



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรงใรร่วมกับบึงประดิษฐ์

Performance Evaluation of Night Soil Treatment System using Anaerobic Channel Digester and Constructed Wetland

นามผู้วิจัย นางสาวกิ่งกมล สุดสิงขรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์วิไล เจริญไชยศรี, D.Tech.Sc. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สืบสีงอี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศ  
ร่วมกับบึงประดิษฐ์

Performance Evaluation of Night Soil Treatment System using Anaerobic Channel  
Digester and Constructed Wetland

โดย

นางสาวกิ่งกมล สุดสิงขรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

กึ่งกมล สูดสิงขรณ์ 2553: การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล  
แบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng. 131 หน้า

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมัก  
รางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ กรณีศึกษาระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลบริษัททองถวิลบริการ จังหวัด  
ระยอง ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลประกอบด้วยบ่อหมักรางไร้อากาศขนาด 700 ลบ.ม. 2 บ่อ ลานกรอง  
ของแข็งที่เชื่อมต่อกับบ่อหมักราง บ่อผิ่ขนาด 3,500 ลบ.ม. 2 บ่อ และบึงประดิษฐ์ที่เชื่อมต่อกับ  
บ่อผิ่ ซึ่งปลูกต้นธูปฤๅษี โดยสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีอัตราเฉลี่ย 310 ลบ.ม./วัน และมี  
ลักษณะสมบัติดังนี้ บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เฉลี่ย  
เท่ากับ 847, 1639, 319, 484 และ 998 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งระบบพบว่ามี  
ประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด  
เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82, 79, 39, 59 และ 21 ตามลำดับ มีองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีเทนในก๊าซ  
ชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 61 จากการศึกษาพบว่าบ่อหมักรางไร้อากาศสามารถกำจัดบีโอดี และซี  
โอดี ได้เท่ากับร้อยละ 74 และ 69 ตามลำดับ ส่วนบ่อผิ่มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี และซี  
โอดี ได้เท่ากับร้อยละ 16 เนื่องจากผักตบชวาและพีชลอยน้ำไม่สามารถทนต่อน้ำเสียที่มีความ  
เค็มสูงถึง 2100 มก./ล. ส่วนบึงประดิษฐ์พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นร้อยละ 16 โดยต้น  
ธูปฤๅษีสามารถเจริญเติบโตอยู่ภายใต้สภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูงถึง 1900 มก./ล. ได้

Kingkamol Sudsingkhon 2010: Performance Evaluation of Night Soil Treatment System using Anaerobic Channel Digester and Constructed Wetland. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 131 pages.

The objective of this research was to study the efficiencies of night soil treatment system using anaerobic channel digester and constructed wetland . The case study of Thong Tawil Service Co.,Ltd, Rayong province is presented. The treatment system consists of 2 set of anaerobic channel digester with 700 m<sup>3</sup> volume each and sand drying bed connected to them, two facultative ponds of 3500 m<sup>3</sup> volume each and constructed wetland connected the facultative pond. *Typha angustifolia* Linn. is used in the constructed wetland unit. Average night soil fed at average feeding rate of 310 m<sup>3</sup>/d, has the following characteristics, i.e. BOD, COD, TKN, SS and TDS of 847, 1639, 319, 484 and 998 mg/l. The treatment efficiencies in term of BOD, COD, TKN, SS and TDS were 82, 79, 39, 59 and 21% respectively with average methane content in biogas of 61 %. The result revealed that anaerobic channel digester and constructed wetland had BOD and COD removal efficiencies of 74 and 69%. However facultative ponds had BOD and COD removal efficiencies of 16 % because the plant could not tolerate to high concentration to 2100 mg/l in the night soil. Constructed wetland helps TKN removal efficiency of 16% and *Typha angustifolia* Linn. could survive high salt concentration up to 1900 mg/l.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิไล เจริญไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้  
คำแนะนำแนวคิด ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาระหว่างการทำวิจัย  
และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย และ  
ขอบพระคุณบริษัททองถวิล บริการ ที่ให้ศึกษาระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลและให้การช่วยเหลือในการทำ  
วิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการ  
จัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่  
กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและอำนวยความสะดวกทุกประการในระหว่างการทำวิจัยและขอบคุณ  
พี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้กำลังใจ ข้อคิดเห็น ความช่วยเหลือและคำแนะนำ  
ที่ดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ให้ความช่วยเหลือ  
รวมทั้งทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ตลอดมา

กิ่งกมล สูดสิงขรณ์

เมษายน 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	41
อุปกรณ์	41
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	89
สรุป	89
ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	91
ภาคผนวก	100
ภาคผนวก ก สรุปลักษณะอากาศรายเดือน	101
ภาคผนวก ข ลักษณะของสิ่งปฏิภูลและน้ำเสียในระบบบำบัด	104
ภาคผนวก ค การเจริญเติบโตของพืชน้ำ	121
ภาคผนวก ง ภาพถ่ายภาพ	126
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	131

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทั่วไปของสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะ	5
2	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ	12
3	เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของระบบบำบัดตะกอนสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ	13
4	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ	14
5	ลักษณะของตะกอนในบ่อเกรอะ	18
6	แสดงงบประมาณและพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยขนาดถังหมัก 15 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	22
7	เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยตามโครงการพระราชดำริและแบบ Activated Sludge	25
8	เปรียบเทียบข้อดี- ข้อเสียของบึงประดิษฐ์ชนิดต่างๆ	36
9	ลักษณะระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์	41
10	พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีที่ใช้ในการทำการทดลอง	55
11	แสดงระยะเวลาเก็บกักสิ่งปฏิกูลเปรียบเทียบระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง	57
12	ลักษณะทั่วไปของสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะ	58
13	ลักษณะน้ำเสียจากบ่อฝิ่ง	63
14	ลักษณะน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์	65
15	ไนโตรเจนในระบบบำบัด	67
16	ประสิทธิภาพของระบบบำบัด	68
17	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล	72
18	การเจริญเติบโตของกอกอียิปต์ที่ได้จากการสังเกตในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและความเค็มต่างกัน	78
19	การเจริญเติบโตของกอกอียิปต์ที่วัดจากความสูงและการแตกหน่อ	78
20	การเจริญเติบโตของกะแฉดที่ได้จากการสังเกตในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและความเค็มต่างกัน	80
21	การเจริญเติบโตของกะแฉดที่ได้จากการสังเกตในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและความเค็มต่างกัน	82

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	การเจริญเติบโตของกะเจ็ดที่ได้รับจากการสังเคราะห์ในน้ำเสียที่มีค่าสกปรกและความเค็มต่างกัน	84
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	สภาพภูมิอากาศรายเดือน	102
ข1	ลักษณะสมบัติ pH ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	105
ข2	ลักษณะสมบัติ Salinity ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	107
ข3	ลักษณะสมบัติ BOD ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	109
ข4	ลักษณะสมบัติ COD ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	111
ข5	ลักษณะสมบัติ TKN ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	113
ข6	ลักษณะสมบัติ TS ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	115
ข7	ลักษณะสมบัติ SS ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	117
ข8	การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย	119
ค1	การเจริญเติบโตเฉลี่ยของกกอียิปต์	122
ค2	ชีวมวลเฉลี่ยของกะเจ็ด	123
ค3	ชีวมวลเฉลี่ยของแพลงพวย	124
ค4	มวลชีวภาพเฉลี่ยของผักตบชวา	125
ง1	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักรางไร่อากาศ	127
ง2	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 1500 ml	128
ง3	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 1000 ml	129
ง4	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 500 ml	130



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การวางแผนทดสอบความคงทนของพืชภายใต้สภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูง	50
27	ลักษณะสิ่งปลูกปลูกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดช่วงเดือนเม.ย. 51 ถึงเดือนมี.ค. 52	58
28	เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของสิ่งปลูกปลูกก่อนเข้าสู่ระบบระหว่าง ฤดูฝน(เมษายน – ตุลาคม 2551) และฤดูแล้ง(พฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552)	59
29	ประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปลูกปลูกของบ่อหมักรางไร้อากาศ	61
30	ประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปลูกปลูกของบ่อหมักรางไร้อากาศเปรียบเทียบระหว่าง ระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน และ 7 วัน	62
31	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบ่อฝิ่งเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 21 วัน และ 35 วัน	64
32	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์เปรียบเทียบระหว่าง ระยะเวลาเก็บกัก 1 วัน และ 2 วัน	66
33	ค่าบีโอดีของสิ่งปลูกปลูกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52	69
34	ค่าซีโอดีของสิ่งปลูกปลูกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52	69
35	ค่าทีเคเอ็นของสิ่งปลูกปลูกก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52	70
36	ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปลูกปลูกเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 25 วัน และ 43 วัน	71
37	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 1	74
38	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 2	74
39	ก๊าซมีเทนสะสมในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปลูกปลูก 1500, 1000 และ 500 ml)	76
40	อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปลูกปลูก 1500 ml)	76
41	อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปลูกปลูก 1000 ml)	76
42	อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปลูกปลูก 500 ml)	76

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	การเจริญเติบโตของกะเจดที่วัดจากชีวมวลเฉลี่ย	81
44	การเจริญเติบโตของแพงพวยที่วัดจากชีวมวลเฉลี่ย	83
45	การเจริญเติบโตของผักตบชวาที่วัดจากชีวมวลเฉลี่ย	84
46	การเจริญเติบโตของกกอีเป็ดในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล	85
47	การเจริญเติบโตของกะเจดในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล	86
48	การเจริญเติบโตของแพงพวยในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล	87
49	การเจริญเติบโตของผักตบชวาในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล	88

## การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศ ร่วมกับบึงประดิษฐ์

### Performance Evaluation of Night Soil Treatment System using Anaerobic Channel Digester and Constructed Wetland

#### คำนำ

สิ่งปฏิกูลเป็นของเสียจากมนุษย์ที่มีสารอินทรีย์และเชื้อโรคเป็นองค์ประกอบ นอกจากเกิดกลิ่นเหม็นและเป็นที่น่ารังเกียจยังมีเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดโรคติดต่อ 4 กลุ่ม คือ ไวรัส(viruses) แบคทีเรีย(bacteria) โปรโตซัว(protozoa) และพยาธิ(worms) ที่สามารถแพร่กระจายจากสิ่งปฏิกูลออกสู่สิ่งแวดล้อมและเข้าสู่คนต่อไป (Klingel *et al*, 2002) ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องจะส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษและการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ เนื่องจากในอุจจาระเป็ยก ไข่พยาธิตัวกลมสามารถอยู่รอดได้นานที่สุด 2-3 ปี(Shuval *et al*, 1986 ; Strauss *et al.*, 2002)

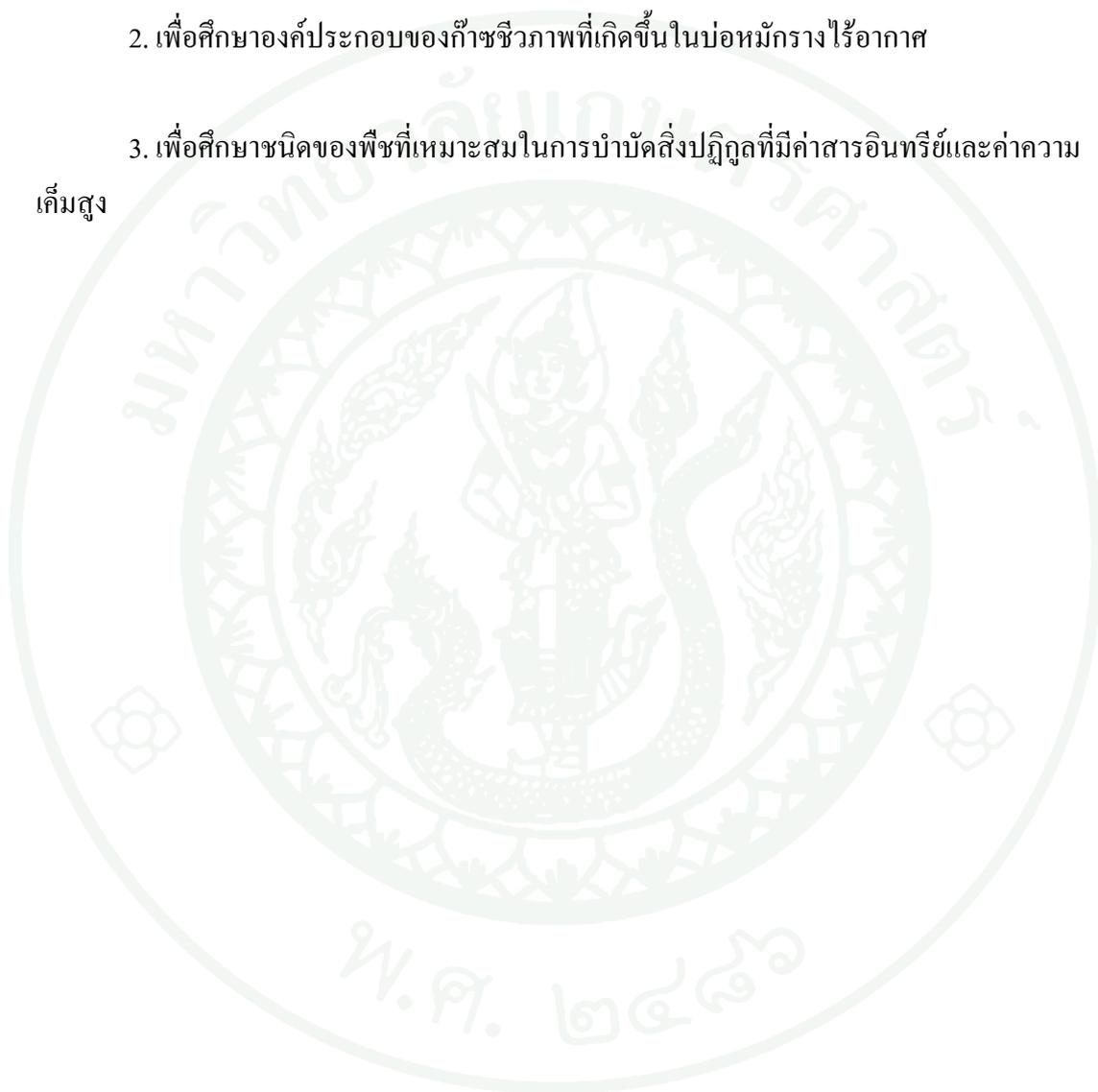
ปัจจุบันการจัดการสิ่งปฏิกูลในประเทศไทยนิยมใช้ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบอาศัยกระบวนการหมักย่อยสลายในถังปิดแบบไม่ใช้ออกซิเจน(Anaerobic Digestion) ซึ่งเดิมครั้งเดียวโดยการเติมสิ่งปฏิกูลเสร็จภายใน 1 วัน แล้วปิดฝาให้สนิท ทิ้งไว้ 28 วัน แล้วจึงปล่อยลงสู่ลานทรายกรอง ซึ่งเป็นระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อโรคระบบทางเดินอาหารและไข่พยาธิ แต่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากถังหมัก ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้สูงแต่มีค่าดำเนินการและก่อสร้างไม่สูงนัก พบว่าระบบบ่อหมักรางไร้อากาศซึ่งมีการใช้ในฟาร์มสุกรเป็นระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดค่าลงทุนต่ำ ก่อสร้างง่าย และใช้พื้นที่น้อยมีผลพลอยได้คือก๊าซชีวภาพใช้เป็นพลังงานทดแทน และสามารถนำกากตะกอนไปใช้ทำปุ๋ยได้ จึงได้มีการประยุกต์ใช้ระบบบ่อหมักรางไร้อากาศเพื่อบำบัดสิ่งปฏิกูล และน้ำเสียที่ออกมาจากบ่อหมักรางมีการบำบัดขั้นต่อไปด้วยบ่อผักตบชวาและบึงประดิษฐ์ซึ่งสามารถช่วยในการลดค่าความสกปรกของน้ำเสียได้ ก่อนจะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ในการบำบัดสิ่งปฏิกูล โดยทำการศึกษาระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลของบริษัททองฉวิล

บริการ จังหวัดระยอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลในฤดูฝน และฤดูแล้ง  
รวมทั้งศึกษาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในบ่อหมักรางไร่อากาศ



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไไร่อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักต่างกัน
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อหมักรางไไร่อากาศ
3. เพื่อศึกษาชนิดของพืชที่เหมาะสมในการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่มีค่าสารอินทรีย์และค่าความเค็มสูง



## การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรงไร้อากาศ ร่วมกับบึงประดิษฐ์ ของบริษัท ทองถวิลบริการ ในบทนี้จะได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยซึ่งประกอบด้วย สิ่งปฏิกูล ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล ระบบบ่อหมักไร้อากาศ และงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อที่จะทำให้เข้าใจถึงพื้นฐานของการวิจัยดียิ่งขึ้น

### สิ่งปฏิกูล

สิ่งปฏิกูล หมายถึง อุจจาระหรือปัสสาวะและหมายถึงสิ่งอื่นใดเป็นสิ่งโสโครกหรือมีกลิ่นเหม็น (คำจำกัดความ ตามมาตรา 4 ของพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535)

สิ่งปฏิกูล หมายถึง สิ่งขับถ่าย ที่ปล่อยออกมาจากร่างกาย (Excreta) โดยมีน้ำหนักแห้ง 27 กรัมต่อคนต่อวัน น้ำหนักเปียก 100-200 กรัมต่อคนต่อวัน มี E.coli ประมาณ 400 พันล้านต่อคนต่อวัน มีฟีคัลโคลิฟอร์ม 2,000 พันล้านต่อคนต่อวัน มีฟีคัลสเตรปโตคอกไคประมาณ 450 พันล้านต่อคนต่อวัน (Joseph, 1982)

#### 1. องค์ประกอบของสิ่งปฏิกูล

องค์ประกอบของสิ่งปฏิกูลจะประกอบด้วยสารอินทรีย์ คาร์บอน และไนโตรเจนร้อยละ 83, 29 และ 11 ตามลำดับ (ของน้ำหนักแห้ง) (SANDEC Report, 1998) นอกจากนี้ในการที่การบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูล เป็นระบบซึ่งใช้น้ำในการขับเคลื่อน ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมดังกล่าวจะมีปริมาณประมาณ 15.50 ลิตรต่อคนต่อวัน ขึ้นอยู่กับชนิดโถส้วมที่ใช้ และมีคุณลักษณะของน้ำเสียสอดคล้องกับองค์ประกอบของสิ่งปฏิกูลคือ มีความเข้มข้นของอินทรีย์สารในรูปบีโอดีค่อนข้างสูง

#### 2. ลักษณะของสิ่งปฏิกูล

ลักษณะและปริมาณของสิ่งปฏิกูล จะแตกต่างกันทั้งในด้านปริมาณ ส่วนประกอบ และความเหนียวข้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะอาหารที่แต่ละคนรับประทานเข้าไป

ลักษณะภูมิอากาศและสภาวะสุขภาพ แต่ละคนถ่ายอุจจาระคิดเป็นน้ำหนักเปียกประมาณวันละ 20 - 1,500 กรัม ถ้าแบ่งตามภูมิภาคส่วนต่าง ๆ ของโลก พบว่า ในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือถ่ายอุจจาระคิดเป็นน้ำหนักเปียกวันละ 100-200 กรัม คนในประเทศกำลังพัฒนาถ่ายอุจจาระคิดเป็นน้ำหนักเปียกวันละ 130-520 กรัม พวกมังสวิรัตินักมีปริมาณอุจจาระมากกว่าพวกอื่น และคนที่อยู่ในชนบทมักมีอุจจาระมากกว่าคนในเขตเมือง

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปของสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะ (หน่วย มก./ล.)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	USEPA		กรมควบคุมมลพิษ			
			ทั่วประเทศไทย		เขตหนองแขม	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
พีเอช	1.5	12.6	7.0	8.9	6.7	8.0
บีโอดี	440	78,600	203	1,350	600	5,500
ซีโอดี	1,500	703,000	374	3,025	1,200	76,000
ทีเคเอ็น	66	1,060	189	406	300	5,000
ของแข็งทั้งหมด	1,132	130,475	-	-	2,200	67,200
ของแข็งแขวนลอย	310	93,378	100	1,202	1,000	44,000

ที่มา: USEPA (1995)

กรมควบคุมมลพิษ (2545)

### 3. อัตราการปล่อยสิ่งปฏิกูล

ปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เกิดขึ้นต่อคน เท่ากับ 0.365 ลบ.ม./ปี ซึ่งหลังจากเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์จะเหลือกากตะกอนที่จะถูกเก็บกักอยู่ในบ่อเกรอะหรือบ่อซึมประมาณ 0.045 ลบ.ม./คน/ปี หรือ 0.123 ลิตร/คน/วัน (WHO, 1995)

