	8	9	0.2	0.3	0.8	2.4	3.4	6.5	7.5
46	5/6/43	19	15	14	12	10	10	8	24	19	16	15	13	13	8	N/D	N/D	0.8	1.9	3.0	6.4	8.1
50	9/6/43	13	12	9	12	9	13	10	18	18	16	16	12	11	11	0.1	0.3	0.9	2.5	3.3	6.4	7.6
53	12/6/43	18	15	14	15	11	12	9	20	19	16	13	11	13	10	0.1	0.3	1.1	2.2	3.5	6.6	7.9

หน่วย : mg-N/L.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.36 คุณหมุมิ พีเอช และการระเหยของน้ำออกจากระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	คุณหมุมิน้ำ	คุณหมุมิอากาศ	พีเอช		การระเหย	
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	(ล./วัน)	
7	27/4/1943	32.2	34.5	6.4	7.3	0.6	
11	1/5/1943	31.9	33.3	7.9	7.0	0.5	
13	3/5/1943	29.0	30.5	6.5	7.2	0.5	
20	10/5/1943	26.6	29.4	6.4	6.9	0.5	
22	12/5/1943	29.5	32.1	6.4	6.9	0.6	
28	18/5/1943	26.8	28.4	7.9	7.0	0.4	
32	22/5/1943	27.5	29.5	8.1	7.2	0.4	
34	24/5/1943	29.4	30.8	8.2	7.3	0.5	
36	26/5/1943	29.5	32.2	7.9	7.2	0.5	
39	29/5/1943	28.9	31.2	7.5	7.2	0.5	
41	31/5/1943	28.1	30.4	8.4	7.3	0.4	
46	5/6/1943	27.1	29.2	8.3	7.1	0.4	
50	9/6/1943	27.8	29.5	8.2	6.9	0.6	
53	12/6/1943	28.5	30.6	8.2	6.9	0.5	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.37 ซีไอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
7	#####	520	375	-	239	-	219	205	60.6
11	1/5/1943	513	451	374	252	235	224	228	55.6
13	3/5/1943	495	412	229	253	241	235	235	52.5
20	#####	508	356	251	206	222	218	198	61.0
22	#####	501	322	231	213	208	205	191	61.9
28	#####	496	295	231	212	198	191	175	64.7
32	#####	496	294	229	216	200	195	168	66.1
34	#####	502	305	235	215	198	182	181	63.9
36	#####	503	302	226	213	196	185	172	65.8
39	#####	505	291	229	213	195	171	185	63.4
41	#####	496	293	238	220	199	182	176	64.5
46	5/6/1943	511	300	224	216	196	183	177	65.4
50	9/6/1943	504	298	224	219	191	184	183	63.7
53	#####	498	303	228	208	201	181	179	64.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.38 ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอยและสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นทุเรียน ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
7	#####	1.5	1.1	26.7	95.4	N/D	100.0	-	-	-
11	1/5/1943	1.3	0.9	30.8	-	-	-	101.98	49.88	51.1
13	3/5/1943	0.9	1.1	-	91.1	9.0	90.1	110.15	45.71	58.5
20	#####	1.2	0.7	41.7	51.4	10.2	80.1	-	-	-
22	#####	1.2	0.8	33.3	-	-	-	82.32	56.98	30.8
28	#####	1.4	1.0	28.6	99.3	11.4	88.5	-	-	-
32	#####	1.1	1.1	0.0	-	-	-	76.21	51.21	32.8
34	#####	0.8	0.8	0.0	88.0	5.8	93.4	-	-	-
36	#####	1.3	1.0	23.1	-	-	-	78.80	59.83	24.1
39	#####	1.2	0.9	25.0	76.5	6.5	91.5	84.77	46.71	44.9
41	#####	1.2	0.9	25.0	-	-	-	105.27	52.63	50.0
46	5/6/1943	1.0	1.0	0.0	61.2	N/D	100.0	89.53	61.21	31.6
50	9/6/1943	1.3	0.8	38.5	59.7	N/D	100.0	98.52	62.33	36.7
53	#####	1.2	0.9	25.0	55.3	5.7	89.7	102.32	61.00	40.4