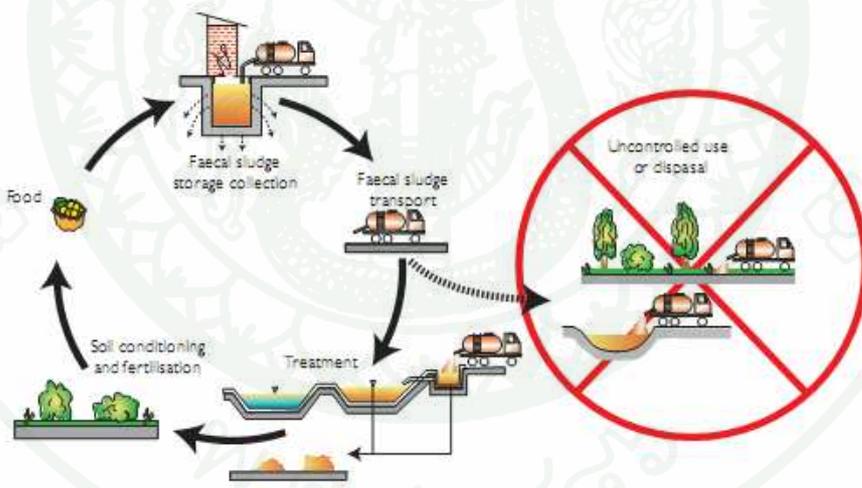
อัตราการสะสมของอุจจาระ ตะกอน และฝ้ามในหลุมส้วมของคนไทย มีค่ารวมกันเฉลี่ยเท่ากับ 37.595 ลิตร/คน/ปี หรือ 1.103 ลิตร/คน/วัน ซึ่งใช้ในการคำนวณขนาดบ่อเกรอะ บ่อซึมของส้วม ส่วนปริมาณสิ่งปฏิกูลที่ท้องถิ่นจะต้องจัดเก็บจากบ้านเรือนในแต่ละวัน จะเท่ากับ 0.103 ลิตร/

คน/วัน คุณด้วยจำนวนประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ ตัวเลขนี้ยังไม่ได้รวมปริมาณน้ำราดส้วมของแต่ละคนลงด้วยปริมาณน้ำที่ซึมออกจากบ่อซึม ปริมาณสิ่งปฏิกูลจะมีมากน้อยต่างกันในแต่ละฤดู ฤดูฝนจะมีปริมาณสิ่งปฏิกูลที่องถื่นจะต้องเก็บขนมากที่สุด เพราะเหตุว่า มีน้ำซึมเข้าบ่อเกรอะ บ่อซึมแทนที่จะซึมออก เป็นเหตุให้ส้วมเต็มเร็วในฤดูฝน (กรมอนามัย, 2549)

สิ่งปฏิกูลที่ถูกย่อยสลายภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกจะเหลือกากสิ่งปฏิกูลเพียงประมาณ 0.03-0.06 ลบ.ม./คน/ปี หรือ 0.082-0.164 ลิตร/คน/วัน (พัฒนา, 2546)

### ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล หมายถึง ระบบที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนสภาพของเสียในสิ่งปฏิกูลให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยจากการเกิดโรค ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแล้วจึงทำการกำจัดทิ้งไปหรือใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น ทำปุ๋ย เชื้อเพลิง ฯลฯ



ภาพที่ 1 สิ่งปฏิกูลและการบำบัด

ที่มา: Tsuzuki *et al.* (2009)

## 1. หลักการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูล

องค์ประกอบของสิ่งปฏิกูลส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ ในกรณีที่ใช้รดคูด้ามคูดออกไปนั้น ส่วนที่เป็นน้ำ (supernatant) และส่วนที่เป็นตะกอน (sludge) จะถูกคลุกเคล้าผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะมีชื่อเรียกต่างๆ กันในประเทศไทยจะเรียกว่า night soil ประเทศเวียดนามเรียกว่า septic tank waste บางประเทศที่ใช้ภาษาอังกฤษจะเรียกว่า septage และ Sandec/Eawag จะเรียกว่า fecal sludge (Waterlink USAID, 2010) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสิ่งปฏิกูลยังมีความสกปรกอยู่มาก ดังนั้นหลักการในการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลจึงมีหลักการเหมือนกับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการที่สำคัญตามชนิดของจุลินทรีย์ ได้แก่

- กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์
- กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์

## 2. วิธีการบำบัดสิ่งปฏิกูล

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีหลายวิธี ซึ่งแตกต่างกันตามราคาในการลงทุน ประสิทธิภาพในการบำบัดและผลพลอยได้ที่ได้รับ ตามเมืองใหญ่ๆ ในประเทศที่พัฒนาแล้วนิยมจัดระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูลรวมกับการกำจัดน้ำโสโครก โดยจัดสร้างระบบท่อรับน้ำโสโครก (Sewer System) ให้สามารถรับน้ำโสโครกธรรมดาและสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือนและสถานที่ต่าง ๆ แล้วนำมาแหล่งรวมกลางเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ (Treatment Process) และทำการกำจัด (Disposal) ต่อไป (เอ็ม อัจฉนา, 2549)

### 2.1 การนำลงดิน (Land Application)

ในเมือง Norther Ghana ในแถบแอฟริกา จะนำสิ่งปฏิกูลไปเทลงในไร่ นา โดยไม่ผ่านการบำบัด เช่นเดียวกับในประเทศจีน ที่มีการนำสิ่งปฏิกูลเทลงหลุมเพื่อเป็นการเก็บกักเพื่อการเพาะปลูกผัก (Cross, 1985; Timmer and Visker, 1998; Visker, 1998; Timmer, 1999; Strauss *et al.*,

2000) สิ่งปฏิกูลที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดมีผลกระทบต่อมลพิษทางน้ำ น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน ทำให้มีความเสี่ยงต่อสุขภาพสำหรับผู้ใช้น้ำ ผลกระทบต่อสุขภาพหากมีการถ่ายทอดการติดเชื้อในสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าโรคอหิวาต์ ไทฟอยด์ ที่เกิดจากสิ่งปฏิกูลที่ใช้ปลูกผักสามารถถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภคได้ (Shuval *et al*, 1986) มีผลกระทบทางด้านกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อผู้พักอาศัยใกล้เคียงและผู้สัญจรผ่านไปมา (Strauss *et al.*, 2000) ในการปลูกพืชไร่โดยใช้สิ่งปฏิกูลที่ยังไม่ผ่านการบำบัดอาจทำให้พบการติดเชื้อพยาธิ Schistosomiasis และพบว่ามีอาการติดเชื้อพยาธิตัวตืดและเชื้อแบคทีเรียจำพวก Salmonellosis ในวัวควายด้วย (Blum and Feachem, 1985)

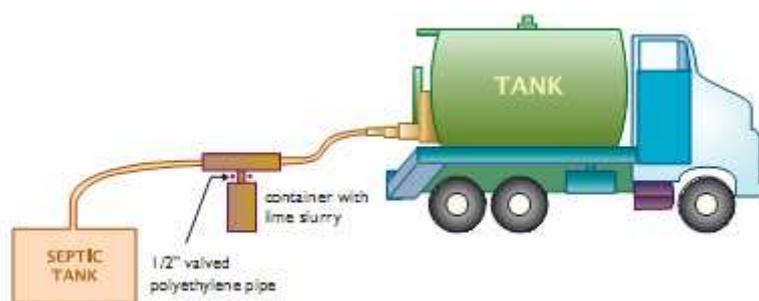


ภาพที่ 2 เทสิ่งปฏิกูลที่ยังไม่ผ่านการบำบัดในพื้นที่ทางการเกษตร

ที่มา: USAID (2008)

## 2.2 การเติมสารเคมี

โดยการเติม Polymerized quick lime ( $\text{CaO}$ ) หรือ Hydrate lime ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) หรือสารเคมีที่มีความเป็นด่างลงในสิ่งปฏิกูล โดยเติมระหว่างที่ทำการดูดสิ่งปฏิกูลเข้าสู่รถจัดเก็บสิ่งปฏิกูลหรือเติมลงในถังจัดเก็บสิ่งปฏิกูลก่อนที่จะทำการดูดสิ่งปฏิกูลในอัตรา  $\text{CaO}$  20 – 25 lb หรือ  $\text{Ca(OH)}_2$  26 – 33 lb ต่อสิ่งปฏิกูล 1000 gal โดยให้มีค่า pH เท่ากับ 12 ในเวลา 30 นาที จากการศึกษานี้ของ Chiu Yue Lin and Yu Sheng Lee (2002) พบว่าการเติม NaOH ลงในสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบ UASB สามารถบำบัด ammonia ได้ถึงร้อยละ 55 ส่วนการเติม HCl สามารถบำบัด ammonia ได้เพียงร้อยละ



ภาพที่ 3 การเติมปุ๋นขาวสู่รถขนถ่ายสิ่งปฏิกูล

ที่มา: USAID (2008)

### 2.3 หมักปุ๋ย (Composting)

เป็นการนำสิ่งปฏิกูลมาหมักผสมกับเศษวัสดุจากธรรมชาติ เช่น เศษไม้ ผลพลอยได้คือเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินสามารถนำไปใช้กับการเกษตรกรรม (Holmqvist and Stenstrom, 2002) ซึ่งมีการใช้มานานแล้วในประเทศแถบเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินเดีย ไทย อินโดนีเซีย เวียดนาม ไต้หวัน จีน แถบเอเชียตะวันตก เช่น ประเทศอิสราเอล และแอฟริกา (Edwards, 1992; Santaram *et al.*, 2007)

### 2.4 ย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Digestion)

กระบวนการแอโรบิกเป็นกระบวนการที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพด้วยออกซิเจนอิสระ ผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จะได้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วันระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ร้อยละ 80.4 (Chiu and Jen, 1997)

### 2.5 ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

กระบวนการทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกัก 25 วัน ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีก๊าซมีเทน

เกิดขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 73 (Lokendra, 1995) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกัก 20 - 25 วัน ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 60 - 63 (Singh, 1993) ที่อุณหภูมิ 15 - 20 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นความเข้มข้นร้อยละ 57 หลังบำบัดร่วมกับการเติมคลอรีนมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ร้อยละ 97 (Mether *et al.*, 1994) การบำบัดสิ่งปฏิกูลร่วมกับน้ำชะมูลฝอยโดยมีอัตราส่วนของสิ่งปฏิกูลต่อน้ำชะมูลฝอยเท่ากับ 3:1 ในระบบบำบัดแบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศ (CSTR) ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ร้อยละ 86 (Chiu *et al.*, 1998)

## 2.6 บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland)

มีหลักการบำบัดคือใช้วัสดุอินทรีย์ธรรมชาติ (กรวดทรายขนาดต่างๆ) เป็นตัวกรองสิ่งปฏิกูลในบึงที่จัดทำขึ้น โดยมีพืชเป็นตัวย่อยสลายและระบบรากพืชที่ซ่อนไขลงไปในชั้นวัสดุกรองทำหน้าที่ช่วยระบายน้ำ ซึ่งจะต้องทำบึงประดิษฐ์สองบึงจึงจะสามารถปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งแม่น้ำสาธารณะได้ จากการศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลอยู่ในเกณฑ์ดี แต่พบปัญหาในการบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบึงประดิษฐ์คือ พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์มีการปรับตัวช้า ตามปกติจะใช้ระยะเวลาในการปรับตัวประมาณ 1 - 3 เดือน แต่บางครั้งก็อาจใช้เวลานานถึง 6 เดือนขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบ ไม่อาจทำลายไขพยาธิได้หมด และมีปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวน จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพขึ้นต่อไปก่อนนำไปใช้ประโยชน์

## 2.7 การบำบัดในโรงบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Plant)

ในประเทศที่พัฒนาแล้วจะเลือกใช้การบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบการบำบัดรวมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของบำบัดน้ำเสียรวม โดยเมื่อบำบัดน้ำเสียจนมีคุณภาพตามที่กำหนดไว้ ก็จะปล่อยลงสู่ธรรมชาติ ในขณะที่กากที่เหลือจากการบำบัดจะถูกนำไปเผาด้วยความร้อนสูง เพื่อทำลายกากตะกอนให้เหลือน้อยที่สุด ก่อนนำไปฝังกลบต่อไป โดยระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบำบัดรวมจัดเป็นระบบบำบัดแบบเบ็ดเสร็จ และไม่อาจนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เป็นระบบกำจัดอย่างสมบูรณ์ (อาณัฐ, 2552)

## 2.8 ระบบบำบัดแบบอื่น ๆ

ในประเทศญี่ปุ่นมีการศึกษาเกี่ยวกับระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลโดยใช้ระบบ Ultrafiltration พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ดีมากและสามารถบำบัดในโตรเจนทั้งหมดได้มากกว่าร้อยละ 99 (Takao and Kensuke, 1996; Matsuo, 1999) ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลด้วยระบบตัวกรองชีวภาพ โดยใช้ถ่านพีท (Peat) ที่สามารถบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 95 (Mahamad *et al.*, 1998) การใช้ระบบบำบัดด้วยโอโซนในระบบบำบัดขั้นที่สามของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลพบว่าน้ำที่ออกจากระบบบำบัดมีค่า COD ประมาณ 20 – 30 mg/l (Kaiga *et al.*, 1984)

วิธีที่เหมาะสมในการบำบัดสิ่งปฏิกูลคือ ระบบบ่อหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Heinss *et al.*, 1998) กากชีวภาพ (Biosolids) ที่เหลือจากการบำบัดอาจต้องมีการเก็บกักและตากแห้งโดยใช้แสงแดดเพื่อให้แน่ใจว่าไข่พยาธิตายหมดแน่นอน โดยกากชีวภาพ ไม่ควรมีไข่พยาธิเกิน 3-8 ฟองต่อกรัมของน้ำหนักแห้งของกากชีวภาพ (Xanthoulis and Strauss, 1991) กระบวนการทรายกรองแบบเร็ว (Rapid sand filter) สามารถกำจัดไข่พยาธิ ตัวอ่อนของโปรโตซัวที่มีขนาดใหญ่ (5-7  $\mu\text{m}$ ) แบคทีเรียขนาด 1-10  $\mu\text{m}$  และกำจัดไวรัสขนาด 0.001-0.1  $\mu\text{m}$  ได้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ

Process	ข้อดี	ข้อเสีย
Lagoons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ง่ายต่อการควบคุมระบบ</li> <li>- ต้นทุนต่ำ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก</li> <li>- ฤดูกาลมีผลกระทบต่อระบบบำบัด</li> <li>- มีปัญหาเรื่องกลิ่น</li> <li>- คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบต่ำมาก</li> </ul>
Wetlands	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ง่าย</li> <li>- ต้นทุนต่ำ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของพืช</li> <li>- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก</li> <li>- ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ</li> <li>- มีปัญหาเรื่องขุ่น</li> </ul>
Municipal WWTP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถควบคุมการเดินระบบได้มากกว่า Wetland และ Lagoons</li> <li>- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง</li> <li>- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้นทุนในการก่อสร้างและดูแลระบบสูงกว่า Wetland และ Lagoons</li> </ul>

ที่มา: USEPA (1984)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสียของระบบบำบัดตะกอนสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ

ระบบ	วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
Alkaline Stabilization	เติมปูนขาวหรือสารเคมีที่เป็นด่างที่มีค่า pH เท่ากับ 12 เป็นระยะเวลา 30 นาที	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ง่าย</li> <li>- ต้นทุนต่ำ</li> <li>- ลดการเกิดกลิ่นจากก๊าซไข่เน่า</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องมีการบำบัดของแข็งเพิ่ม</li> <li>- อาจเกิดปัญหาจากการสัมผัสปูนขาว</li> <li>- ต้องมีอุปกรณ์ในการเติมและผสมปูนขาว</li> </ul>
Composting	ผสมสิ่งปฏิกูลกับเศษวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ เช่น เศษไม้ และเติมอากาศโดยการกลับกองกระบวนการหมักจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูง และสามารถฆ่าเชื้อโรคได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดผลพลอยได้เป็นปุ๋ยสำหรับปรับปรุงคุณภาพดิน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เกิดกลิ่นเหม็น</li> <li>- ต้นทุนในการควบคุมระบบค่อนข้างสูง</li> </ul>
Aerobic Digestion	เติมอากาศ 15 – 20 วันในถังแบบเปิดเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์และลดการเกิดกลิ่น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่อนข้างง่าย</li> <li>- สามารถลดการเกิดกลิ่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบเติมอากาศมีต้นทุนสูง</li> <li>- ถังสำหรับใส่สิ่งปฏิกูลต้องมีขนาดใหญ่</li> <li>- ที่อุณหภูมิที่ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้น</li> </ul>
Anaerobic Digestion	หมักสิ่งปฏิกูลในระบบไร้อากาศเป็นระยะเวลา 15 – 30 วันเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องการผู้ควบคุมระบบที่มีความชำนาญสูง</li> <li>- ต้นทุนในการก่อสร้างสูง</li> <li>- ต้องมีอุปกรณ์สำหรับเก็บแก๊ส</li> <li>- ส่วนใหญ่ไม่ใช้ในการบำบัดร่วมกับน้ำเสียจากชุมชน</li> </ul>

ที่มา: USEPA (1984)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ

ระบบ	วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
Land Application	นำสิ่งปฏิกูลที่ยังไม่ผ่านการบำบัดนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่สาธารณะ เช่น พื้นที่ทางการเกษตร ป่าไม้ และพื้นที่รกร้าง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นการนำสารอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่และเพิ่มธาตุอาหารในดิน</li> <li>- ง่ายและประหยัด</li> <li>- ใช้พลังงานน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ด้านสุขภาพอาจมีเชื้อโรคที่ปนเปื้อนในดิน และอาจถ่ายทอดสู่มนุษย์</li> <li>- ด้านสิ่งแวดล้อม อาจมีการปนเปื้อนแหล่งน้ำผิวดิน และไหลลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน</li> <li>- เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์</li> <li>- ประชาชนเกิดความรู้สึกด้านลบ</li> <li>- ต้องอาศัยระยะเวลาก่อนจะเข้าใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้</li> </ul>
	สิ่งปฏิกูลที่เสถียรสามารถนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่สาธารณะ เช่น พื้นที่ทางการเกษตร ป่าไม้ และพื้นที่รกร้าง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นการนำสารอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่และเพิ่มธาตุอาหารในดิน</li> <li>- สามารถลดกลิ่นและการแพร่กระจายของเชื้อโรค</li> <li>- ง่ายและประหยัด</li> <li>- ใช้พลังงานน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องอาศัยระยะเวลาก่อนจะเข้าใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้</li> <li>- ประชาชนเกิดความรู้สึกด้านลบ</li> </ul>
Treatment at WWTPs	เติมสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบบำบัดหรือนำบำบัดร่วมกับน้ำเสียชุมชน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม, สุขภาพ และลดการเกิดกลิ่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องควบคุมปริมาณสิ่งปฏิกูลให้สม่ำเสมอ ป้องกันการเกิด overloading และการปนเปื้อนสารพิษจากสิ่งปฏิกูล</li> </ul>

## ตารางที่ 4 (ต่อ)

ระบบ	วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
Treatment at WWTPs	ปริมาณสิ่งปฏิกูลสามารถปรับให้เหมาะสมได้ขึ้นอยู่กับระบบบำบัดและความสามารถในการรับน้ำเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้ระบบบำบัดที่มีอยู่แล้วแทนที่จะต้องสร้างระบบใหม่</li> <li>- การควบคุมระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลเหมือนกับระบบบำบัดและไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมระบบเพิ่ม</li> <li>- การจัดการเหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อาจเกิดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษของสารละลายลงในระบบบำบัดถ้าขาดการดูแลและควบคุมระบบให้ดี</li> <li>- เพิ่มการจัดการเรื่องกลิ่นจากสิ่งปฏิกูล</li> <li>- ต้องมีการเติมอากาศ</li> <li>- ต้องการการจัดการส่วนที่เหลือเพิ่ม</li> </ul>
Treatment at Independent Septage Treatment Plants	เป็นระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลเพียงอย่างเดียว	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นพื้นที่สำหรับการจัดการสิ่งปฏิกูล</li> <li>- ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม, สุขภาพและลดการเกิดกลิ่นกับประชาชน</li> <li>- ภาระบรรทุกไม่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน</li> <li>- การควบคุมระบบเหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการสูง</li> <li>- ต้องการผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมดูแลระบบเหมือนกับระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน</li> </ul>

ที่มา: USEPA (1984)

### 3. ระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูลในประเทศไทย

ประเทศไทยมีส่วนร่วมครอบคลุมร้อยละ 98.4 ของบ้านเรือน แต่อัตราการป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงยังคงมีแนวโน้มสูง ถึงแม้ว่าอัตราการตายมีแนวโน้มลดลงก็ตาม สถานการณ์การจัดการสิ่งปฏิกูลในประเทศไทยปัจจุบันพบว่า เมืองครึ่งปกครองท้องถิ่น ไม่ได้บำบัดสิ่งปฏิกูลร้อยละ 79.5 ส่วนใหญ่ทิ้งตามพื้นที่ทางการเกษตร ร้อยละ 46.2 นำไปทิ้งในพื้นที่ที่เตรียมไว้ โดยชุดเป็นบ่อหรือสระ ร้อยละ 49.1 นอกจากนั้นนำไปทิ้งในที่ทิ้งขยะ (ประเสริฐ, 2008)

#### 3.1 บ่อเกรอะ (Septic Tank)

เป็นระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูล โดยใช้น้ำเป็นตัวขับเคลื่อนสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ที่เก็บกักซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในเขตเมืองและชนบท เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบที่รักษาความสะอาดได้ง่ายป้องกันกลิ่นและแมลงได้ดี สร้างขึ้นใช้ได้ภายในอาคารที่พักอาศัยเมื่อถึงเก็บกักเต็มก็สามารถดูดออกกำจัดได้ โดยไม่ต้องย้ายหรือสร้างใหม่

บ่อเกรอะเป็นส่วนระบบที่ใช้น้ำและให้มีน้ำขังอยู่ที่โถส้วมแบบราดน้ำหรือแบบชักโครก ผลักดันให้น้ำไหลไปยังที่เก็บกักและบำบัดสิ่งปฏิกูลในถังเกรอะ ซึ่งเป็นถังที่ทำด้วยวัสดุที่ป้องกันการซึมของน้ำได้ เช่น คอนกรีต ไฟเบอร์กลาสหรือพลาสติก มักวางฝังไว้ใต้ผิวดิน โดยให้ปากถังโผล่ขึ้นมาเหนือผิวดินเล็กน้อย (ภาพที่ 4) มักออกแบบให้สามารถเก็บกักสิ่งปฏิกูลและน้ำเสียไว้ในถังประมาณ 1-3 วัน ตะกอนจะถูกเก็บกักไว้ในถัง ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาวะแอนแอโรบิก เกิดแก๊สดันของแข็งที่มีน้ำหนักเบาให้ลอยอยู่ที่ผิวของถังกลายเป็นฝ้า (scum) ซึ่งประกอบด้วยไขมันระหว่างชั้นของฝ้าและชั้นของตะกอน จะเป็นชั้นของน้ำจะต้องระบายออกจากถังเกรอะ ไปสู่การบำบัดน้ำเสียต่อไป เพราะระยะเวลาเก็บกักในถังเกรอะเพียง 1-3 วัน การย่อยสลายสิ่งขับถ่าย และการทำลายเชื้อโรคยังไม่สมบูรณ์



## ตารางที่ 5 ลักษณะของตะกอนในบ่อเกรอะ

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (มก./ล.)	
	ค่าโดยทั่วไป <sup>(1)</sup>	ค่าโดยทั่วไป <sup>(2)</sup>
1. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	6,000	5,000
2. ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	40,000	40,000
3. ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	15,000	20,000
4. ค่าไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น (TKN)	700	1,200
5. ค่าไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	400	350
6. ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	250	250
7. ค่าไขมัน (Grease)	8,000	-

ที่มา: (1) Metcalf and Eddy (1991)

(2) สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2538)

เนื่องจากประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของบ่อเกรอะไม่สูงนักคือประมาณร้อยละ 40 – 60 ทำให้น้ำทิ้งจากบ่อเกรอะยังมีค่าบีโอดีสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนดไว้ จึงไม่สามารถปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติหรือท่อระบายน้ำสาธารณะได้ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดขั้นที่สองต่อไป

### 3.2 ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยตามโครงการพระราชดำริ

จากกระแสพระราชดำรัส เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2544 เนื่องในวโรกาสวันเฉลิมพระชนมพรรษา 5 ธันวาคม 2544 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงตรัสเกี่ยวกับการจัดการสิ่งปฏิกูลว่า " สิ่งโสโครกจากบ้านเรือนที่ให้เทศบาลสูบไป มักนำไปปล่อยลงคลอง ลงแม่น้ำ ถ้าหาที่แห่งหนึ่งนอกเมือง ทำถังหมักสิ่งโสโครกไว้ 10 วัน สิ่งที่เป็นสิ่งโสโครกก็หายโสโครกเชื้อโรคอะไรก็หมดไป ถ้าให้ดีเอาไว้ 28 วัน ไขมันจริงๆจางๆ พวกเชื้อที่ร้ายแรงที่ยังมีอยู่ก็หมด แม้แต่กลิ่นก็หายหมดเสร็จแล้วเอามาตากใช้ประโยชน์ได้ ทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นน้ำเป็นปุ๋ยที่ไม่เหม็นเทศบาลต่างๆ ที่มีปัญหานี้ก็ต้องพยายามพิจารณาว่าจะทำอะไรต่อไป "

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลอาศัยกระบวนการหมักย่อยสลายในถังปิดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ซึ่งเติมครั้งเดียวคือเติมสิ่งปฏิกูลเสร็จภายใน 1 วัน แล้วปิดฝาให้สนิท ทิ้งไว้ 28 วัน แล้วปล่อยลงสู่ลานทรายกรอง ตากตะกอนให้แห้งสนิท ตะกอนที่ได้จะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ปลอดภัยจากเชื้อโรคระบบทางเดินอาหารและไขพยาธิ ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยตามโครงการพระราชดำริประกอบด้วย



- 1 อาคารสำนักงาน
- 2 บ่อเก็บน้ำ
- 3 ถังหมักย่อยสลาย
- 4 ลานทรายกรอง
- 5 อาคารเก็บเครื่องจักร
- 6 อาคารโรงเก็บปุ๋ย
- 7 อาคารเก็บอุปกรณ์
- 8 ลานจอดรถ

ภาพที่ 5 แผนผังระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ย ณ ศูนย์บริการและพัฒนาสิ่งแวดล้อมเทศบาลนครนนทบุรี

(1) ถังหมักย่อยสลาย ประกอบด้วยถังคอนกรีตที่ก่อนสร้างขึ้นมีฝาปิดมิดชิดจำนวน 31 ถังถ้าใส่สิ่งปฏิกูลวันละ 1 ถัง ถังหมักแต่ละถังต้องมีที่ระบายอากาศ ภายในถังหมักจะบรรจุสิ่งปฏิกูลที่ได้จากกรดสูบล้างสิ่งปฏิกูลที่ไปสูบล้างจากส้วมจากบ้านเรือนและอาคารต่าง ๆ แล้วนำมาถ่ายลงในถังหมักนี้ ภายในถังหมักจะเกิดการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ทำการหมักอย่างน้อย 28 วัน เพื่อทำลายเชื้อโรค พยาธิและไขพยาธิที่ปะปนมากับสิ่งปฏิกูล



ภาพที่ 6 แสดงถึงหมักย่อยสลายสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ย

(2) ลานทรายกรอง ภายหลังจากสิ่งปฏิกูลและน้ำที่ทำการหมักในถังหมักจนครบเวลาตามกำหนดแล้ว จึงปล่อยลงสู่ลานทรายกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่กรองสิ่งปฏิกูลให้เหลือตกค้างอยู่ด้านบน ส่วนน้ำก็จะซึมผ่านลานทรายกรอง สู่อุโมงค์น้ำที่ด้านล่าง เพื่อรวบรวมนำไปสู่อุปกรณ์เก็บไว้รดต้นไม้ หรือบำบัดก่อนปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะ สำหรับตะกอนอยู่ด้านบนลานทรายกรองนั้น ให้ตากแดดจนแห้ง เพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรคอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงนำไปย่อยหรือบดให้มีขนาดเล็กลง เพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยต่อไป



ภาพที่ 7 แสดงลานทรายกรองระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ย

ผลของการจัดการสิ่งปฏิกูลตามโครงการฯ พบว่า ถ้านำสิ่งปฏิกูลใส่ในถังหมักในระบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยการเติมครั้งเดียวเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 28 วัน ตามแนวทางของโครงการพระราชดำริแล้วระบบกำจัดสิ่งปฏิกูลแบบนี้มีประสิทธิภาพดี คือ

(1) เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อร้ายแรงของระบบทางเดินอาหารนั้นจะตายหมด ตัวอย่างเช่น เชื้อ *Vibrio cholerae* จะตายภายใน 2 วันหลังจากการหมัก เชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* จะตายภายใน 4 วัน ส่วนเชื้อ *Salmonella enteritidis serparatyphi* B จะตายภายใน 4 วัน ส่วนเชื้อ *Shigella flexneri*

จะตายภายใน 18 วัน และที่สามารถทนทานมากที่สุด คือ เชื้อ *Non-agglutinable Vibrio* (Group I) จะตายหมดหลังจากการหมัก 28 วัน

(2) พยาธิลำไส้ หลังจากทำการหมักย่อยสลาย เป็นเวลา 6 วัน ตรวจไม่พบไข่พยาธิตัวกลม (*Ascaris lumbricoides*) และพยาธิปากขอ (Hook worm) ในระยะที่สามารถติดต่อกันได้ (Fertilized egg) หลังจากการหมักระยะเวลา 6-28 วัน ยังพบไข่พยาธิตัวกลมและไข่พยาธิปากขอแต่เป็นไข่ที่ฝ่อ (Degenerated egg) ไม่สามารถจะเจริญเติบโตเป็นตัวอ่อนระยะติดต่อกัน (Infective Stage) ถึงคนได้

(3) การบำบัดน้ำเสีย จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียพบว่า ค่า BOD ลดลงถึงร้อยละ 70.4 ค่า COD ลดลงร้อยละ 52 ภายหลังจากการหมักย่อยสลาย 20 วัน และค่า COD จะลดลงสูงสุดถึงร้อยละ 86.6 ภายหลังจากการหมักย่อยสลาย 49 วัน

(4) คุณค่าการเป็นธาตุอาหารพืช การใช้กากสิ่งปฏิกูลตากแห้งทำให้ผลผลิตของต้นข้าวโพด ที่วัดในรูปแบบหนึ่ง รูปใดก็ตาม คือ ความสูง น้ำหนักแห้ง การดูดกินโปแตสเซียม ฟอสฟอรัส มากกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าการดูดกินไนโตรเจนของข้าวโพดจะน้อยกว่าก็ตาม แสดงว่ากากอุจจาระแห้งสามารถใช้เป็นปุ๋ยได้เป็นอย่างดีและสามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

การบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยตามโครงการพระราชดำรินับว่าเป็นระบบการบำบัด สิ่งปฏิกูลที่ดี ถูกหลักการสุขาภิบาล สามารถทำลายเชื้อโรคและพยาธิในตะกอนสิ่งปฏิกูลให้ ปราศจากเชื้อโรค แต่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากถังหมัก ใช้พื้นที่มาก และมีค่าใช้จ่ายในการ ก่อสร้างค่อนข้างสูงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงงบประมาณและพื้นที่ในการก่อสร้างระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ย  
ขนาดถึงหมัก 15 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ส่วนประกอบของระบบ บำบัดสิ่งปฏิกูล	ขนาดพื้นที่ (ม <sup>2</sup> )	งบประมาณในการก่อสร้าง(บาท) : 9 มกราคม 2549
1. แบบตอกเสาเข็ม	32.00 x 50.00	4,884,699
2. แบบตอกเสาเข็ม ไม่มีรั้ว และไม่มีที่พักคนงาน	32.00 x 50.00	4,244,927
3. แบบไม่ตอกเสาเข็ม	32.00 x 50.00	4,215,360
4. แบบไม่ตอกเสาเข็ม ไม่มีรั้ว และไม่มีที่พักคนงาน	32.00 x 50.00	3,618,893

ที่มา: กรมอนามัย (2549)

### 3.3 ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบ Activated Sludge

ระบบ Activated Sludge เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ที่มีพื้นที่จำกัด หรือที่ดินมีราคาแพง และต้องการน้ำเสียที่มีคุณภาพสูง (สุเทพ, 2550) หลักการของระบบก็คือตะกอนสลัดจ์ที่จมตัวลงและถูกแยกออก ซึ่งประกอบด้วยจุลชีพที่ยังมีชีวิตและยังอยู่ในระยะที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ จะถูกหมุนเวียนกลับลงไปในถังปฏิกรณ์เพื่อเพิ่มมวลของจุลชีพในถังปฏิกรณ์และเพิ่มอายุของตะกอนสลัดจ์ในระบบเพื่อเร่งให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้เร็วขึ้น

ตัวอย่างการใช้ระบบ Activated Sludge ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลในประเทศไทย เช่น โรงงานบำบัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุชดังภาพที่ 8



เสียด้านฝายด้านบน โดยชุดขับเคลื่อนในบ่อตกตะกอนจะมีแกนกวาดตะกอนเบาที่ลอยเหนือน้ำสู่ช่องระบายตะกอนเบา

(5) บ่อเก็บตะกอน (Sludge Storage Tank) จำนวน 2 บ่อ ทำหน้าที่เก็บตะกอนที่ได้จากกระบวนการตกตะกอนที่บ่อตะกอนครั้งแรกเพื่อเตรียมที่จะเข้าสู่ระบบการรีดตะกอน

(6) เครื่องรีดตะกอน (Belt Press) โดยตะกอนที่รีดได้จะนำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับเศษกิ่งไม้ใบไม้ที่โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่ผ่านการรีดจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง มีความชื้น 20% DS (Dry solid)

(7) บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) มีจำนวน 4 บ่อ ติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำรอบต่ำ เพื่อเติมอากาศให้กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสีย

(8) บ่อตกตะกอนสุดท้าย (Final Clarifier) จำนวน 2 บ่อ ซึ่งเป็นบ่อที่ใช้แยกตะกอนเบาออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเติมอากาศ

(9) บ่อเก็บรวบรวมน้ำใส (Waste Sump Tank) ภายในบ่อติดตั้งปั๊มสุบชนิดแช่น้ำจำนวน 3 ชุด เพื่อสูบเข้าสู่ระบบกรองน้ำ

(10) เครื่องกรองน้ำอัตโนมัติ (Automatic Valveless Gravity filter) สามารถทำงานล้างระบบการกรองได้โดยอัตโนมัติ หากเกิดการอุดตันในระบบการกรองน้ำอัตโนมัติ

(11) ระบบฆ่าเชื้อโรค (Ozone) โดยภายในบ่อเป็นช่องเพื่อให้ น้ำไหลวน และมีหัวจ่าย Ozone เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่มีอยู่ในน้ำเสีย ก่อนที่จะปล่อยน้ำ ลงสู่ลำคลองสาธารณะ

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยตามโครงการพระราชดำริและแบบ Activated Sludge

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง</li> <li>- ดูแลระบบง่าย</li> <li>- มีผลพลอยได้เป็นปุ๋ย</li> <li>- สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด</li> <li>- ใช้พลังงานน้อย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก</li> <li>- ต้นทุนในการก่อสร้างค่อนข้างสูง</li> <li>- ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกจากถังหมัก</li> </ul>
ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบ Activated Sludge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ประสิทธิภาพในการบำบัดสูง</li> <li>- สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด</li> <li>- กากตะกอนสามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้นทุนในการก่อสร้างสูง</li> <li>- ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมระบบ</li> <li>- ใช้พลังงานในการดำเนินระบบสูง</li> <li>- กากตะกอนต้องมีการนำไปหมักก่อนทำเป็นปุ๋ยได้ ไม่สามารถใช้กับพืชได้โดยตรง</li> </ul>

จากตารางที่ 7 ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยเปรียบเทียบกับระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบ Activated Sludge มีข้อดี ข้อเสียต่างๆ กัน โดยระบบ Activated Sludge มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้สูงแต่เนื่องจากมีขั้นตอนยุ่งยาก ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูง ซึ่งเหมาะกับพื้นที่ที่มีสิ่งปฏิกูลจำนวนมาก ส่วนระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบหมักเป็นปุ๋ยต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก และไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากถังหมัก จึงได้มีการออกแบบระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักวางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างไม่สูงมากนัก ดำเนินระบบได้ง่าย มีระบบบำบัดชั้นหลัง มีผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพและปุ๋ยหมัก

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chiu and Jen (1997) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย โดยมีระยะเวลาเก็บกัก 3, 10, 15, 20 และ 30 วัน โดยเติมสิ่งปฏิกูลครั้งเดียว จากผลการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ SRT เท่ากับ 10 วัน และมีภาระบรรทุก

สารอินทรีย์ และของแข็งระเหยง่ายเท่ากับ  $464 \text{ gCOD/m}^3\text{-d}$  และ  $1.462 \text{ kg/m}^3\text{-d}$  ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดี และของแข็งระเหยง่ายเท่ากับร้อยละ 80.4 และ 30 ตามลำดับ โดยภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะมีอัตราการบำบัดชีโอดี, แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่ากับ 373, 26.1 และ  $0.7 \text{ g/m}^3\text{-d}$  ตามลำดับ

Chiu *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลร่วมกับน้ำชะมูลฝอย โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ระบบแบบ CSTR และควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  โดยมีอัตราส่วนค่าชีโอดีระหว่างสิ่งปฏิกูลกับน้ำชะมูลฝอยเท่ากับ 1:0, 1:1, 2:1 และ 3:1 และมี SRT เท่ากับ 5.3, 10 และ 20 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์และของแข็งระเหยง่ายเท่ากับ  $0.3 - 1.4 \text{ kgCOD/m}^3\text{/d}$  และ  $0.79 - 3.7 \text{ kg/m}^3\text{/d}$  ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสิ่งปฏิกูลจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีทั้งหมด, แอมโมเนียไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เมื่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ  $0.315 \text{ kgCOD/m}^3\text{/d}$  (สิ่งปฏิกูล:น้ำชะมูลฝอย เท่ากับ 3:1) และมี SRT 20 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีทั้งหมด, แอมโมเนียไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และของแข็งระเหยง่ายเท่ากับ 86, 69, 86 และ 28 ตามลำดับ

Singh *et al.* (1992) ได้ทำการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสิ่งปฏิกูล โดยเติมสิ่งปฏิกูล 25 ลิตร และทำการหมักที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  ระยะเวลาในการเก็บกัก 20 – 25 วัน พบว่ามีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 23 – 28 l/d และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 60 – 63 และเมื่อควบคุมปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย และค่าพีเอชเท่ากับ 800 ppm และ 7.3 ตามลำดับ โดยทำการทดลองแบบกะที่อุณหภูมิ  $5 - 30^\circ\text{C}$  พบว่ามีก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.2

ชัยศรี (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากโรงบำบัดสิ่งปฏิกูลเทศบาลสงขลา ด้วยถังหมักไร้อากาศซึ่งกำหนดระยะเวลาการหมักนาน 20, 30 และ 40 วัน โดยไม่มีการกวนผสม และมีการกวนผสม เมื่อครบกำหนดจึงปล่อยสิ่งปฏิกูลลงบนทรายตากตะกอน โดยที่มีการป้อนสิ่งปฏิกูลแบบเดิมครั้งเดียว จากการศึกษาพบว่าสิ่งปฏิกูลมีสัดส่วน COD:N:P เท่ากับ 100:2.3:0.6 ชีโอดีทั้งหมด และของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 21600 และ 16023 mg/l ตามลำดับ เชื้อ Fecal coliform bacteria เริ่มต้นเท่ากับ 16000000 MPN/100ml ที่ระยะเวลาการหมัก 20, 30 และ 40 วัน แบบไม่มีการกวนผสมมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีทั้งหมดร้อยละ 0.83, 2.22 และ 7.32 ตามลำดับ แต่ค่าชีโอดีที่ผ่านการกรอง และที่เคเอ็น ไม่ลดลง ค่า Fecal coliform bacteria ลดลงร้อยละ 98.56, 99.96 และ 99.99 MPN/100ml ตามลำดับ ปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 55.31 ของก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด สำหรับถังที่กวนผสมค่าของแข็งทั้งหมด, ชีโอดีทั้งหมด, ชีโอดีที่ผ่านการกรอง และ

ที่เคเอ็นไม่มีแวนโน้มลดลง ค่า Fecal coliform bacteria ลดลงร้อยละ 99.5 และ 99.81 ที่ระยะเวลาหมัก 20 และ 30 วันตามลำดับ และปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 57.79 ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด

Heinss and Kootatep (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้บ่อที่ปลูกต้นอ้อในการทำ Dewatering ของตะกอนจากบ่อเกรอะ ในเมืองแถบเขตร้อน เพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดตะกอนปฏิภูมิตั้งนี้ได้มีการสร้างบ่อจำลองเพื่อใช้ในการปลูกต้นอ้อขึ้นจำนวน 3 บ่อที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยทำการดำเนินการเป็นระยะเวลาประมาณ 9 เดือน คิดปริมาณปฏิภูมิตั้งนี้ 1650 ลูกบาศก์เมตร โดยมีของแข็งทั้งหมดเฉลี่ย 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ซีโอดีทั้งหมด 14000 mg/l และทีเคเอ็นจำนวน 1240 mg/l ทั้งนี้จะมีการปล่อยปฏิภูมิตั้งนี้เข้าสู่ระบบ 1 หรือ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งพบว่าระบบที่มีการปลูกพืชมีข้อดี ได้แก่ความง่ายในการดำเนินการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบ่อที่มีการปลูกพืชจะใช้เวลานานหลายปี กว่าจะต้องมีการนำตะกอนออกจากบ่อ และกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในบ่อที่ปลูกพืช จะเป็นการปรับปรุงความสามารถในการบำบัดน้ำออกของระบบ ส่วนข้อเสียของระบบคือต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ในการสร้างระบบทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้ระบบบึงประดิษฐ์ในบริเวณพื้นที่น้อยและการบำบัดแบบกระจาย (Decentralized System)