ตารางที่ ง.39 ไอออนพีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นทุเรียน ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	#####	-50.06	-79.89	-91.15	-123.58	-145.25	-146.36	-136.90
28	#####	-55.56	-82.28	-92.38	-128.69	-141.26	-145.89	-138.69
32	#####	-42.89	-81.45	-91.58	-130.89	-139.87	-147.78	-137.25
34	#####	-51.48	-83.24	-89.23	-125.78	-145.60	-139.58	-136.69
36	#####	-61.23	-78.05	-92.35	-124.96	-144.25	-145.02	-140.25
39	#####	-54.48	-80.05	-91.28	-130.69	-140.12	-144.79	-139.87
41	#####	-54.23	-81.29	-92.08	-129.65	-143.25	-143.05	-141.25
46	5/6/1943	-49.98	-79.95	-93.47	-128.47	-140.28	-146.98	-139.80
50	9/6/1943	-51.18	-81.28	-93.58	-131.28	-140.59	-147.13	-139.79
53	#####	-52.47	-81.97	-89.14	-130.05	-138.59	-146.36	-140.25

ตารางที่ ๔.40 โยคะเคมีในรูปแบบต่างๆ ของน้ำเสียในระบบบำบัดด้วยเมมเบรนที่ปลูกด้วยสาหร่าย การประมาณค่า 2.2 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	แอมโมเนีย							ไนเตรต							ไนเตรท						
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
7	27/4/43	16	12	15	20	20	21	19	24	22	18	12	10	10	12	N/D	N/D	0.2	0.5	2.2	3.2	3.9
11	1/5/43	13	11	13	23	21	18	19	21	17	15	13	9	9	8	N/D	0.1	0.4	0.9	4.7	8.9	10.5
13	3/5/43	13	15	19	24	21	16	14	17	16	13	8	7	6	6	N/D	0.3	0.7	1.1	5.1	10.3	10.9
20	10/5/43	19	16	18	23	21	16	12	18	18	14	7	8	6	4	0.1	0.3	0.8	1.2	4.9	9.9	11.2
22	12/5/43	17	19	22	24	20	17	13	17	17	15	8	8	6	7	0.2	0.3	0.7	1.2	4.8	10.2	11.3
28	18/5/43	13	14	20	25	22	17	16	20	19	15	8	6	7	8	0.1	0.2	0.7	1.0	5.0	10.3	10.8
32	22/5/43	15	16	21	25	23	15	14	21	19	13	8	7	5	6	N/D	0.5	0.8	1.2	4.9	10.8	10.8
34	24/5/43	17	16	19	26	19	15	14	21	20	14	6	7	5	5	0.3	0.4	0.5	1.2	4.8	10.5	11.0
36	26/5/43	17	16	23	27	21	14	13	20	21	16	7	6	5	6	0.1	0.4	0.7	1.2	4.7	10.3	11.1
39	29/5/43	16	12	22	24	21	16	14	23	19	15	8	8	7	5	N/D	0.3	0.8	1.1	4.7	9.5	11.2
41	31/5/43	13	15	20	24	21	16	15	22	19	12	8	8	6	7	0.2	0.2	0.6	1.1	4.5	10.3	11.4
46	5/6/43	19	18	21	26	22	19	15	24	20	14	7	8	6	5	N/D	0.3	0.8	1.0	4.7	10.4	11.2
50	9/6/43	13	16	21	25	24	16	16	18	22	14	6	7	7	4	0.1	0.3	0.8	0.9	4.7	10.5	10.8
53	12/6/43	18	19	23	25	20	13	12	20	21	13	6	6	7	6	0.1	0.5	0.7	1.2	4.8	10.2	11.5