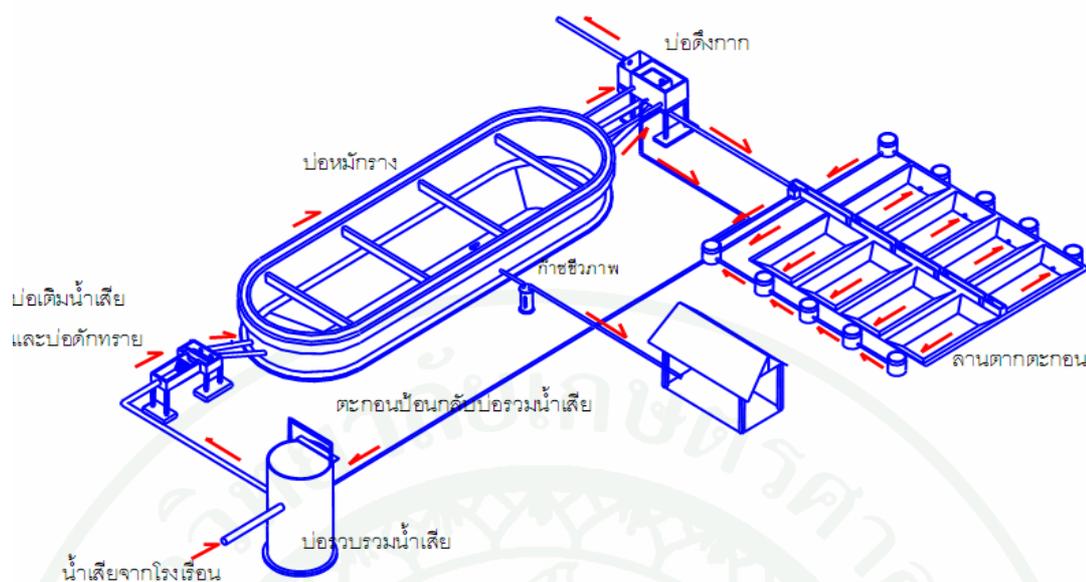
### ระบบบำบัดสิ่งปฏิภูมิตั้งนี้แบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์

#### 1. บ่อหมักรางไร้อากาศ (Anaerobic Channel digester or Plug Flow Anaerobic Digester)

บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า จะใช้สำหรับเป็นบ่อหมักที่ใช้แบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์อาศัยอยู่ และย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียที่ปล่อยลงไป จุลินทรีย์ดังกล่าว อาจจะมีหลายกลุ่มซึ่งย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วให้ก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในสัดส่วนประมาณร้อยละ 65 และ 35 ตามลำดับ และอาจจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่บ้างเล็กน้อย อัตราการปล่อยสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Organic loading rate) ลงสู่บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้านี้ ควรจะอยู่ในช่วงประมาณ 2-4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของบ่อหมักต่อวัน และระยะเวลาของการหมักโดยเฉลี่ยควรจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-40 วันจากการศึกษากระบวนการหมักของสิ่งปฏิภูมิตั้งนี้พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บกักที่ 20 องศาเซลเซียสจะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นร้อยละ 60-63 (Singh *et al.*, 1993) ส่วนที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 25 วันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นร้อยละ 73

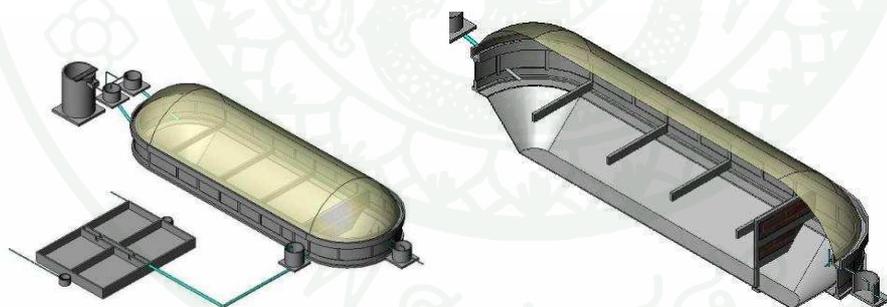
(Lokendra *et al.*, 1995) ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.4-0.7 ลูกบาศก์เมตรของบ่อหมักต่อวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยสารอินทรีย์ลงในบ่อหมัก และประสิทธิภาพในการหมัก บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าอาจจะมีหลายรูปแบบแต่ที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ บ่อหมักแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) และบ่อหมักแบบราง (Channel digester)

บ่อหมักแบบรางเป็นบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้ารูปแบบหนึ่งนิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยมีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือหัวท้ายอาจโค้งมน การออกแบบจะให้มีความยาวของบ่อมากกว่าความกว้างของบ่ออย่างน้อย 4-5 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้รูปร่างของบ่อมีความยาวมาก มีการบังคับการไหลของน้ำเสียให้เป็นแบบทิศทางเดียว (1 Dimensional Flow หรือ Plug Flow) เมื่อของเสียเข้าทางด้านหนึ่งของบ่อหมัก ของเสียส่วนที่เข้ามาจะค่อยๆ ทอยล้นออกสู่อีกด้านหนึ่งของบ่อหมักซึ่งจะใช้เวลาเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับปริมาตรของเสียที่เติมลงไป และปริมาณบรรจุของบ่อหมัก บ่อหมักรางจะทำหน้าที่เป็นบ่อหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รวมถึงทำหน้าที่ในการแยกของเสียส่วนขึ้นและส่วนใสออกจากกันอีกด้วย ของเสียส่วนขึ้นหรือตะกอนของแข็งจะถูกหมักย่อยในบ่อหมักรางประมาณ 40 วัน เพื่อเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นกรดอินทรีย์และเปลี่ยนเป็น ก๊าซชีวภาพ โดยแบคทีเรียแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จะทำให้น้ำเสียมีชีโอดีลดลงประมาณ 70-80% ความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นในบ่อหมัก จะทำให้เกิดการผสมของก๊าซภายในบ่อ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการผสมของของเหลวในส่วนล่างกับส่วนบนของบ่อ ซึ่งเป็นผลดีต่อการหมักภายในบ่อหมักรางจะมีการติดตั้งท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพด้านบนของบ่อหมักรางจะติดตั้งโคมพลาสติก PVC หรือ HDPE เพื่อทำหน้าที่เก็บกักก๊าซชีวภาพสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานงานเชื้อเพลิงได้ ต้องมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (Economic and Social Commission for Asia and Pacific, 1984) โดยโคมพลาสติกจะจมอยู่ในน้ำเพื่อกันก๊าซรั่ว และปริมาตรการเก็บก๊าซนี้จะสามารถขยายได้ตามความต้องการ ก๊าซที่เก็บได้พลาสติกดังกล่าวนี้ จะมีความดันค่อนข้างต่ำประมาณ 5-7 เซนติเมตรของน้ำ ความดันของก๊าซดังกล่าวสามารถใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ แต่ถ้าต้องการใช้ก๊าซกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เตารีดต้ม ตะเกียง หรืออุปกรณ์ที่ต้องการก๊าซที่มีแรงดันสูง จำเป็นจะต้องมีเครื่องสูบลำเพื่อเพิ่มแรงดันในการส่งก๊าซด้วย แต่อย่างไรก็ตาม บ่อหมักแบบรางมักเป็นที่นิยมใช้เป็นบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า สำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เนื่องจากค่าลงทุนต่ำ สร้างง่าย และใช้พื้นที่น้อยกว่าบ่อหมักแบบโดมคงที่



ภาพที่ 9 แสดงแผนผังระบบบำบัดแบบบ่อหมักกราก

ที่มา: สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน (2553)



ภาพที่ 10 แสดงภาพภายในบ่อหมักกราก

ที่มา: ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (2551)

เมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในบ่อหมักกรากจนอยู่ในสภาวะที่เสถียร (stabilized) จะผ่านเข้าสู่ลานกรองของแข็ง (Slow Sand Bed Filter : SSBF) โดยที่ลานกรองนี้ จะต่อเชื่อมกับบ่อหมักแบบราง และรับกากของเสียส่วนชั้นที่ผ่านการหมักย่อยแล้ว จากบ่อหมักแบบราง กากของเสีย

ที่ได้จากลานกรองของแข็งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งเป็นที่ต้องการของพื้นที่เพาะปลูกมาก รวมทั้งใช้ในการปลูกหญ้าในกิจการสนามกอล์ฟด้วย

ปัจจุบันได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบหม้อหมักรางไร้อากาศในหลายประเทศ เช่น ในประเทศไทยสถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพระบบบำบัดมูลสุกรโดยใช้หม้อหมักรางไร้อากาศโดยออกแบบให้มีระยะเวลาเก็บกัก 4 – 6 วัน เพื่อลดขนาดของพื้นที่ในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ร้อยละ 70 – 80 แต่น้ำเสียยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีการพัฒนาระบบบำบัดโดยใช้หม้อหมักแบบรางตามด้วยหม้อหมักเร็วน้ำใสและมีการบำบัดขั้นหลังด้วยบ่อกักตบขุ่นและบึงประดิษฐ์ พบว่า ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ดีโดยน้ำเสียที่ออกจากระบบผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ในประเทศอินเดียได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบบำบัดแบบหม้อหมักรางไร้อากาศกับระบบบำบัดเดิม พบว่ามีก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 % และต้นทุนต่ำลง 10 % (Ajan, 1998) Kanwer *et al.*(1994) ได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของหม้อหมักรางแบบไร้อากาศ พบว่าระยะเวลาเก็บกักที่มากขึ้นจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้น โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 55 วันมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากกว่า 50 วัน โดยมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นร้อยละ 70.5 – 89.4 ในสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบบำบัดมูลสุกรและโรงนม พบว่า ระบบบำบัดของมูลสุกรมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ร้อยละ 86 และมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 62.6 % ระบบบำบัดของโรงนมมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ได้ร้อยละ 92 และมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 76.4 % (Stephanie *et al.*, 2008) และเมื่อมีการทดสอบ โดยการเพิ่มไขมันจากเศษอาหารเข้าไปในระบบบำบัดของมูลสุกรพบว่า เมื่อเติมไขมันเข้าไปร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 66.9 % แต่เมื่อเพิ่มไขมันเข้าไปมากกว่าร้อยละ 2.5 จะทำให้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลง (Stephanie *et al.*, 2010)

## 2. บ่อฝัง

ระบบบ่อฝัง (Oxidation Ponds) หรือที่เรียกว่าบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) ใช้เป็นบ่อกักน้ำทิ้งที่มีความลึกของบ่อไม่มากนัก ที่เรียกว่าปรับเสถียรเพราะสารอินทรีย์จะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในน้ำโดยการออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไปอีกทำให้ไม่เกิดความเน่าเหม็น ในการออกแบบระบบบ่อฝังแคว้นบำบัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐาน โดยทั่วไปจะเป็นระบบบ่อคือมีหลายบ่อต่อเนื่องกัน ต้องมีระยะเวลาเก็บกักรวมกันไม่ต่ำกว่า 90 วัน รูปร่างและความลึกของบ่อขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการบำบัดน้ำทิ้งระบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในชุมชน

ขนาดเล็ก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการต่ำ ต้องการพลังงานน้อยเนื่องจากไม่มีการเติมอากาศหรือเติมเป็นครั้งคราวและไม่ต้องการควบคุมดูแลอย่างพิถีพิถัน

#### (1) บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Ponds)

บ่อแฟคัลเททีฟ หรือบ่อแเอโรบิก-แอนแเอโรบิก หรือกึ่งแเอโรบิก เป็นบ่อที่นิยมมากที่สุด มีชื่อเรียกเช่นนี้เนื่องจากส่วนบนสุดของบ่อจะอยู่ในสภาพแเอโรบิก จากการเติมอากาศที่ผิวน้ำและจากปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแเอโรบิก โดยสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนแล้วจะถูกย่อยสลายแบบแอนแเอโรบิกโดยจุลินทรีย์ บ่อแฟคัลเททีฟมีความลึกประมาณ 1.2 – 2.4 เมตร สภาพแวดล้อมของบ่อเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องมีการคำนึงถึง โดยบริเวณใกล้เคียงบ่อควรเป็นที่โล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวางอย่างน้อยในระยะ 100 เมตร (Mara, 1978) กระแสลมจะมีความสำคัญต่อการควบคุมบ่อแฟคัลเททีฟ โดยการกวนจะทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำในบ่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน และช่วยลดการเกิดการแบ่งชั้นตามอุณหภูมิทำให้บ่อเกิดสภาพแอนแเอโรบิกและทำให้การทำงานของบ่อแฟคัลเททีฟล้มเหลวได้ (Pescod, 1992) ด้านอุณหภูมิไม่ควรต่ำกว่า 14.4 องศาเซลเซียส (Bartsch and Randall, 1971) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาคือ 25 – 35 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ได้สูงที่สุด (Suwannakarn and Gloyna, 1964) น้ำทิ้งจะถูกกักเก็บเป็นระยะเวลาหลายวันเพื่อให้คงตัว และไม่เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ โดยสาหร่ายและแบคทีเรีย จากการศึกษาของ Kazimi (1972) ทำการศึกษาประสิทธิภาพบ่อบำบัดแบบแฟคัลเททีฟในประเทศไทยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ร้อยละ 89.5

#### (2) กลไกการทำงานของบ่อฝิ่ง

ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อฝิ่งและลักษณะการทำงานของระบบ เมื่อน้ำเสียไหลเข้ามาในบ่อจะมีการตกตะกอนที่เกิดขึ้นทำให้มีสลัดจ์ที่ก้นบ่อ ในขณะที่เดียวกันนั้นส่วนที่ไม่ตกตะกอนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โดยปกติสลัดจ์ที่ก้นบ่อจะมีการย่อยสลายด้วยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียในการขยายพันธุ์และสร้างออกซิเจนให้กับน้ำ แบคทีเรียจะต้องใช้ออกซิเจนที่สาหร่ายผลิตขึ้นในการหายใจและการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำเสีย ดังนั้นแบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวในบ่อคงตัวจึงมีชีวิตร่วมกันและพึ่งพาอาศัยกัน ผลที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของ

สารละลายอินทรีย์ที่ไม่คงตัวให้เป็นสารคงตัว (คาร์บอนไดออกไซด์) เซลล์สาหร่ายสีเขียว และแบคทีเรีย

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อฝิ่งและบ่อฝักนึ่ง พบว่าบ่อฝักนึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่าบ่อฝิ่งอย่างชัดเจน (Seni and Jaas, 1995) จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของบ่อฝิ่ง โดยการปลูกพืชลอยน้ำเช่น ผักตบชวา (Orth and Sapkoa, 1988) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัด

### 3. บึงประดิษฐ์

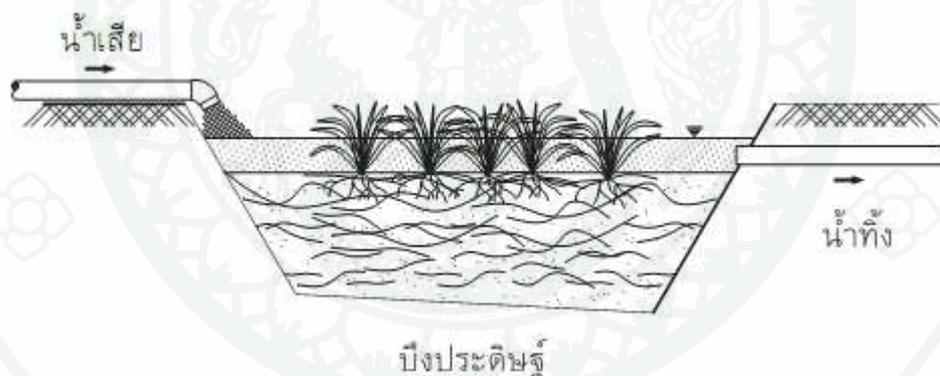
บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) หมายถึง พื้นที่ซึ่งมีน้ำท่วมถึงหรือชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในระยะเวลาานพอที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสถานะการอิ่มตัวด้วยน้ำไว้ได้ ซึ่งความลึกของน้ำในบึงจะมีระดับแตกต่างกันไป และน้ำจะไหลผ่านเข้าไปในพืชที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นอย่างซ้ำๆ พืชที่มักพบในบึงส่วนใหญ่ ได้แก่ ธูปฤาษี กกหรือแฝก

บึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลียนแบบ บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยการปลูกพืชชนิดต่างๆ เช่น ธูปฤาษี กก แฝก หรือต้นอ้อบนพื้นที่เป็นทราย กรวด หินหรือดิน ซึ่งใช้เป็นตัวกรอง ในบางครั้งบึงประดิษฐ์อาจถูกออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นร่องหรือช่องแคบ ๆ และยาว การสร้างบึงประดิษฐ์ จะช่วยลดกลิ่นเหม็นคั่งค้างและปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากการใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสียได้ บึงประดิษฐ์จะมีความแตกต่างกับพื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ตรงที่บึงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะมีข้อจำกัดว่าแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะต้องตั้งอยู่ใกล้กับบึง แต่สำหรับบึงประดิษฐ์นั้นสามารถสร้างได้ในเกือบทุกพื้นที่ แม้แต่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ที่ดิน โดยทั่วไปแล้วบึงประดิษฐ์จะมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าพื้นที่ชุ่มน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน เพราะจะมีการปรับระดับดินที่พื้นบ่อและมีการควบคุมระบบการไหลของน้ำภายในบ่อ และสามารถปรับเปลี่ยนหรือตัดแปลงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ภายในบ่อได้ตามความต้องการ โดยอาศัยหลักการจัดการเกี่ยวกับพืชและองค์ประกอบอื่น ๆ ของระบบ (Reed et all, 1988)

### 3.1 ชนิดของบึงประดิษฐ์ แบ่งระบบบึงประดิษฐ์ออกเป็น 3 ประเภทคือ

- (1) บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface, FWS)

ระบบนี้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแอ่งหรือร่องน้ำที่มีการเคลือบหรือฉาบวัสดุกันน้ำที่ทำจากดินเหนียวหรือจากวัสดุทางด้านธรณีวิทยาอื่นๆ ทั้งที่สร้างขึ้นหรือมีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นบ่อ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ และประกอบไปด้วยดินและวัสดุตัวกรองต่างๆ ที่จะช่วยให้รากพืชสามารถยึดเกาะอยู่ได้ โดยน้ำที่ความลึกระดับหนึ่งจะไหลอยู่เหนือผิวดินหรือชั้นกรองดังรูปที่ 5 ถ้าการกระจายน้ำเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบึงประดิษฐ์ที่มีพื้นที่แคบ ยาว และมีระดับความลึกของน้ำในบ่อไม่มากนัก ประกอบกับน้ำมีการไหลอย่างช้าๆ ผ่านกิ่งก้านของพืชที่แผ่กระจายอยู่ทั่วไปในระบบ จะทำให้เกิดการไหลของน้ำแบบไหลตามกัน (plug-flow) ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาการไหลลัดวงจรของระบบลดลงได้

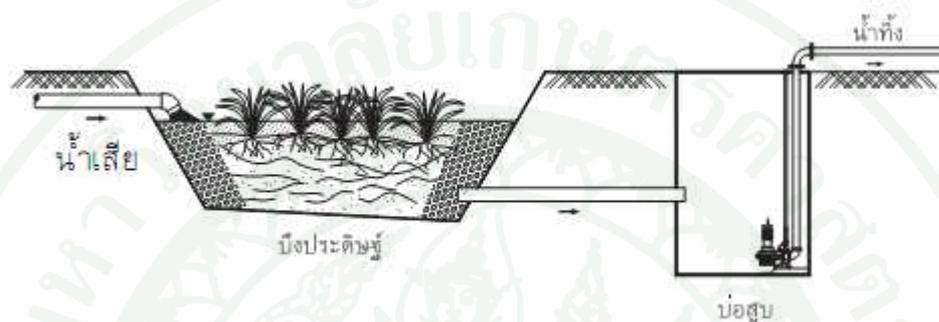


ภาพที่ 11 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลผ่านบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระ (Free Water Surface)

- (2) บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow, SF) หรือระบบที่ปลูกพืชในชั้นกรอง (Vegetated Submerged Bed, VSB)

ระบบนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยร่องยาวหรือพื้นดิน ที่เคลือบหรือฉาบด้วยวัสดุกันน้ำไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดังรูปที่ 11 ตัวกรองที่ใช้อาจเป็นหินหรือหินบด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 15 เซนติเมตร) กรวดและดินชนิดต่างๆ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน

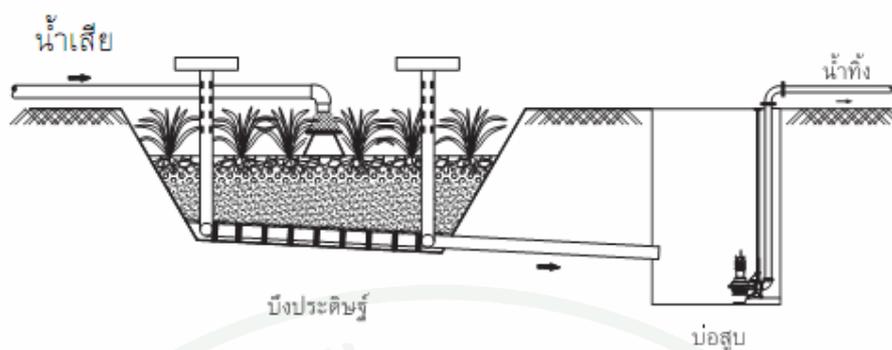
(Reed *et al*, 1988) การที่น้ำเสียไหลผ่านด้านข้างของตัวกรองจะทำให้น้ำเสียถูกบำบัดในระหว่างสัมผัสกับผิวหน้าของตัวกรองและส่วนรากของพืช บริเวณใต้ชั้นกรองจะอึดด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะแอนแอโรบิกขึ้น อย่างไรก็ตามพืชยังสามารถดึงออกซิเจนเข้าไปยังส่วนราก ซึ่งทำจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจน (aerobic microsites) สามารถเจริญเติบโตในส่วนรากและไรโซมของพืชได้



ภาพที่ 12 บึงประติษฐ์ที่น้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow, SF)

### (3) บึงประติษฐ์ที่น้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวตั้ง (Vertical Flow, VF)

บึงประติษฐ์ประเภทนี้จะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกันกับบึงประติษฐ์ประเภทที่ 1 และ 2 คือ ประกอบไปด้วยตัวกรองเพื่อช่วยให้สามารถยึดเกาะและพืชเจริญเติบโตได้ ตัวกรองที่ใช้ อาจเป็นหิน กรวดและทรายชนิดต่างๆ อย่างไม่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นกรองในแนวตั้ง โดยมีระบบการระบายน้ำอยู่ใต้ชั้นกรอง (underdrain system) และบึงประติษฐ์ประเภทนี้ยังมีระบบระบายอากาศ (ventilation system) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีสภาวะไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นในส่วนรากของพืช พื้นที่ว่างเหนือจากบริเวณผิวหน้าชั้นกรองขึ้นไปจะใช้เป็นที่สะสมกตะกอนของเสียที่ถูกกรองน้ำออกแล้วดังรูปที่ 13



ภาพที่ 13 บึงประดิษฐ์ที่น้ำไหลผ่านชั้นกรองในแนวดิ่ง (Vertical Flow)

### 3.2 ชนิดและหน้าที่ของพืชในบึงประดิษฐ์

ประโยชน์หลักที่ได้จากพืชในบึงประดิษฐ์ คือการลำเลียงออกซิเจน ระบบรากพืชในบึงประดิษฐ์จะแทงเข้าไปในดินหรือชั้นกรอง และสามารถลำเลียงออกซิเจนได้ดีกว่าการลำเลียงออกซิเจนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งใช้หลักการแพร่ (diffusion) เพียงอย่างเดียว

ในบางครั้งสิ่งสำคัญในการทำงานของบึงประดิษฐ์แบบ FWS คือสัดส่วนที่จมอยู่ใต้น้ำของพืช การกระจายกิ่งก้านของพืชที่สมำเสมอจะทำหน้าที่เสมือนส่วนที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโตซึ่งผลของการยึดเกาะของจุลินทรีย์เหล่านี้ถือว่าเป็นกลไกสำคัญที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับบึงประดิษฐ์ที่มีการควบคุมการไหลของน้ำในแนวดิ่งจะพบว่าการที่พืชมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและแผ่กระจายรากและไรโซมไปทั่วชั้นของเสี้ยวและชั้นกรอง จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นและช่วยป้องกันการอุดตันของชั้นกรองได้

พืชส่วนใหญ่ที่มักปลูกในบึงประดิษฐ์ ได้แก่ พืชจำพวกธูปฤาษี อ้อ กก ผักและหญ้าทรงกระเทียม พืชเหล่านี้สามารถดึงออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศได้ประมาณ 5 – 45 ก.ออกซิเจน/วัน.- ตร.ม. ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพืชในระบบและปริมาณออกซิเจนในดินหรือชั้นกรอง (Reed *et al.*, 1988)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระพบว่า กกสามเหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ร้อยละ 68 (Jinadasa *et al.*, 2006) ธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ร้อยละ 53.8 (Jinadasa *et*

al., 2008) กกลีปต์มีความสามารถในการบำบัด COD ได้ร้อยละ 63 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 – 12 วัน (Okurut *et al.*, 1999) และจากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วย Septic Tank และบ่อปรับเสถียรแล้วพบว่าบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระที่มีการปลูกธูปฤาษี มีประสิทธิภาพในการ BOD และ TSS ร้อยละ 49.2 และ 37.3 ตามลำดับ (Juan, 2007)

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบข้อดี- ข้อเสียของบึงประดิษฐ์ชนิดต่างๆ

ชนิดของบึงประดิษฐ์	ข้อดี	ข้อเสีย
Free Water Surface, FWS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าก่อสร้างน้อยกว่าแบบ SF และ VF</li> <li>- ดูแลรักษาง่าย</li> <li>- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย</li> <li>- ไม่มีตะกอนที่ต้องบำบัดขั้นต่อไป</li> <li>- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ ได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้พื้นที่มาก</li> <li>- ใช้ระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นเมื่อน้ำเสียที่เข้ามามีความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง</li> <li>- มีข้อจำกัดในการกำจัดฟิซิลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย</li> </ul>
Subsurface Flow, SF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดูแลรักษาง่าย</li> <li>- ใช้พลังงานในการเดินระบบน้อย</li> <li>- ไม่มีตะกอนที่ต้องบำบัดขั้นต่อไป</li> <li>- สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากกว่าแบบ FWS และ VF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงและยุง</li> <li>- ค่าก่อสร้างสูงกว่าแบบ FWS</li> <li>- ถ้าน้ำเสียมีไนโตรเจนสูงต้องเพิ่มระยะเวลาเก็บกักทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบเพิ่มขึ้น</li> </ul>
Vertical Flow, VF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ดูแลรักษาง่าย</li> <li>- มีเสถียรภาพ</li> <li>- เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ ได้</li> <li>- มีประสิทธิภาพในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้ดีกว่าลานตากตะกอนทั่วไป</li> <li>- มีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวได้ดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีปัญหาการเหี่ยวและร่วงโรยของพืชในระยะเริ่มต้นของการเดินระบบในกรณีที่ใช้ในการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่มีความเข้มข้นสูง</li> </ul>

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2550)

#### 4. พืชน้ำที่ใช้ในการศึกษา (กรมประมง, 2538)

##### 4.1 ฐปถำยั หรือกขำง (*Typha angustifolia* Lin.)

วงศ์ Typhaceae เป็นพืชที่มีอายุหลายฤดู มีการแพร่กระจายเกือบทั่วโลก หรือริมบ่อสระ หรือแหล่งน้ำทั่วไป เป็นพืชทนทาน แข็งแรงมาก

ลำต้นตั้งตรงเป็นกอ มีลำต้นใต้ดินหรือรากเหง้า (rhizome) สามารถแตกกอใหม่จากลำต้นใต้ดิน ต้นมีความสูงประมาณ 1 – 2 เมตร ใบเดี่ยว แบบเรียบเรียวยแหลม โคนใบเป็นกาบหุ้มไว้ประกบด้วยกัน กาบใบด้านในมีเมือกสีเขียว ขอบใบหนา โคนใบอวบน้ำกว่าปลายใบ ดอกออกเป็นช่อชนิดสไปก์ (Spike) ช่อดอกกลมลักษณะคล้ายรูปมีสีน้ำตาลเข้มเมื่อแก่มักจะหลุดร่วงไปเหลือแต่ก้าน ส่วนดอกตัวเมียกลายเป็นผลอัดกันตอนล่าง สีน้ำตาลนุ่น ผลมีขนาดเล็กรูปร่างกลมเรียวยาว มีเมล็ดเดี่ยวที่ปลายมีขนสีขาวเป็นกระจุกติดกันอยู่ ผลแก่มีสีน้ำตาล สามารถปลิวไปได้ไกลๆ เพราะมีขนจำนวนมาก ขยายพันธุ์โดยใช้เหง้าและเมล็ด

การขยายพันธุ์ : โดยใช้เหง้า และเมล็ด

สภาวะที่เหมาะสม : แสงแดดเต็มวัน ต้องการน้ำมาก



ภาพที่ 14 ฐปถำยั

#### 4.2 กกอีิปต์ (*Cyperus papyrus* L.)

เป็นพืชไม้ประดับที่ใช้ในการจัดตกแต่งสวนน้ำ, บ้าน, Landmark ฯลฯ ในสมัยโบราณ ชาวอียิปต์นำลำต้นเหนือดินมาทำเป็นกระดาษ เป็นกทที่มีอายุหลายปี ถูกนำเข้ามาในเมืองไทย ประมาณ 20 – 30 ปีที่แล้ว ลักษณะพิเศษคือปลอดจากโรคแมลงแทบทุกชนิด

ลำต้น ลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าใหญ่แข็ง มีความทนทานต่อสภาวะแห้งแล้ง ลำต้นเหนือดินแตกเป็นกอประกอบด้วยลำต้นที่สร้างดอก ลักษณะต้นเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมมนภายในต้น สูงประมาณ 2.5 เมตร

ใบและดอก ใบลดรูปลงเหลือเพียงกาบ ใบสีน้ำตาลหุ้มลำต้นส่วนโคนเท่านั้น ช่อดอกเป็นช่อดอกรวมแบบคั่นร่วม มีใบประดับรองรับช่อดอก 4 – 10 ใบ ยาว 7 – 15 ซม. ช่อดอกประกอบด้วยแขนงย่อย ประมาณ 100 แขนงมีใบประดับย่อย 3 – 5 ยาวประมาณ 20 ซม. ลักษณะเป็นเส้นสีเขียวรองรับช่อดอกไว้อีกทีหนึ่ง ที่ปลายแขนงมีช่อดอกเรียงกันเป็นระเบียบ มีช่อดอกย่อยประมาณ 20 – 30 ช่อ แต่ละช่อมีดอกย่อย 3 – 20 ดอก มีสีน้ำตาล ช่อดอกย่อยยาวประมาณ 1 ซม. กว้าง 1 มิลลิเมตร รูปทรงกระบอก ดอกย่อยขนาดเล็กยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร เกสรตัวผู้สามอัน ยอดเกสรเพศเมียแยกเป็น 2 แฉกผลเดี่ยวแบบผลแห้งแก่แล้วไม่แตกรูปสามเหลี่ยมแข็งสีน้ำตาล ขึ้นได้ในน้ำลึกประมาณ 1 เมตร

การขยายพันธุ์ : เพาะเมล็ด ปักชำจากเหง้า

สภาวะที่เหมาะสม : ชอบแสงแดดเต็มวัน, ความต้องการน้ำมาก



ภาพที่ 15 กกอีิปต์

#### 4.3 ผักคตบชวา (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)

ลักษณะทั่วไป เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู มีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหลซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน เป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำตรงกลางพอง ออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอกย่อย 3 – 25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น ๆ และมีจุดเหลืองที่กลางกลีบ

ประโยชน์ ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่น หมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก ก้านและใบอ่อนนำมารับประทานได้



ภาพที่ 16 ผักคตบชวา

#### 4.4 ผักแพงพาย (*Jussiaea repens* Linn)

ลักษณะทั่วไป เป็นพืชลอยน้ำหรือเลื้อยบนพื้นดินริมน้ำ ลำต้นอวบน้ำกลมผิวมัน ตามข้อของลำต้นที่ลอยน้ำมีรากออกเป็นกลุ่ม ๆ และมีนมสีขาวคล้ายฟองน้ำช่วยพยุงให้ลอยตัวได้ดี ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่ปลายมนออกสลับกัน ผิวใบด้านบนเป็นมัน ก้านใบยาว ดอกเป็นดอกเดี่ยว กลีบดอกมี 5 กลีบ มีสีขาวและมีสีเหลืองอ่อนที่โคนกลีบ เกสรตัวผู้มี 10 อัน ก้านเกสรตัวผู้มีสีเหลือง ติดอยู่บนกลีบดอก ผลมีรูปร่างเป็นหลอดยาวคล้ายเทียนนา มีเมล็ดมาก

ประโยชน์ ยอดอ่อนใช้รับประทานเป็นผัก



ภาพที่ 17 แพงพวย

4.5 กะเจด (*Neptunia oleracea* Lour. FL.)

ลักษณะทั่วไป เป็นพืชล้มลุกอายุหลายฤดู ต้นลอยน้ำหรือเลื้อยแผ่ไถ่ซ้ายฝั่ง ลำต้นเป็นปล้องต้นแก่จะมีนวมหนาสีขาวที่เรียกว่านวม หุ้มปล้องเป็นช่วง ๆ เว้นส่วนที่เป็นข้อ ช่วยพยุงตัวให้ลอยน้ำได้ดี ใบเป็นใบประกอบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็กไวต่อสิ่งเร้า เมื่อสัมผัสถูกใบจะหุบดอกมีสีเหลืองออกเป็นช่อรวมเป็นรูปกระจุกกลมตามซอกใบ ช่อละ 30 – 50 ดอก มีก้านช่อดอกยาว ผลเป็นฝักแบนมีเมล็ด 4 -20 เมล็ด

ประโยชน์ เป็นพืชเศรษฐกิจนิยมนำมารับประทานเป็นอาหาร และมีสรรพคุณทางสมุนไพรรักษาโรค



ภาพที่ 18 กะเจด

## อุปกรณ์และวิธีการ

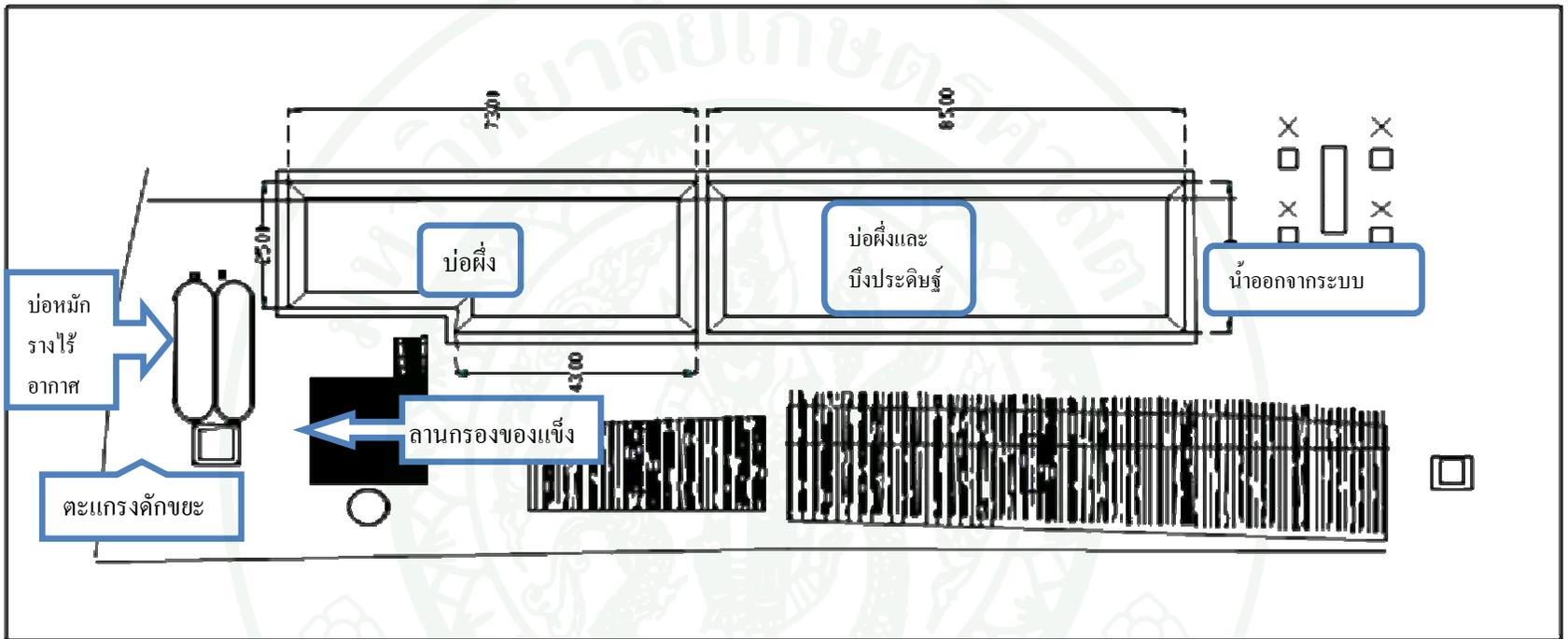
### อุปกรณ์

#### 1. ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์

ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยตะแกรงคัดขยะ, บ่อหมักรางไร้อากาศ 2 บ่อ, บ่อผึ่ง 2 บ่อและบึงประดิษฐ์ และลานตากตะกอน โดยมีขนาดและพื้นที่ดังตารางที่ 3 สิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบจะถูกคัดขยะและกรวดทรายออกด้วยตะแกรง ก่อนไหลเข้าสู่บ่อหมักรางไร้อากาศ, บ่อผึ่ง, บึงประดิษฐ์ก่อนปล่อยออกสู่ธรรมชาติ โดยตะกอนจากบ่อหมักรางจะเข้าสู่ลานตากเพื่อตากให้แห้งดังภาพที่ 19

#### ตารางที่ 9 ลักษณะระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์

ระบบบำบัด	ลักษณะ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความลึก (ม.)	ปริมาตรความจุ (ลบ.ม.)
1. บ่อหมักรางไร้อากาศ ที่ 1	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	196.0	3.50	686.0
2. บ่อหมักรางไร้อากาศ ที่ 2	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	196.0	3.50	686.0
3. บ่อพักตบชาวที่ 1	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	2,040.0	1.70	3,468.0
4. บ่อพักตบชาวที่ 2	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	1,995.8	1.70	3,392.9
5. บึงประดิษฐ์	คล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า	894.2	0.30	268.3
รวม				8,501.2



ภาพที่ 19 แสดงแผนผังระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล

## 1.1 ตะแกรงคัดขยะ

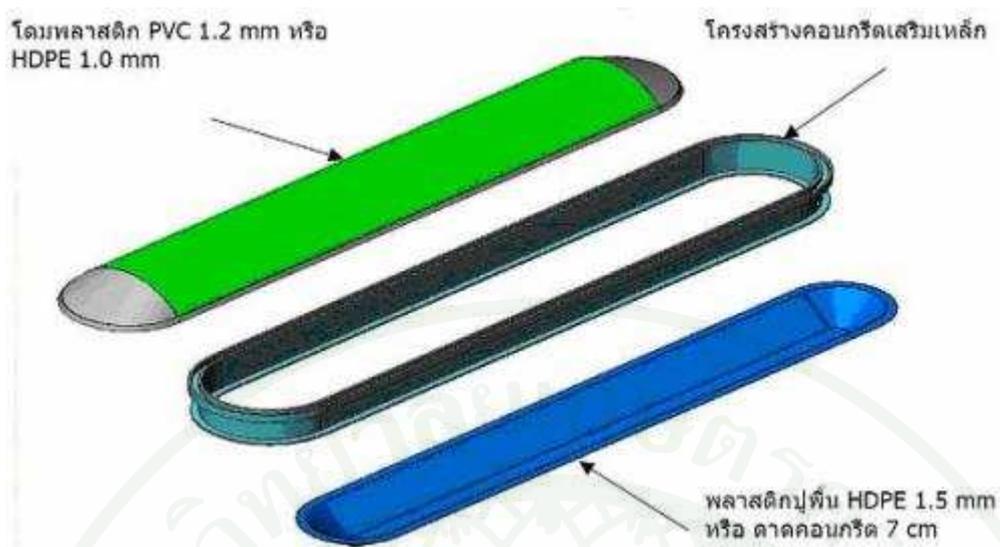
ตะแกรงคัดขยะมีหน้าที่คัดกรองสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ที่ติดมากับสิ่งปฏิกูล เช่น กรวด หิน เศษหญ้าต่าง ๆ ก่อนที่สิ่งปฏิกูลจะไหลเข้าสู่บ่อหมักรางไร้อากาศ



ภาพที่ 20 ตะแกรงคัดขยะ

## 1.2 บ่อหมักรางไร้อากาศ

บ่อหมักรางสร้างจากคอนกรีตเสริมเหล็กสร้างอยู่ใต้ดินแต่ละบ่อมีขนาดกว้าง 7 เมตร ยาว 28 เมตรและมีความลึก 3.5 เมตร ซึ่งส่วนประกอบสำคัญประกอบด้วยโคมพลาสติกทำหน้าที่เป็นตัวเก็บกักก๊าซ มีลักษณะเป็นพลาสติก HDPE หนา 1.0 มม. โดยจะทำการคลุมทั้งบ่อ ชายแผ่นพลาสติกจะจมอยู่ในน้ำเพื่อกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพหลุดออกจากบ่อ ความลึกที่จุ่มปลายพลาสติกจะขึ้นอยู่กับความดันในบ่อหมักรางที่ต้องการ (ภาพที่ 21) ซึ่งปกติจะควบคุมไว้ที่ประมาณ 2 ซม.-น้ำ ส่วนบริเวณก้นบ่อหมักรางจะต้องทำการปูด้วยพลาสติกเพื่อกันการซึมของน้ำเสีย ลงไปสู่ดิน ซึ่งอาจใช้พลาสติก HDPE หนา 1.0-1.5 มม. ปูพื้นหรืออาจใช้การคาดคอนกรีตหนา 7 ซม. ก็ได้ สำหรับผนังด้านข้างและก้นบ่อจะต้องมีความลาดชัน เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนแบคทีเรีย โดยก้นบ่อหมักรางต้องมีความลาดชันประมาณ 1% ส่วนความชันของผนังบ่อจะขึ้นอยู่กับความปลอดภัยของโครงสร้าง