หน่วย : mg-N/L



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤๅษีที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
เริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบึงประดิษฐ์วันที่ 3 กรกฎาคม 2543						
ตารางที่ ง.41 คุณทวมุมน้ำและพีเอชของระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน						
จำนวนวัน	วันที่	อุณหภูมิน้ำ	อุณหภูมิอากาศ	พีเอช		การระเหย (ล./วัน)
		(องศาเซลเซียส)	(องศาเซลเซียส)	น้ำเข้า	น้ำออก	
10	12/7/1943	29.3	31.2	6.4	6.9	0.7
15	17/7/1943	29.8	32.2	6.4	7.1	0.7
17	19/7/1943	28.4	30.9	6.6	7.1	0.6
22	24/7/1943	28.1	29.5	8.3	7.0	0.6
24	26/7/1943	29.6	32.5	8.4	7.2	0.5
26	26/7/1943	30.9	34.5	8.3	6.9	0.6
31	2/8/1943	28.7	30.4	8.1	7.3	0.5
33	4/8/1943	31.2	32.2	8.1	7.2	0.5
36	7/8/1943	30.2	32.5	8.0	7.1	0.7
39	10/8/1943	30.5	34.1	8.2	7.1	0.5
44	15/8/1943	27.7	29.5	7.5	7.2	0.6
47	18/8/1943	28.5	30.4	7.6	7.3	0.5
51	22/8/1943	30.4	32.8	8.3	7.0	0.6
54	25/8/1943	28.1	29.6	8.4	6.9	0.7
57	28/8/1943	29.6	31.6	7.5	6.9	0.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.42 ซีโอดีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นธูปฤๅษี ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน									
จำนวนวัน	วันที่	เข้า	W1	W2	W3	W4	W5	ออก	%rem
10	#####	501	451	398	349	300	252	200	60.1
15	#####	501	402	355	298	249	212	198	60.5
17	#####	513	350	302	253	265	201	175	65.9
22	#####	498	298	254	259	265	211	175	64.9
24	#####	500	260	268	271	211	201	161	67.8
26	#####	502	265	222	219	195	189	159	68.3
31	2/8/1943	506	266	215	201	192	175	162	68.0
33	4/8/1943	496	261	217	198	195	175	159	67.9
36	7/8/1943	502	259	220	196	195	174	164	67.3
39	#####	503	258	219	203	196	178	155	69.2
44	#####	500	268	215	205	199	176	155	69.0
47	#####	510	-	-	-	-	-	160	68.6
51	#####	505	269	218	202	189	170	161	68.1
54	#####	505	-	-	-	-	-	169	66.5
57	#####	509	265	217	205	195	171	155	69.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.43 ฟอสฟอรัส ของแข็งแชนลอยและสีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นอุปฤาษี ภาวระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)			ของแข็งแชนลอย(มก./ล.)			สี (เอสยู)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem	น้ำเข้า	น้ำออก	%rem
10	12/7/43	1.3	1.1	15.4	100.2	2.2	97.8	76.90	26.85	65.1
15	17/7/43	1.3	0.8	38.5	91.9	N/D	100.0	-	-	-
17	19/7/43	1.3	1.1	15.4	-	-	-	77.67	28.49	63.3
22	24/7/43	1.5	1.0	33.3	91.2	N/D	100.0	75.88	27.51	63.7
24	26/7/43	1.5	0.9	40.0	-	-	-	-	-	-
26	26/7/43	1.4	0.9	35.7	55.6	9.4	83.1	91.71	28.39	69.0
31	2/8/43	1.2	1.1	8.3	64.8	5.6	91.4	88.88	31.21	64.9
33	4/8/43	1.1	0.8	27.3	-	-	-	-	-	-
36	7/8/43	1.5	1.1	26.7	78.2	6.7	91.4	75.61	27.60	63.5
39	10/8/43	1.4	0.9	35.7	-	-	-	76.30	26.74	65.0
44	15/8/43	1.1	0.9	18.2	89.5	7.4	91.7	76.85	29.95	61.0
47	18/8/43	1.0	1.0	0.0	-	-	-	92.20	25.54	72.3
51	22/8/43	1.3	0.8	38.5	90.6	N/D	100.0	85.31	24.45	71.3
54	25/8/43	1.1	1.0	9.1	72.5	9.2	87.3	76.61	28.80	62.4
57	28/8/43	1.5	0.8	46.7	84.2	3.4	96.0	73.50	29.00	60.5