ภาพที่ 21 ส่วนประกอบของบ่อหมักราง

ที่มา: ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (2551)



ภาพที่ 22 บ่อหมักรางไร้อากาศ

ในการเดินระบบบ่อหมักรางจะต้องมีการดึงกากที่ผ่านการย่อยสลายสมบูรณ์ เพื่อป้องกันการสะสมของตะกอนในระบบมากเกินไป จึงทำให้ระบบบ่อหมักรางไม่จำเป็นต้องขุดลอก เหมือนกับระบบ Anaerobic Covered Lagoon โดยตะกอนที่สูบออกมาจะถูกนำไปตากให้แห้งในลานตากตะกอนเพื่อใช้เป็นปุ๋ยต่อไป

### 1.3 ลานกรองของแฉะที่เชื่อมต่อกับบ่อหมักราง (Slow Sand Bed Filter : SSBF)

ลานกรองของแฉะ (ภาพที่ 23) เป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล เนื่องจากส่วนที่ผ่านการหมักจากบ่อหมักราง ยังมีของแฉะตกค้างอยู่ในของเหลวที่ออกจากบ่อหมักมากพอสมควร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวแยกระหว่างส่วนที่เป็นของแฉะที่ปนอยู่ในของเหลวดังกล่าวกับส่วนที่เป็นน้ำ ลานกรองของแฉะเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถแยกของแฉะออกจากน้ำได้ โดยพบว่าสามารถแยกค่าซีโอดี(Cheical Oxygen Demand,COD) ออกจากน้ำได้ถึงร้อยละ 95-99 และลานกรองของแฉะจะยังสามารถใช้เป็นสถานที่ตาก เพื่อทำให้ความชื้นของของแฉะที่ค้างอยู่บนลานกรองของแฉะนั้นแห้งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 60



ภาพที่ 23 ลานกรองของแฉะ

### 1.4 บ่อฝัง

บ่อฝังในระบบบำบัดมีจำนวน 2 บ่อ โดยรับน้ำเสียที่ออกมาจากบ่อหมักรางไว้รออากาศ โดยบ่อแรกมีขนาด กว้าง 24 เมตร ยาว 85 เมตรและมีความลึก 1.7 เมตร



ภาพที่ 24 บ่อฝัง

### 1.5 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Free Water surface system)

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดินมีสองบ่อวางเรียงขนานกัน ระดับน้ำลึกประมาณ 30 ซม. โดยปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบโดยปล่อยให้ไหลช้าๆ ผ่านลำต้นพืชและรากพืชต่างๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหลักที่ทำการกำจัดน้ำเสียของระบบนี้ การเติมอากาศในระบบมาจากพืช ลมพัด และการสังเคราะห์แสง



ภาพที่ 25 บึงประดิษฐ์

## วิธีการ

### 1. สถานที่ทำการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ คือบริษัททองถวิลบริการ ตั้งอยู่ที่ 44 ถ.หัวน้ำตก ต.เนินพระ อ.เมือง จ.ระยอง ซึ่งรวบรวมน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะในเขตจังหวัดระยอง ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอนิคมพัฒนา อำเภอปลวกแดง

### 2. จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

สิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะตามบ้านเรือนจะถูกรวบรวมโดยการสูบเข้าสู่รถขนถ่ายสิ่งปฏิกูลที่มีความจุ 6,000 ลิตรต่อคัน แล้วนำเข้าสู่ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 8 จุดเก็บตัวอย่างได้แก่ สิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบ, น้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 1 น้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 2 น้ำเสียที่เข้าสู่บ่อฝิ่งบ่อที่ 1 น้ำที่เข้าสู่บ่อฝิ่งบ่อที่ 2 น้ำที่เข้าสู่บึงประดิษฐ์น้ำที่ออกจากบึงประดิษฐ์ และน้ำที่ปล่อยเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ภาพที่ 19)

### 3. การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 12 เดือน ตั้งแต่เดือน เมษายน 2551 ถึงเดือนมีนาคม 2552 ที่ระดับความลึก 0.3 เมตรจากผิวน้ำ จำนวนจุดละ 2 จุด แล้วบรรจุให้เต็มขวดปิดฝาให้สนิทและปิดฉลากให้เรียบร้อย แล้วเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียไว้ในที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ พีเอช ความเค็ม (Salinity) การนำไฟฟ้า (Conductivity) บีโอดี ซีโอดีรวม (TCOD) ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ตาม Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (1992) ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังตารางที่ 10

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยกำหนดช่วงฤดูฝนคือช่วงเดือน เมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.2 – 29.2 องศาเซลเซียส

ปริมาณน้ำฝนรวม 1370 มม. เฉลี่ย 196 มม./เดือน ช่วงฤดูแล้งคือช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 – มีนาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.0-28.4 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวม 128 มม. เฉลี่ย 26 มม./เดือน (ภาคผนวก ก)

#### 4. ก๊าซชีวภาพ

##### 4.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศ

เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศจำนวน 2 บ่อเดือนละ 1 ครั้ง เพื่อองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยจะเก็บก๊าซชีวภาพจากท่อที่ต่อมาจากบ่อหมักรางไร้อากาศซึ่งมีวาล์วสำหรับปิด – เปิด เปิดวาล์วทิ้งไว้ 5 วินาที แล้วนำถุงพลาสติกไปครอบปลายท่อไว้มัดด้วยหนังยางให้แน่น คูดก๊าซชีวภาพโดยการใส่เข็มฉีดยาซึ่งมีลักษณะคล้ายกระบอกสูบเจาะเข้าไปในถุงพลาสติก ก๊าซชีวภาพจะเข้ามาในหลอดสูญญากาศโดยอาศัยแรงดูด นำก๊าซชีวภาพฉีดเข้าไปเก็บไว้ในหลอดสูญญากาศ ก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

##### 4.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของสิ่งปฏิกูล

โดยนำสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดของบริษัท ทองถวิลบริการ ซึ่งมีปริมาณสิ่งปฏิกูล 500, 1000 และ 1500 มิลลิลิตรมาใส่ในขวดเก็บตัวอย่างที่มีฝาปิดและมีช่องระบายอากาศ 2 ช่อง ขนาด 2320 มิลลิลิตร จากนั้นทำการพ่นก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในขวดเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ก๊าซออกซิเจนภายในขวดออก ปิดช่องระบายอากาศ ปิดฝาให้แน่น นำไปบ่ม (incubate) ที่อุณหภูมิห้อง คูดก๊าซชีวภาพโดยการใส่เข็มฉีดยาซึ่งมีลักษณะคล้ายกระบอกสูบเจาะเข้าไปบนจุกยางของขวดเก็บตัวอย่าง ก๊าซชีวภาพจะเข้ามาในหลอดสูญญากาศโดยอาศัยแรงดูด จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผล โดยดูการผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับเวลาทุกวันเป็นเวลา 14 วัน และคำนวณอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากสูตร

$$PV = nRT \quad (1)$$

เมื่อ  $P$  = Partial pressure หรือ % ของก๊าซ

$R$  = 82.06 atm.ml/g.mole.K

$T$  = อุณหภูมิขณะทำการทดลองในหน่วยของศาเคลวิน

$V$  = ปริมาตรอากาศภายในขวดทดลอง

$n$  = โมลของก๊าซ

## 5. การทดสอบสภาพความคงทนของพืชต่อสภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูง

เนื่องจากพบว่าบ่อฝังในระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลพีชน้ำไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการที่น้ำเสียนี้อาจมีความสกปรกและค่าความเค็มสูง จึงทำการศึกษาสภาพความคงทนของพืชต่อสภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มต่างๆ กัน

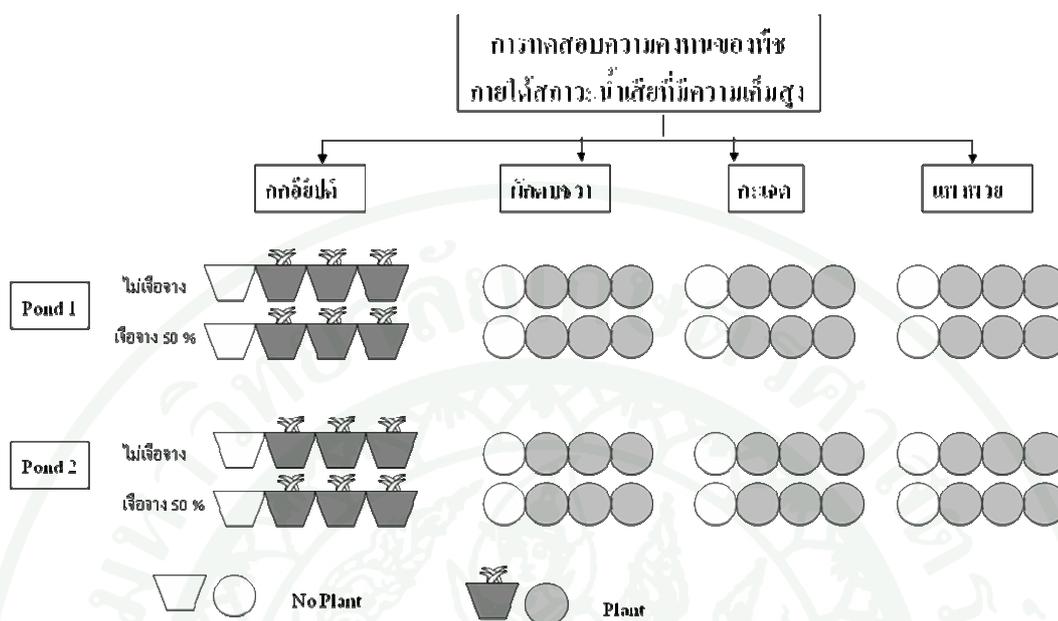
ศึกษาสภาพความคงทนของพืชต่อสภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูงจากพืช 4 ชนิด คือ กก อียิปต์ (*Cyperus papyrus* L.) ผักตบชวา (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms) ผักกะเฉด (*Neptunia oleracea* Lour. FL.) และผักแพงพวย (*Jussiaea repens* Linn.) ทำการทดลองแบบกะหาชนิดของพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้ในบ่อฝังและบึงประดิษฐ์ โดยทำการศึกษาที่ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ของบริษัททองถวิลบริการ ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

### 5.1 การเตรียมน้ำเสีย

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ของบริษัททองถวิลบริการ โดยนำน้ำเสียมานำจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบน้ำเสียที่ออกมาจากบ่อหมักรางไร้อากาศ น้ำเสียจากบ่อฝังของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล โดยนำน้ำเสียมานผสมกับน้ำสะอาดเพื่อให้ได้ค่าความสกปรกและความเค็มต่างๆ กัน

น้ำสะอาดที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปาของหมู่บ้านในตำบลพัฒนานิคม อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ความเค็ม (Salinity) บีโอดี ซีโอดีรวม (TCOD) ที่เคเอ็น



ภาพที่ 26 การวางแผนทดสอบความคงทนของพืชภายใต้สภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูง

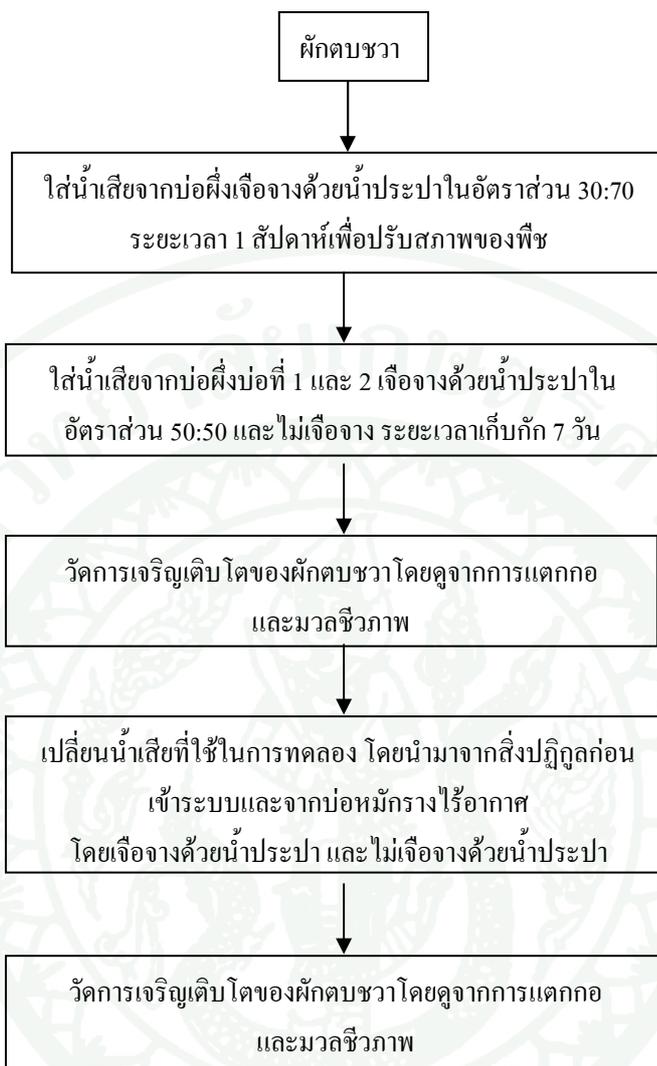
### 5.2 กกอียิปต์ (*Cyperus papyrus* L.)

กกอียิปต์ที่นำมาใช้ในการทดลองซื้อจากร้านขายต้นไม้ในจังหวัดระยอง โดยนำมาแยกหน่อ ปลูกไว้ในกระถางที่มีดินลูกรังจากบริเวณระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล โดยมีความสูงของดินประมาณ 10 ซม. โดยภายในหนึ่งกระถางจะมีต้นกกอียิปต์ที่มีความสูงใกล้เคียงกัน 3 ต้น



### 5.3 ผักตบชวา (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms)

ผักตบชวาที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบริเวณอ่างเก็บน้ำดอกกราย จังหวัดระยอง ทดลองในภาชนะพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม ปริมาตรความจุ 15 ลิตร วัดมวลชีวภาพเริ่มต้นของผักตบชวาโดยนำออกจากน้ำทิ้งไว้ 3 นาทีก่อนชั่งน้ำหนัก



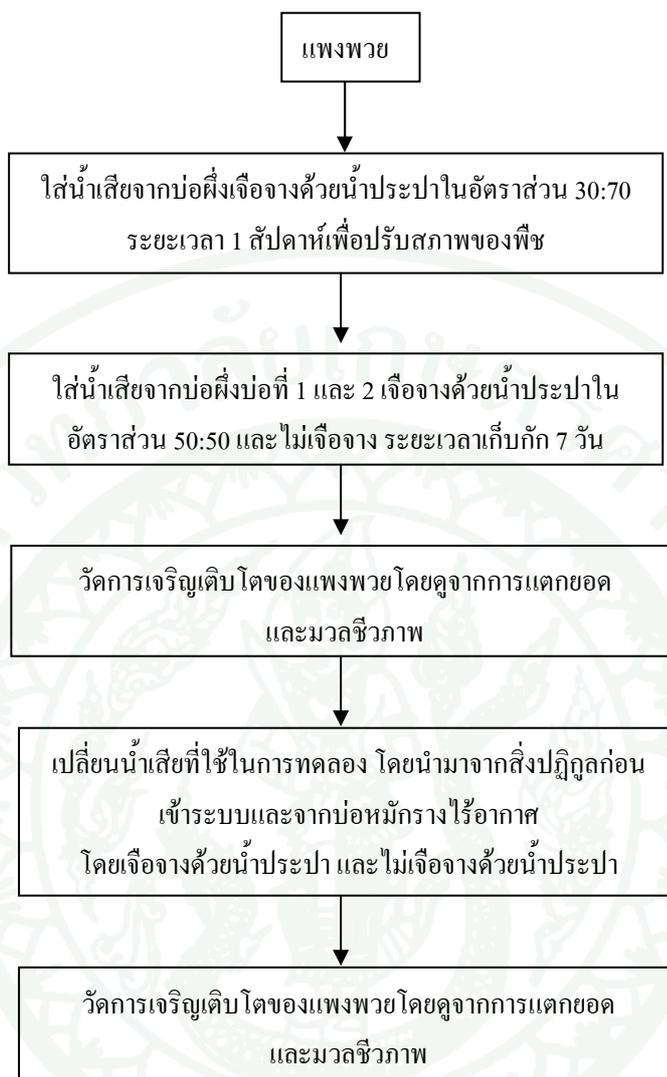
#### 5.4 กะเจด (*Neptunia oleracea* Lour. FL.)

กะเจดที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบริเวณอ่างเก็บน้ำดอกกราย จังหวัดระยอง ทดลองในภาชนะพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม ปริมาตรความจุ 15 ลิตร วัดมวลชีวภาพเริ่มต้นของผักกะเจดโดยนำออกจากน้ำทิ้งไว้ 3 นาทีก่อนชั่งน้ำหนัก



### 5.5 แพงพวย (*Jussiaea repens* Linn.)

แพงพวยที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบริเวณอ่างเก็บน้ำดอกกราย จังหวัดระยอง ทดลองในภาชนะพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม ปริมาตรความจุ 15 ลิตร วัดมวลชีวภาพเริ่มต้นของแพงพวยโดยนำออกจากน้ำทิ้งไว้ 3 นาทีก่อนชั่งน้ำหนัก



## 5. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ตามวิธีการที่สรุปไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีที่ใช้ในการทำการทดลอง

พารามิเตอร์	ความถี่การวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
pH	ทุกสัปดาห์	pH meter
ของแข็งรวม (TS)	ทุกสัปดาห์	2540 B. Total Solids Dried at 103-105°C
ของแข็งแขวนลอย (SS)	ทุกสัปดาห์	2540 D. Total Dissolved Solids Dried at 103-105°C
ของแข็งละลายน้ำ (TDS)	ทุกสัปดาห์	2540 C. Total Suspended Solids Dried at 180°C
BOD <sub>5</sub>	ทุกสัปดาห์	5210 B. 5-Day BOD test
COD	ทุกสัปดาห์	5520 C. Close reflux, Titrimetric method
TKN	ทุกสัปดาห์	4500-NH <sub>3</sub> Macro Kjeldahl method
NH <sub>3</sub> -N	บางครั้ง	4500-NH <sub>3</sub> C. Titrimetric method
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	บางครั้ง	4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B. Colorimetric method
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	บางครั้ง	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Brucine method
ก๊าซมีเทน	ทุกเดือน	Gas Chromatograph (GC 6890 Series)

ที่มา: APHA (1992)

## ผลและวิจารณ์

### 1. ปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่บ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์

ปริมาณสิ่งปฏิกูลเป็นปัจจัยสำคัญต่อระบบบำบัด ซึ่งปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีความผันแปรตามพฤติกรรมการใช้ น้ำของประชาชนและปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดสูง และในช่วงฤดูแล้งจะมีปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้อยลง จะส่งผลต่อระยะเวลาการเก็บกักและประสิทธิภาพของระบบบำบัด เนื่องจากประสิทธิภาพระบบบำบัดขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บกักของสิ่งปฏิกูลถ้าปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบมีปริมาณมากก็จะทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้อยลงและประสิทธิภาพของระบบบำบัดก็จะต่ำลง

ในช่วงที่ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดพบว่า ในช่วงที่ฤดูฝนช่วงเดือน เมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.2 – 29.2 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวม 1370 มม. เฉลี่ย 196 มม./เดือน จะมีปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดประมาณ 340 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือน พฤศจิกายน – มีนาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.5-27.0 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวม 137 มม. เฉลี่ย 69 มม./เดือน สิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

### 2. การประเมินระยะเวลาเก็บกัก

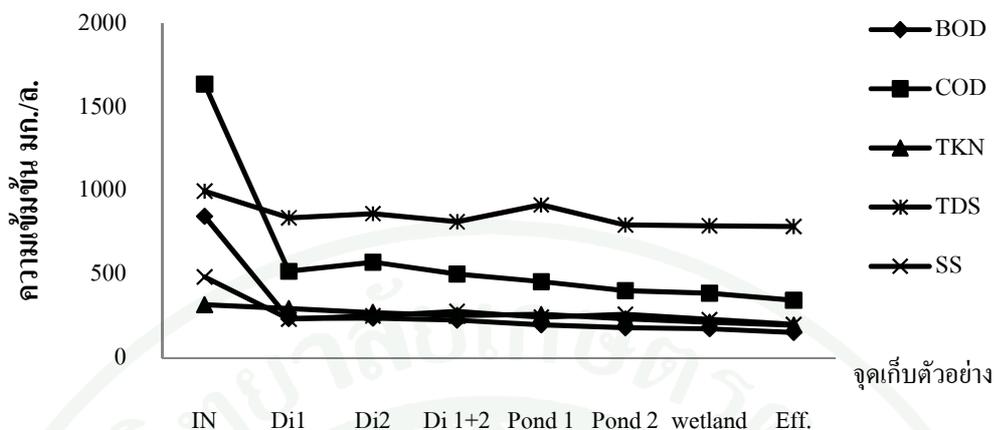
เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่าในฤดูฝนและฤดูแล้งระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีระยะเวลาเก็บกักต่างกันดังตารางที่ 11 เนื่องจากมีปริมาณสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบต่างกันคือฤดูฝนช่วงเดือน เมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 มีปริมาณสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 340 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป  $BOD_5$  135.9 kgBOD/d ส่วนฤดูแล้งช่วงเดือน พฤศจิกายน – มีนาคม พ.ศ. 2552 มีปริมาณสิ่งปฏิกูลเข้าสู่ระบบเฉลี่ย 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรูป  $BOD_5$  353.6 kgBOD/d ทำให้ฤดูฝนมีระยะเวลาเก็บกัก 25 วัน ส่วนฤดูแล้งมีระยะเวลาเก็บกัก 43 วัน

ตารางที่ 11 ระยะเวลาเก็บกักสิ่งปฏิกูลเปรียบเทียบระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง

ระบบบำบัด	ปริมาตรความจุ (ลบ.ม.)	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	
		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
1. บ่อหมักรางไร้อากาศที่ 1	686.0	4.0	6.9
2. บ่อหมักรางไร้อากาศที่ 2	686.0	4.0	6.9
3. บ่อฝักตบขวาที่ 1	3,468.0	10.2	17.3
4. บ่อฝักตบขวาที่ 2	3,392.9	10.0	17.0
5. บึงประดิษฐ์	268.3	0.8	1.3
รวม	8,501.2	25.0	42.5

### 3. ลักษณะสมบัติของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด

จากภาพที่ 27 แสดงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 พบว่ามีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 225 – 1275 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 847.2 mg/l ซีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 528 – 3481 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1639.3 mg/l ทีเคเอ็นมีค่าอยู่ในช่วง 74 – 526 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 319.2 mg/l ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 70 – 1860 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 997.9 mg/l ของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 30 - 950 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 484.3 mg/l ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.3 – 8.05 เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 และมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.6 – 3.26 ppt เฉลี่ยเท่ากับ 2.2 ppt โดยค่าความเค็มของสิ่งปฏิกูลมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากการเก็บรวบรวมสิ่งปฏิกูลมาจากหลายพื้นที่ในเขตจังหวัดระยอง บางพื้นที่ เช่น อำเภอเมืองจะได้รับอิทธิพลความเค็มมาจากน้ำทะเลส่วนอำเภอนิคมน้ำจืดจะไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลทำให้ค่าความเค็มต่ำ



ภาพที่ 27 ลักษณะสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดช่วงเดือนเม.ย. 51 ถึงเดือนมิ.ค. 52

เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของสิ่งปฏิกูลกับสิ่งปฏิกูลจากแหล่งอื่น ๆ ดังตารางที่ 12 พบว่ามีความแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะของสิ่งปฏิกูลนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อมให้กำเนิด ได้แก่ จำนวนประชากรที่ก่อให้เกิดของเสีย ปริมาณน้ำที่ใช้และลักษณะการใช้น้ำของแต่ละบุคคล ขนาดของบ่อเกรอะและการออกแบบ สภาพภูมิอากาศ ความถี่ของการสูบน้ำออกและลักษณะการใช้งานอื่นๆ (USEPA, 1994) ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะส่งผลให้บ่อเกรอะมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยบริษัททองถวิลบริการ ได้เก็บน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลมาจากเขตโรงงานอุตสาหกรรมด้วย จึงทำให้มีค่าสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบค่อนข้างต่ำ

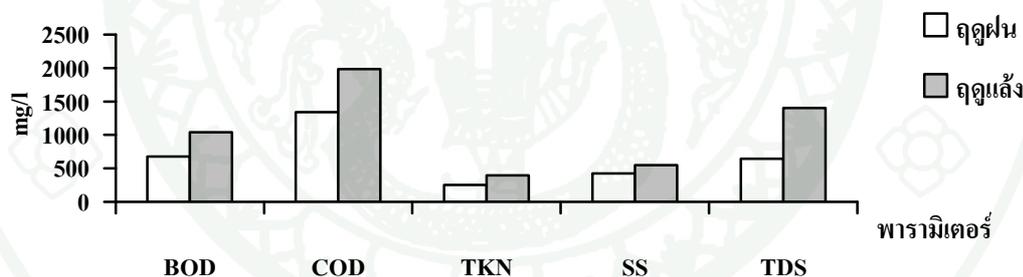
ตารางที่ 12 ลักษณะทั่วไปของสิ่งปฏิกูลจากบ่อเกรอะ (หน่วย มก./ล.)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	USEPA (1995)		กรมควบคุมมลพิษ (2545)				การศึกษานี้	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ทั่วประเทศไทย		เขตหนองแขม		ต่ำสุด	สูงสุด
			ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด		
พีเอช	1.5	12.6	7.0	8.9	6.7	8.0	7.3	8.05
บีโอดี	440	78,600	203	1,350	600	5,500	225	1,275
ซีโอดี	1,500	703,000	374	3,025	1,200	76,000	528	3,481
ทีเคเอ็น	66	1,060	189	406	300	5,000	74	526
ของแข็งทั้งหมด	1,132	130,475	-	-	2,200	67,200	230	2320
ของแข็งแขวนลอย	310	93,378	100	1,202	1,000	44,000	30	950

ในช่วงฤดูฝนช่วงเดือน เมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.2 – 29.2 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวม 1370 มม. เฉลี่ย 196 มม./เดือน พบว่าสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบมีลักษณะสมบัติดังนี้ ค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 680, 1341, 252, 426 และ 645 มก./ล. ตามลำดับ

ในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ 2551 – มีนาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 25.0 - 28.4 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวม 128 มม. เฉลี่ย 26 มม./เดือน พบว่าสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบมีลักษณะสมบัติดังนี้ ค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เฉลี่ยเท่ากับ 1040, 1983, 397, 551 และ 1403 mg/l ตามลำดับ

จากภาพที่ 28 พบว่าในฤดูแล้งช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552 ลักษณะสมบัติของสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดทั้งค่า จะมีค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมากกว่าในฤดูฝนช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม 2551 เนื่องจากในฤดูฝนสิ่งปฏิกูลถูกเจือจางด้วยน้ำฝนที่ซึมเข้าสู่บ่อเกรอะ



ภาพที่ 28 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบระหว่าง

ฤดูฝน (เมษายน – ตุลาคม 2551) และฤดูแล้ง (พฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552)

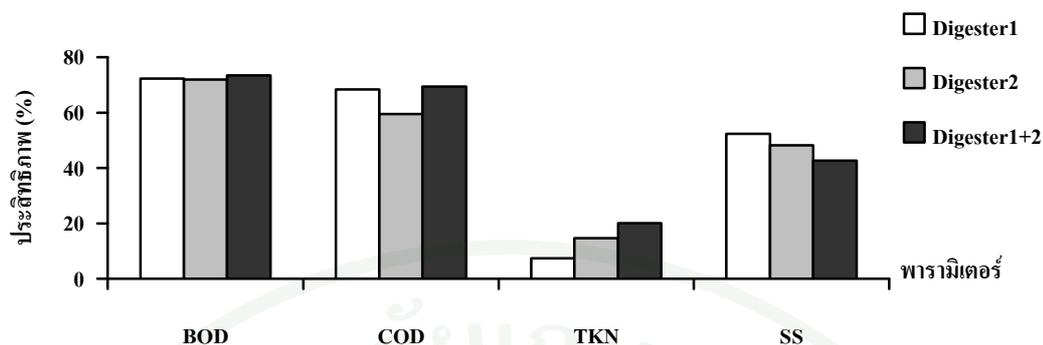
#### 4. การประเมินประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์

##### 4.1 ประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์

บ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูงที่สุด เนื่องจากในบ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์จะถูกลดลงสลายในสภาวะไร้อากาศและถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วยก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ โดยพบว่าบ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดีและของแข็งแขวนลอยสูง แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นและของแข็งละลายน้ำทั้งหมดค่อนข้างต่ำ

ค่าพีเอชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายของแบคทีเรียในถังย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน โดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 – 7.6 (Barker, 1941; Macarty, 1964) จากการศึกษาสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่บ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์พบว่าค่าพีเอชค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.3 – 8.05 เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 ซึ่งเป็นค่าเล็กน้อย และเป็นค่าที่เหมาะสมกับการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

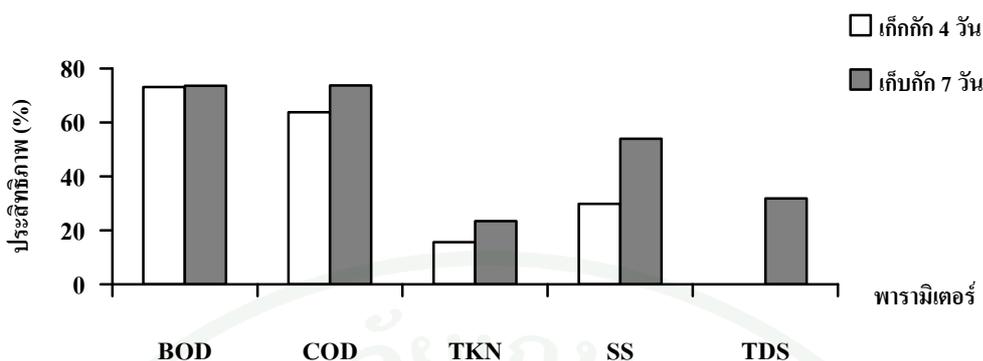
จากภาพที่ 29 บ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์ที่ 1 สามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย เฉลี่ยร้อยละ 72, 68, 7 และ 52 ตามลำดับ บ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์ที่ 2 สามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 72, 60, 15 และ 48 ตามลำดับ แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ใช้บ่อหมักรางไรร่วมกับบึงประดิษฐ์ในการบำบัดมูลสุกร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD ประมาณร้อยละ 70 – 80 พบว่าระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ต่ำกว่า โดยอาจมีสาเหตุมาจากสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบบำบัดเป็นสิ่งปฏิกูลที่ถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมาแล้วในบ่อเกรอะดังนั้นสิ่งปฏิกูลที่ถูกเก็บออกมาจากบ่อเกรอะจึงเหลือเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ส่วนมูลสุกรเป็นมูลสุกรที่ยังไม่ผ่านการย่อยสลายจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่า



ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลของบ่อหมักรางไร้อากาศ

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไร้อากาศกับระยะเวลาเก็บกักพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วันในช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม 2551 และ 7 วันในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552 (ภาพที่ 30) พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 วันบ่อหมักรางไร้อากาศสามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย เฉลี่ยร้อยละ 73, 64, 16 และ 30 ตามลำดับ โดยไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 7 วันบ่อหมักรางไร้อากาศสามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เฉลี่ยร้อยละ 74, 74, 23, 54 และ 32 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไร้อากาศด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบระยะเวลาเก็บกัก 4 วันและ 7 วันพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี, ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

เนื่องจากเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 32 และประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นร้อยละ 24 สอดคล้องกับการศึกษาของ Kanwer *et al.* (1994) ที่พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการเก็บกักมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด แต่จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้นของบ่อหมักรางไร้อากาศประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีไม่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด



ภาพที่ 30 ประสิทธิภาพการบำบัดสิ่งปฏิกูลของบ่อหมักรางไร้อากาศเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน และ 7 วัน

จะเห็นได้ว่าระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลอย่างมากต่อการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย และส่งผลต่อการบำบัดชีโอติและทีเคเอ็นเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งในบ่อหมักรางไร้อากาศก็ควรเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานขึ้น

น้ำเสียที่ออกจากระบบบ่อหมักรางไร้อากาศมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 103 – 320 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 225.5 mg/l มีค่าชีโอดีอยู่ในช่วง 290 – 869 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 501.7 mg/l มีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 104 – 391 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 255.0 mg/l มีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 105 – 710 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 278.0 mg/l มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 190 – 1465 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 815.2 mg/l

#### 4.2 ประสิทธิภาพของบ่อผึ่ง

บ่อผึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียง่ายที่สุด และต้องพึ่งพาธรรมชาติมากที่สุด การบำบัดจะอาศัยการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นตัวสร้างออกซิเจนให้แก่แบคทีเรีย แบคทีเรียจะทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจนอัตราปฏิกิริยาของการทำลาย BOD จึงค่อนข้างช้า (บรรจง และ อเนก, 2537) บ่อผึ่งในระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลเป็นบ่อบำบัดแบบบ่อกึ่งไร้อากาศ (facultative pond) ซึ่งมีความลึกของบ่อ 1.7 เมตร จำนวน 2 บ่อ โดยในช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 มีระยะเวลาเก็บกัก 11 และ 10 วันตามลำดับ

ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552 มีระยะเวลาเก็บกัก 18 และ 17 วัน ตามลำดับ จากการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ที่ระดับความลึกของน้ำ 30 เซนติเมตร ในบ่อซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 7.0 – 7.39 mg/l ที่อุณหภูมิ 31.1 องศาเซลเซียส เนื่องจากบ่อบำบัดตั้งอยู่ในที่ซึ่งมีลมพัดเกือบตลอดเวลา รวมทั้งมีแสงแดดจัดในเวลากลางวัน ปริมาณแสงแดด และลมที่พัดแรงทำให้มีการเติมออกซิเจนแก่น้ำเสียได้ดีมากขึ้น

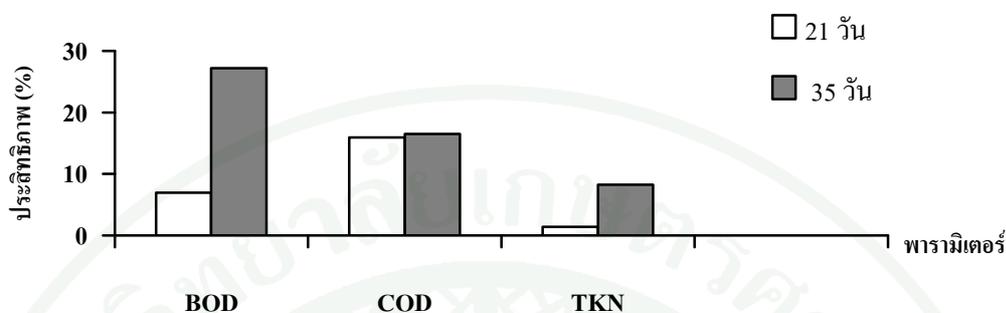
จากตารางที่ 13 พบว่าบ่อซึ่งสามารถบำบัดบีโอดี, ซีโอดี และทีเคเอ็น เฉลี่ยร้อยละ 16.37, 16.21 และ 4.57 ตามลำดับ และพบว่าบ่อซึ่งทั้งสองบ่อไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เนื่องจากค่า บีโอดี, ซีโอดี และทีเคเอ็นที่ทำการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์โดยน้ำเสียซึ่งไม่ได้ผ่านการกรอง ซึ่งน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการกรองมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามปริมาณของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในบ่อซึ่งทั้งสองบ่อจึงทำให้ไม่ได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่แท้จริง และเมื่อทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีที่ผ่านการกรองของบ่อซึ่งพบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อซึ่ง และน้ำเสียที่ออกจากบ่อซึ่งมีค่า sBOD เท่ากับ 110 และ 73 mg/l ตามลำดับ แสดงว่าบ่อซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด sBOD ได้ร้อยละ 33.64

ตารางที่ 13 ลักษณะน้ำเสียจากบ่อซึ่ง (หน่วย มก./ล.)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	น้ำเสียเข้าบ่อซึ่ง			น้ำเสียออกจากบ่อซึ่ง 1			น้ำเสียออกจากบ่อซึ่ง 2		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
บีโอดี	103	320	225.5	105	346	197.9	129	298	179.6
ซีโอดี	290	869	501.7	321	773	457.4	246	627	403.4
ทีเคเอ็น	104	391	255.0	126	371	260.3	105	356	234.1
ของแข็งแขวนลอย	105	710	278.0	140	690	243.2	130	570	260.6
ของแข็งละลายน้ำ	190	1465	815.2	260	2020	914.9	310	1200	794.7

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี, ซีโอดี และทีเคเอ็น ที่ระยะเวลาเก็บกัก 21 วันในช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม พ.ศ. 2551 และที่ระยะเวลาเก็บกัก 35 วันในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552 พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นส่งผลให้บ่อซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี และทีเคเอ็นเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 31) เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพของบ่อซึ่งด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบระยะเวลาเก็บกัก 21 วันและ 35 วันพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ทีเค

เอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ )



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบ่อฝิ่งเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 21 วัน และ 35 วัน

จากผลการศึกษาจะพบว่าบ่อฝิ่งทั้งสองบ่อมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำ ชัดแจ้งกับการศึกษาของ Kazimi (1972) ที่พบว่าบ่อบำบัดแบบแฟลตเททีฟในประเทศไทยที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วันจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ร้อยละ 89.5 อาจเนื่องจากระบบบำบัดมีความเค็มสูงในบ่อฝิ่งบ่อที่ 1 และบ่อฝิ่งบ่อที่ 2 มีค่าความเค็มเฉลี่ย 2.2 และ 2.0 ppt ตามลำดับ ซึ่งค่าความเค็มมีผลกระทบต่อความสามารถในการละลายอิมตัวของออกซิเจนในน้ำ และมีผลต่อจุลชีพที่มีอยู่ในระบบ เมื่อรวมถึงการที่เกลือก็เป็นสารยับยั้งการทำงานของจุลชีพที่มีหน้าที่กำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย ก็ยิ่งทำให้ความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนของน้ำเสียที่มีความเค็มต่ำกว่าในน้ำจืด (Sawyer *et al.*, 1994) และยังมีปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ เนื่องจากระบบบำบัดตั้งอยู่ในพื้นที่ซึ่งมีลมพัดตลอดเวลา ลมที่พัดแรงขึ้นนั้นมียุทธผลทำให้น้ำด้านล่างพลิกขึ้นและการกวนให้ตะกอนด้านล่างพื้นบ่อขึ้นมา ทำให้คุณภาพน้ำแย่ลงได้

#### 4.3 ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์

บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระและมีการปลูกต้นธูปฤาษีมีระยะเวลาเก็บกัก 1 วันในฤดูฝนและ 2 วันในฤดูแล้ง มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าสามารถบำบัด บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เฉลี่ยร้อยละ 15, 15, 16, 24 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนของระบบบำบัดบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระซึ่งปลูกต้นธูปฤาษีที่มีประสิทธิภาพ

ในการบำบัด บีโอดีร้อยละ 53.8 (Jinadasa *et al.*, 2008) และต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นด้วย Septic Tank และบ่อปรับเสถียรแล้วโดยบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวหน้าชั้นกรองอย่างอิสระที่มีการปลูกธูปฤาษี มีประสิทธิภาพในการบีโอดี และของแข็งแขวนลอยร้อยละ 49.2 และ 37.3 ตามลำดับ (Juan, 2007) เนื่องจากธูปฤาษีที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ในสภาพน้ำเสียที่มีความเค็มสูงถึง 1900 mg/l การเจริญเติบโตของธูปฤาษีเริ่มทรุดโทรมและมีบางส่วนเริ่มแห้งตาย แต่ยังสามารถงอกใหม่ได้ เศษต้นพืชที่ตายไปไม่มีการเก็บออกทำให้ต้องมีการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น USEPA (1988) กล่าวว่า ธูปฤาษีมีความทนทานต่อสภาพความเค็มสูงถึง 30,000 mg/l สอดคล้องกับการศึกษาของ สุมน และคณะ(2537) ที่พบว่าความเค็มของน้ำมีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของพืช โดยธูปฤาษีหลังจากได้รับน้ำเค็มประมาณ 2 อาทิตย์ยังมีการเจริญเติบโตได้ดี และเริ่มทรุดโทรมเมื่อบรับน้ำเค็มนานมากขึ้น แต่ยังพบการแตกใบใหม่ได้