ตารางที่ ง.44 ไอซาร์พีของน้ำเสียในระบบที่ปลูกต้นอุปฤาษีภาวระปริมาณน้ำ 1.1 ชม./วัน

จำนวนวัน	วันที่	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
22	12/5/43	-50.06	-79.89	-91.15	-123.58	-145.25	-146.36	-136.90
28	18/5/43	-55.56	-82.28	-92.38	-128.69	-141.26	-145.89	-138.69
32	22/5/43	-42.89	-81.45	-91.58	-130.89	-139.87	-147.78	-137.25
34	24/5/43	-51.48	-83.24	-89.23	-125.78	-145.60	-139.58	-136.69
36	26/5/43	-61.23	-78.05	-92.35	-124.96	-144.25	-145.02	-140.25
39	29/5/43	-54.48	-80.05	-91.28	-130.69	-140.12	-144.79	-139.87
41	31/5/43	-54.23	-81.29	-92.08	-129.65	-143.25	-143.05	-141.25
46	5/6/43	-49.98	-79.95	-93.47	-128.47	-140.28	-146.98	-139.80
50	9/6/43	-51.18	-81.28	-93.58	-131.28	-140.59	-147.13	-139.79
53	12/6/43	-52.47	-81.97	-89.14	-130.05	-138.59	-146.36	-140.25

ตารางที่ 4.15 โน้ตทามในรูปแบบต่างๆ ของน้ำเสียในระบบที่ปลูกหินภูเขาไฟ ภาควิทยบริการ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนวัน	วันที่	ตะกอนฝอย							หินภูเขาไฟ							โลหะ						
		น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก	น้ำเข้า	W1	W2	W3	W4	W5	น้ำออก
10	12/7/43	25	20	19	21	18	17	15	20	20	20	21	17	16	5	0.1	N/D	0.2	0.5	1.0	0.9	N/D
15	17/7/43	25	22	16	19	15	11	11	21	22	15	11	13	12	5	0.1	0.1	N/D	1.1	1.1	1.2	1.0
17	18/7/43	25	25	27	22	15	10	9	18	18	9	5	5	9	3	N/D	0.1	0.8	5.1	3.3	2.5	0.5
22	24/7/43	24	30	35	21	11	7	5	18	18	7	6	3	3	1	N/D	N/D	1.0	9.9	4.2	2.0	1.0
24	26/7/43	26	34	36	12	5	4	3	22	13	3	3	2	2	N/D	0.2	0.3	1.1	19.0	9.5	2.2	1.1
26	26/7/43	25	35	37	15	5	4	3	23	12	4	4	3	2	1	0.1	0.3	1.0	19.9	9.9	2.1	1.1
31	2/8/43	26	34	38	12	6	4	3	19	12	4	2	1	2	2	0.1	N/D	1.1	20.3	10.2	2.1	1.2
33	4/8/43	23	35	39	13	7	3	4	20	11	3	2	2	3	2	N/D	0.1	0.9	18.7	9.7	2.1	0.9
36	7/8/43	23	36	37	14	5	5	1	21	13	5	3	2	1	1	0.2	0.4	1.3	19.3	9.9	2.3	0.8
39	10/8/43	25	32	35	12	7	4	3	22	11	3	3	3	1	N/D	0.1	N/D	1.0	19.3	10.3	2.2	1.1
44	15/8/43	26	35	38	13	7	3	2	23	12	4	3	1	1	N/D	0.1	0.2	1.0	19.4	9.5	1.9	1.0
47	18/8/43	26	34	38	11	5	4	1	21	12	4	4	3	2	1	N/D	0.3	1.2	19.6	10.4	2.2	0.9
51	22/8/43	25	32	34	13	6	4	3	20	13	3	3	3	2	1	N/D	0.1	1.0	18.9	9.9	1.5	1.3
54	25/8/43	25	34	35	13	5	5	3	20	12	5	2	2	3	1	0.1	0.1	0.9	19.5	9.9	2.1	1.2
57	28/8/43	26	35	36	12	6	3	2	23	11	3	2	2	3	2	N/D	0.1	1.1	21.1	9.7	2.0	1.1

หน่วย : mg-N/l.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ผลการตรวจสอบทรายที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบ

ตารางที่ จ.1 ผลการตรวจสอบทรายของระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืช

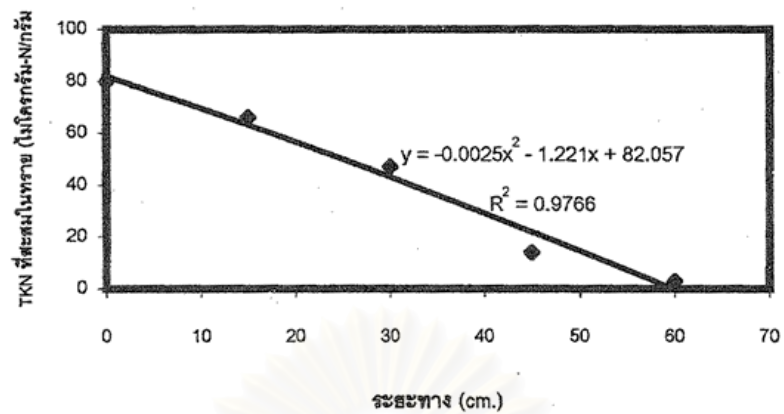
ภาวะปริมาณน้ำ (cm./d.)	ระยะทางจากจุดกระจายน้ำ (cm.)	TKN ก่อนการทดลอง (ug-N/g-ทราย)	TKN หลังการทดลอง (ug-N/g-ทราย)	TKN ที่สะสม (ug-N/g-ทราย)
3.9	0	15	95	80
	15	15	81	66
	30	15	62	47
	45	15	29	14
	60	15	18	3
2.2	0	15	72	57
	15	15	60	45
	30	15	44	29
	45	15	30	15
	60	15	20	5
1.1	0	10	38	28
	15	10	38	28
	30	10	31	21
	45	10	18	8
	60	10	14	4

จากตารางที่ จ.1 ที่ภาวะปริมาณน้ำต่างๆ นำความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับปริมาณ TKN ที่สะสมในทราย มาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ จ.1 - จ.3 จากรูปทั้งสองเมื่ออินทิเกรตฟังก์ชันที่ได้ตลอดระยะทาง 60 ซม. และคูณด้วยความสูงและความกว้างของทรายในหน่วยทดลองแล้วจะได้ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในทรายทั้งหมด ดังนี้

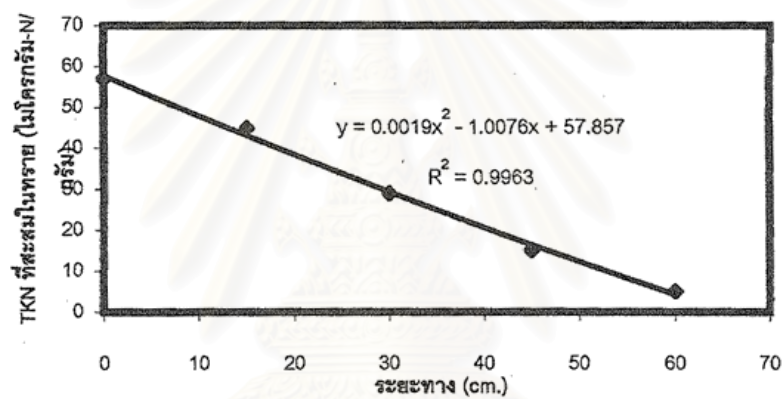
ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน 3.4 กรัม

ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน 2.1 กรัม

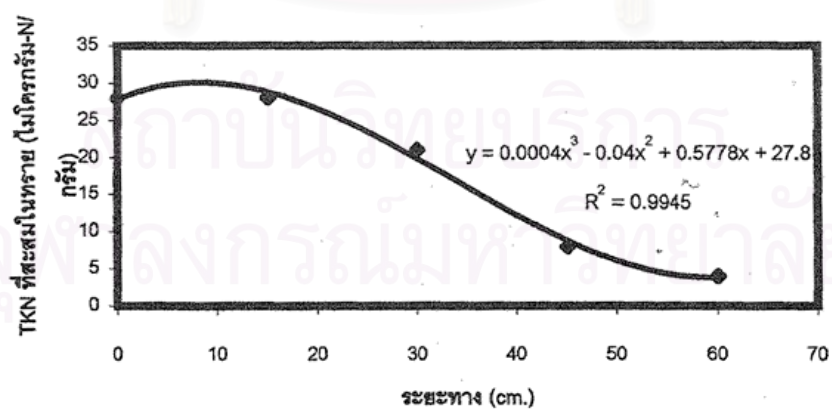
ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน 1.3 กรัม



รูปที่ ๑.1 TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาวะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน



รูปที่ ๑.2 TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาวะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน



รูปที่ ๑.3 TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ไม่ปลูกพืชที่ภาวะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

ตารางที่ ๑.2 ผลการตรวจสอบทรายของระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ

ภาระปริมาณน้ำ (cm./d.)	ระยะทางจากจุดกระจายน้ำ (cm.)	TKN ก่อนการทดลอง (ug-N/g-ทราย)	TKN หลังการทดลอง (ug-N/g-ทราย)	TKN ที่สะสม (ug-N/g-ทราย)
3.9	0	15	101	86
	15	15	92	77
	30	15	65	50
	45	15	32	17
	60	15	19	4
2.2	0	12	85	73
	15	12	73	61
	30	12	46	34
	45	12	24	12
	60	12	16	4
1.1	0	12	51	39
	15	12	42	30
	30	12	33	21
	45	12	19	7
	60	12	14	2

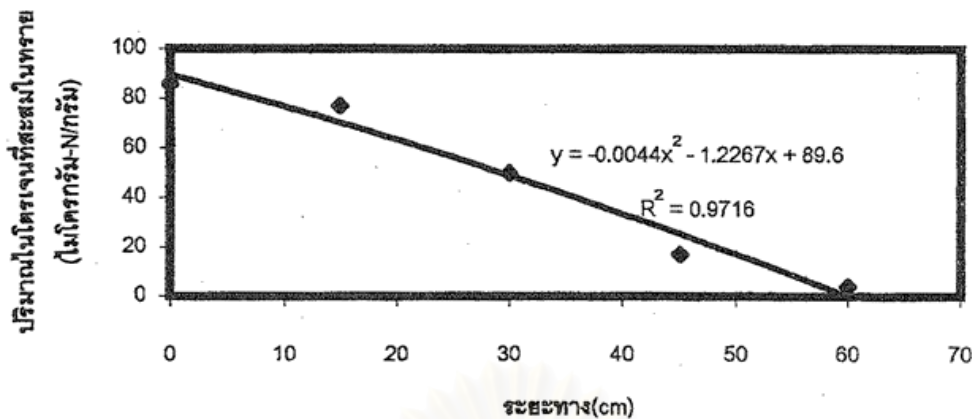
จากตารางที่ ๑.2 ที่ภาระปริมาณน้ำต่างๆ นำความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับปริมาณ TKN ที่สะสมในทราย มาสร้างกราฟได้ดังรูปที่ ๑.4 - ๑.6 จากรูปทั้งสองเมื่ออินทิเกรตฟังก์ชันที่ได้ตลอดระยะทาง 60 ซม. และคูณด้วยความสูงและความกว้างของทรายในหน่วยทดลองแล้วจะได้ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในทรายทั้งหมด ดังนี้

ภาระปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน 3.4 กรัม

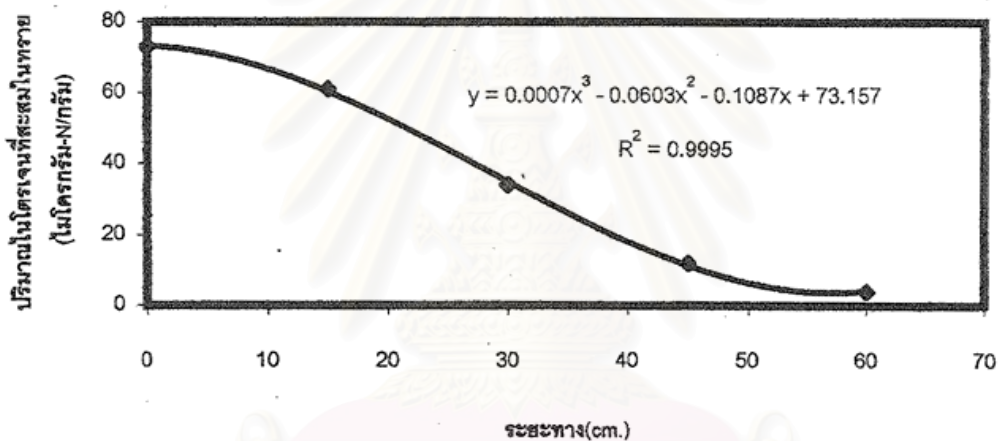
ภาระปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน 2.5 กรัม

ภาระปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน 1.4 กรัม

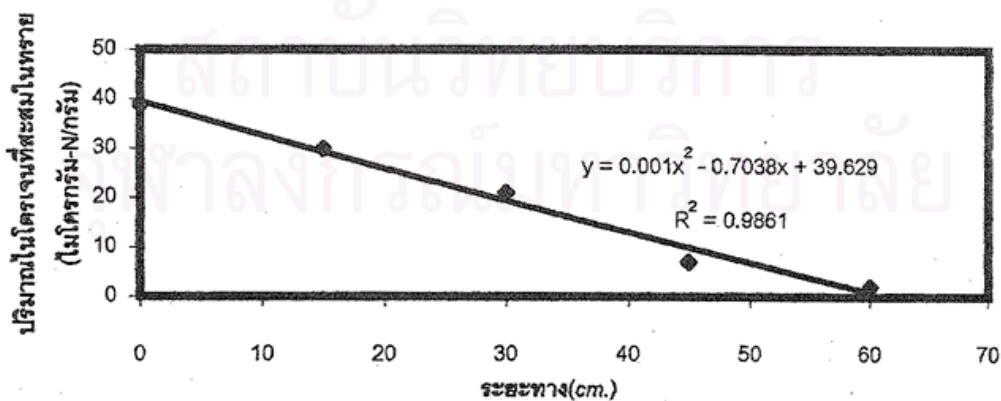
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



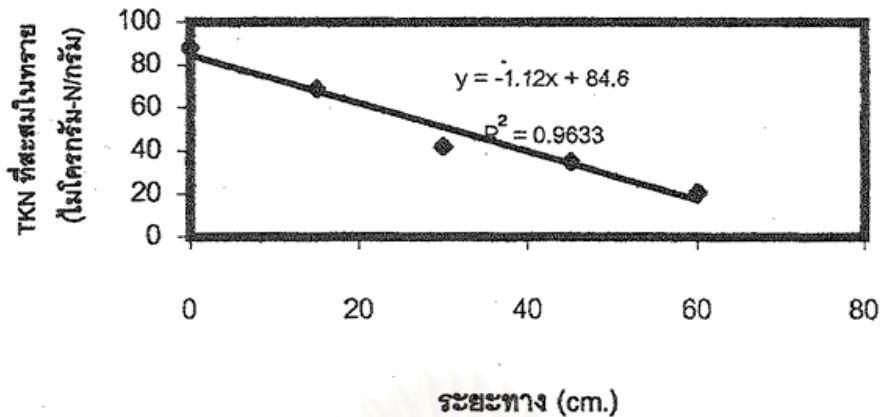
รูปที่ ๑.๔ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ที่การะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน