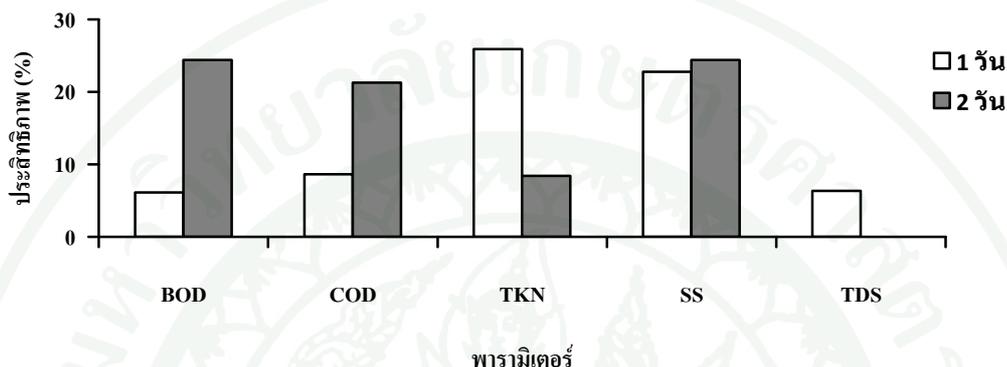
จากตารางที่ 14 พบว่าบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดร้อยละ 15, 15, 16, 24 และ 2 ตามลำดับ โดยของแข็งแขวนลอยถูกกำจัดได้สูงร้อยละ 24 เนื่องมาจากเวลาเก็บกักที่ยาวนาน ตื้น (Shallow Depth) และมีสภาพที่สงบนิ่ง (Quiescent Condition) การตกตะกอนโดยส่วนใหญ่ของของแข็งเกิดขึ้นภายใน 2-3 เมตรแรก จากทางน้ำเข้า (Reed *et al.*, 1988) นอกจากนั้นต้นพืชมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเร็วของน้ำเสียที่เข้ามาต่ำลง และช่วยกระจายน้ำเข้าได้ทั่วทั้งระบบ ซึ่งไปเสริมการตกตะกอนให้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 14 ลักษณะน้ำเสียจากบึงประดิษฐ์ (หน่วย มก./ล.)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	น้ำเสียภายในบึงประดิษฐ์			น้ำเสียออกจากบึงประดิษฐ์		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
บีโอดี	108	305	174	93	218	152
ซีโอดี	240	582	388	229	496	344
ทีเคเอ็น	70	356	214	69	337	196
ของแข็งแขวนลอย	105	350	229	40	460	19
ของแข็งละลายน้ำ	285	1275	791	130	1300	786

จากภาพที่ 32 พบว่าในช่วงฤดูฝนที่มีระยะเวลาเก็บกัก 1 บึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นดีกว่าในช่วงฤดูแล้งที่มีระยะเวลาเก็บกัก 2 วัน เมื่อทำการทดสอบความแตกต่าง

ของประสิทธิภาพของบ่อหมักรางไร้อากาศด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบระยะเวลาเก็บกัก 1 วันและ 2 วันพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี และทีเคเอ็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ประสิทธิภาพในการบำบัด และของแข็งแขวนลอย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )



ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของบึงประดิษฐ์เปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 1 วัน และ 2 วัน

เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งจะทำให้ปริมาณน้ำในน้ำเสียที่อยู่ในระบบบึงประดิษฐ์ลดลง และทำให้ความเข้มข้นของสารที่ปนเปื้อนที่ยังคงมีอยู่ในน้ำนั้นมีค่าสูงขึ้น และธาตุอาหารที่อยู่ในบึงประดิษฐ์มีการเจริญเติบโตในช่วงฤดูฝนได้ดีกว่าในช่วงฤดูแล้ง แต่ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี และซีโอดีของบึงประดิษฐ์ในช่วงฤดูแล้งดีกว่าฤดูฝน เนื่องจากระยะเวลาเก็บกักที่นานขึ้น

#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในระบบบำบัด

ไนโตรเจนในน้ำเสียมักจะมีในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและสารแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งสารไนโตรเจนจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียได้ เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในน้ำ

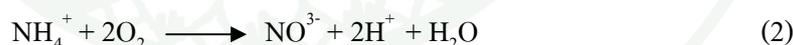
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของระบบบำบัดในระยะเวลา 6 สัปดาห์พบว่าน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศจะมีไนเตรทไนโตรเจนลดลง เนื่องจากในสภาพไร้อากาศจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งไนเตรทไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและก๊าซ

ไนโตรเจน ส่วนน้ำเสียที่ออกจากบ่อฝังจะพบว่าจะมีไนเตรทไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน

ตารางที่ 15 ไนโตรเจนในระบบบำบัด (หน่วย มก./ล.)

	สิ่งปฏิกูล			ออกจากบ่อหมักกราง			ออกจากบ่อฝัง			ออกจากบึงประดิษฐ์		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
TKN	333	499	378.7	311	410	365.8	302	325	313.7	259	298	282.2
NH <sub>3</sub> -N	280	399	318.7	280	370	312.7	276	301	289.2	232	274	255.6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	11.2	14.3	13.07	9.28	11.88	10.42	9.39	13.43	11.67	13.9	17.4	15.73
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.02	0.23	0.12	0.07	0.23	0.12	0.01	0.13	0.08	0.04	0.13	0.08

น้ำที่ออกจากบึงประดิษฐ์จะพบว่าที่เคเอ็น, แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าลดลง แต่มีไนเตรทไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลไกที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจนในบึงประดิษฐ์ (Vymazal *et al*, 1998) ได้แก่ กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในระบบคือการออกซิไดซ์ทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์จำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ทั้งนี้แอมโมเนียไนเตรตจะเกิดการออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรทไนโตรเจนด้วยแบคทีเรียกลุ่ม Chemolithotrophic เช่น แบคทีเรียไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas) จากนั้นไนเตรทไนโตรเจนจะออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรตไนโตรเจนด้วยแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ทั้งนี้กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในสถานะที่มีออกซิเจนเท่านั้น และมีสมการของปฏิกิริยาได้แก่



จากสมการจะเป็นผลทำให้เกิดการลดลงของแอมโมเนียไนโตรเจน และการเพิ่มขึ้นของไนเตรทไนโตรเจนในระบบ

#### 4.5 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักกรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์

จากการศึกษาพบว่าลักษณะของสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 225 – 1275 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 847.2 mg/l ซีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 528 – 3481 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1639.3 mg/l ทีเคเอ็นมีค่าอยู่ในช่วง 74 – 526 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 319.2 mg/l ของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 30 - 950 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 484.3 mg/l ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 70 – 1860 mg/l เฉลี่ย

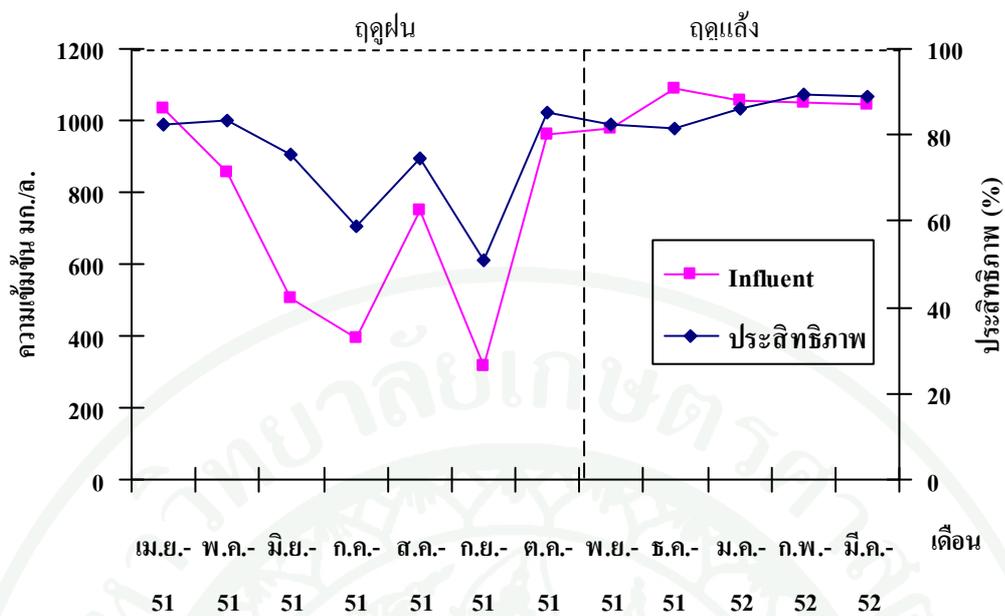
เท่ากับ 997.9 mg/l ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.3 – 8.05 เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 และมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.6 – 3.26 ppt เฉลี่ยเท่ากับ 2.2 ppt ส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากระบบพบว่ามีความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนอยู่ในช่วง 93 - 218 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 151.8 mg/l ค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 229 – 496 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 344.3 mg/l ค่าที่เคเอ็นอยู่ในช่วง 69 – 337 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 196.3 mg/l ของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 40 – 460 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 199.1 mg/l ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 130 – 1300 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 786.2 mg/l ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.63 – 8.28 เฉลี่ยเท่ากับ 7.98 และมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 1.43 – 2.29 ppt เฉลี่ยเท่ากับ 1.9 ppt

จากผลการศึกษาพบว่าระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ (ตารางที่ 16) มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ซีโอดี ที่เคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ร้อยละ 82.0, 79.0, 38.5, 13.6, 58.9 และ 21.2 ตามลำดับ

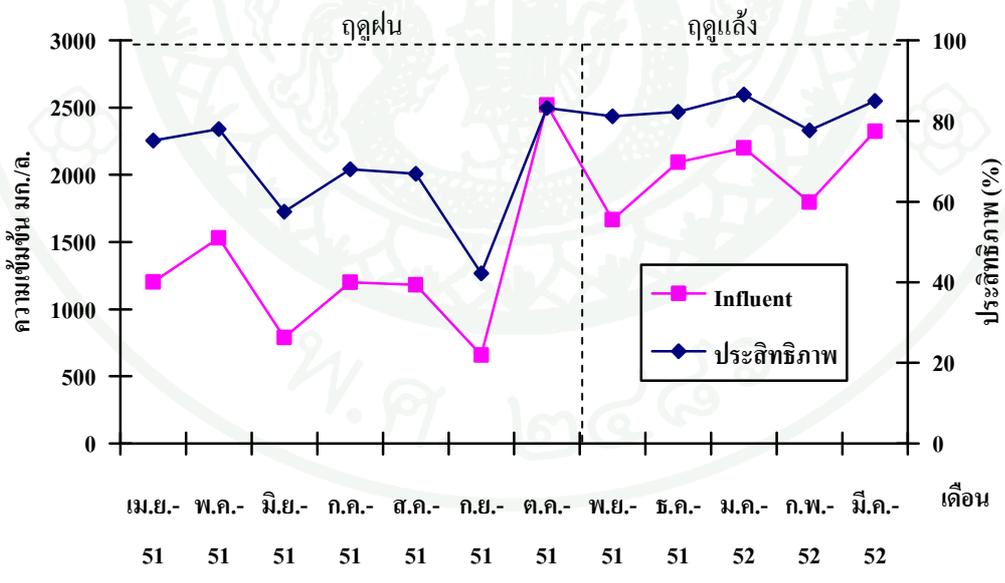
ค่าความเค็มของสิ่งปฏิกูลที่เข้าสู่ระบบมีค่าความเค็มลดลง โดยระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความเค็มได้ร้อยละ 13.6 ซึ่งอาจเกิดจากในช่วงที่มีฝนตกน้ำเสียมีการเจือจางด้วยน้ำฝนทำให้ค่าความเค็มลดลง

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพของระบบบำบัด

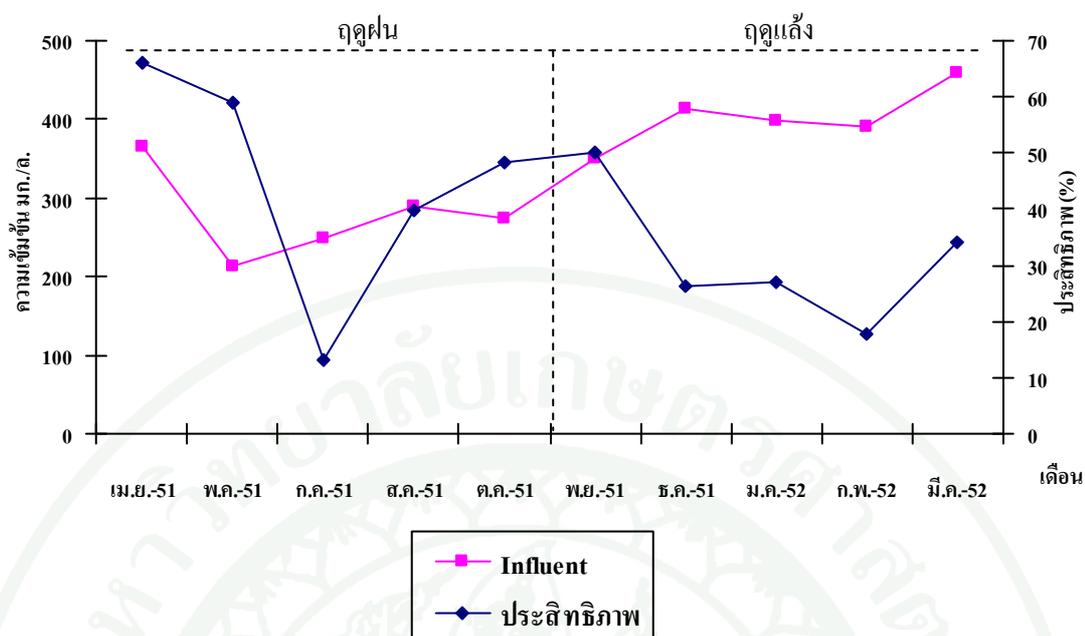
จุดเก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์					
	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	Salinity (ppt.)	SS (mg/L)	TDS (mg/L)
สิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ	847	1639	319	2.2	484	998
น้ำออกจากบ่อหมักรางบ่อที่ 1	235	518	296	2.5	231	838
น้ำออกจากบ่อหมักรางบ่อที่ 2	238	664	273	2.5	251	863
น้ำออกจากบ่อหมักรางบ่อที่ 1+2	226	502	255	2.2	278	815
น้ำออกจากบ่อฝิ่งบ่อที่ 1	198	457	260	2.2	243	915
น้ำออกจากบ่อฝิ่งบ่อที่ 2	180	403	234	2.0	261	795
น้ำออกจากบึงประดิษฐ์	174	388	214	1.9	229	791
น้ำปล่อยสู่ธรรมชาติ	152	344	196	1.9	199	786
ประสิทธิภาพ (%)	82.08	79.00	38.50	13.64	58.89	21.24



ภาพที่ 33 ค่าบีโอดีของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด  
เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52

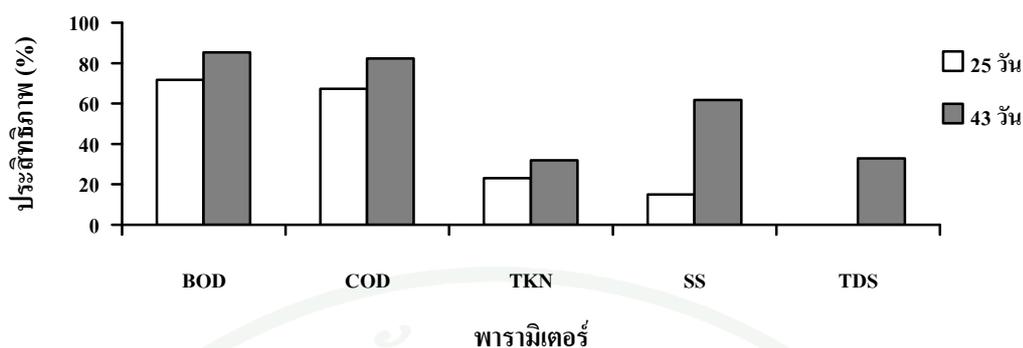


ภาพที่ 34 ค่าซีโอดีของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด  
เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52



ภาพที่ 35 ค่าที่เคเอ็นของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัด  
เดือน เม.ย. 51 – มี.ค. 52

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลกับระยะเวลาเก็บกัก (ภาพที่ 36) พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 25 วันในช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม 2551 และ 43 วันในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 – มีนาคม 2552 พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 21 วันระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลสามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น และของแข็งแขวนลอย เหลือร้อยละ 72, 67, 23 และ 15 ตามลำดับ แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ที่ระยะเวลาเก็บกัก 43 วัน บ่อหมักรางไร้อากาศสามารถบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เหลือร้อยละ 85, 82, 32, 62 และ 32 ตามลำดับ แสดงว่าระยะเวลาเก็บกักของระบบบำบัดมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด



ภาพที่ 36 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาเก็บกัก 25 วัน และ 43 วัน

จากผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรง ไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์เปรียบเทียบกับระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ ดังแสดงดังตารางที่ 17 พบว่าระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรง ไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการ บำบัดต่ำกว่าระบบบำบัดแบบถังกวนผสมแบบไม่ใช้อากาศ (CSTR) แบบ Anaerobic Digestion with chlorination tank (เมื่อเปรียบเทียบการบำบัด BOD) และแบบ Ultrafiltration ประสิทธิภาพการ บำบัดใกล้เคียงกับระบบบำบัดแบบ Aerobic Digestion แต่ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรง ไร้ อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ไม่ต้องอาศัยการเติมสารเคมี ค่าลงทุนต่ำ และใช้พลังงานน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรง ไร้อากาศร่วมกับ บึงประดิษฐ์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD และ COD สูงกว่าระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบ หมักเป็นปุ๋ย รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการอยู่ในบ่อหมักน้อยกว่า

จากการศึกษาการกำจัดจุลินทรีย์ดัชนีในระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรง ไร้อากาศ ร่วมกับบึงประดิษฐ์ของนริรัตน์ (2552) โดยใช้จุลินทรีย์ดัชนี คือ แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ฟีคัล โคลิ ฟอร์ม เป็นดัชนีของแบคทีเรียก่อโรค และโคลิฟาจเป็นดัชนีของไวรัสก่อโรค โดยทำการเก็บ ตัวอย่างเป็นเวลา 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดแบคทีเรียโคลิฟอร์ม ฟีคัล โคลิ ฟอร์ม และโคลิฟาจของทั้งระบบเฉลี่ย คือ 2.79, 3.59 ลอการิทึมของค่าเอ็มพีเอ็น และ 4.40 ลอการี ทึมของค่าพีเอฟยู ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการกำจัดแบคทีเรียโคลิฟอร์ม และฟีคัล โคลิฟอร์ม สูงสุดที่ 3 ลอการิทึมของค่าเอ็มพีเอ็น ที่บริเวณบ่อหมักทรง ปริมาณ โคลิฟาจถูกกำจัดสูงสุดที่ 3.5 ลอ การิทึมของค่าพีเอฟยู และในการตรวจปรสิตรตรวจพบไข่พยาธิ 3 ชนิด คือ พบไข่พยาธิตัวดีด ไข่

พยาธิปากขอ และไข่พยาธิใบไม้ในตับ พบตัวอ่อน 2 ชนิด ตัวอ่อนพยาธิเส้นด้าย และตัวอ่อนพยาธิปากขอ

ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล

ระบบบำบัด	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	ที่มา
1. บ่อบำบัดน้ำเสียไร้อากาศ ร่วมกับบึงประดิษฐ์	BOD = 82.08 COD = 79.00 TKN = 38.50 TS = 33.54 SS = 58.89	จากการศึกษา
2. หมักเป็นปุ๋ย 28 วัน	BOD = 70.4 COD = 52 (ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน)	กรมอนามัย (2549)
3. Aerobic Digestion	COD = 80.4 (ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน)	Chiu and Jen (1997)
4. ถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ ใช้อากาศ (CSTR)	COD = 86 (ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน)	Chiu <i>et al.</i> (1998)
5. Anaerobic Digestion with chlorination tank	BOD = 97 COD = 40 (ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30 วัน)	Mether <i>et al.</i> (1994)
6. Ultrafiltration	BOD > 99	Takao and Kensuke (1996)

##### 5. แนวทางการปรับปรุงระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล

เนื่องจากน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดยังมีค่าสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงคือ มีค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 151.8, 344.3, 196.3, 199.1 และ 786.2 mg/l ตามลำดับ โดยมีแนวทางการปรับปรุงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดคือ

1) การเติมอากาศลงในบ่อเลี้ยง เนื่องจากพบว่าบ่อเลี้ยงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ จึงควรมีการเติมอากาศเพื่อเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพให้เร็วกว่าอัตราการธรรมชาติที่เกิดในระบบบ่อเลี้ยง การเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จะไม่ถูกจำกัดโดยออกซิเจน และเนื่องจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักทรงไร้อากาศได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน จึงสามารถนำมาใช้กับเครื่องเติมอากาศได้ โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่น

2) การปลูกพืชลอยน้ำลงในบ่อเลี้ยง เนื่องจากพืชน้ำมีบทบาทสำคัญในการบำบัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย และจากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อเลี้ยงและบ่อผักบึง พบว่าบ่อผักบึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีกว่าบ่อเลี้ยงอย่างชัดเจน (Seni and Jaas, 1995) จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของบ่อเลี้ยง โดยการปลูกพืชลอยน้ำเช่น ผักตบชวา (Orth and Sapkoa, 1988) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัด

3) ในบึงประดิษฐ์ ควรมีพืชน้ำชนิดอื่นปลูกนอกจากธูปฤๅษีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพบว่าธูปฤๅษีมีการแห้ง และตายทำให้บึงประดิษฐ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไม่คงที่ และควรมีการเก็บเศษที่ตายแล้วของพืชที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ออกด้วย