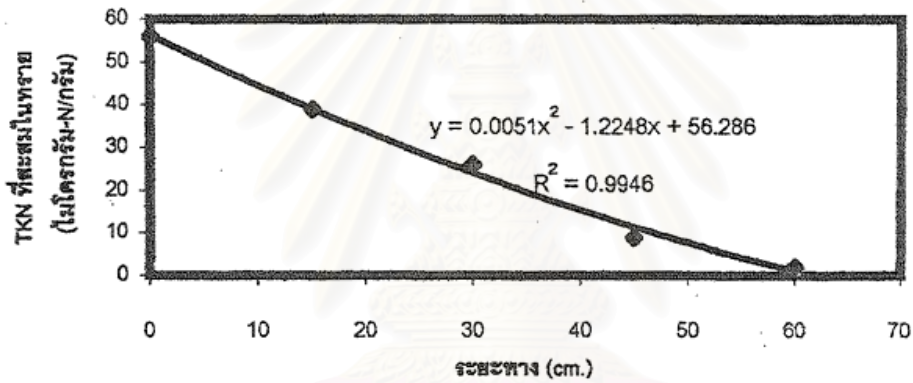
รูปที่ ๑.๕ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ที่การะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน



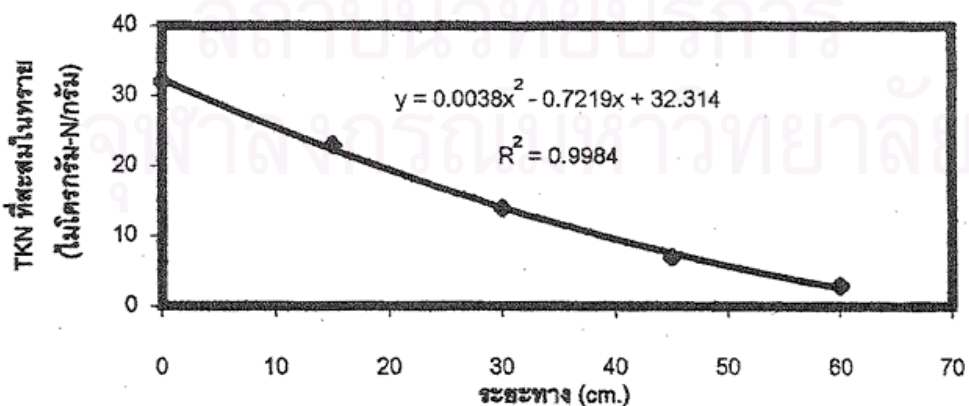
รูปที่ ๑.๖ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นเหงือกปลาหมอ ที่การะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน



รูปที่ ๑.๗ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่การะปริมาณน้ำ 3.9 ซม./วัน



รูปที่ ๑.๘ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่การะปริมาณน้ำ 2.2 ซม./วัน



รูปที่ ๑.๙ TKN ที่สะสมในทรายหลังการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์ที่ปลูกต้นธูปฤาษี ที่การะปริมาณน้ำ 1.1 ซม./วัน

ประวัติผู้เขียน

นายวรากร เกิดทรัพย์ เกิดวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2539 โดยได้ทำโครงการเรื่องระบบบำบัดน้ำเสียอัตโนมัติ แบบไม่ปล่อยน้ำทิ้งโดยใช้ระบบ SBR และบึงประดิษฐ์ ซึ่งได้นำเสนอในงานสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ปี พ.ศ. 2540 และได้ตีพิมพ์ในรายงานการสัมมนาดังกล่าว และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย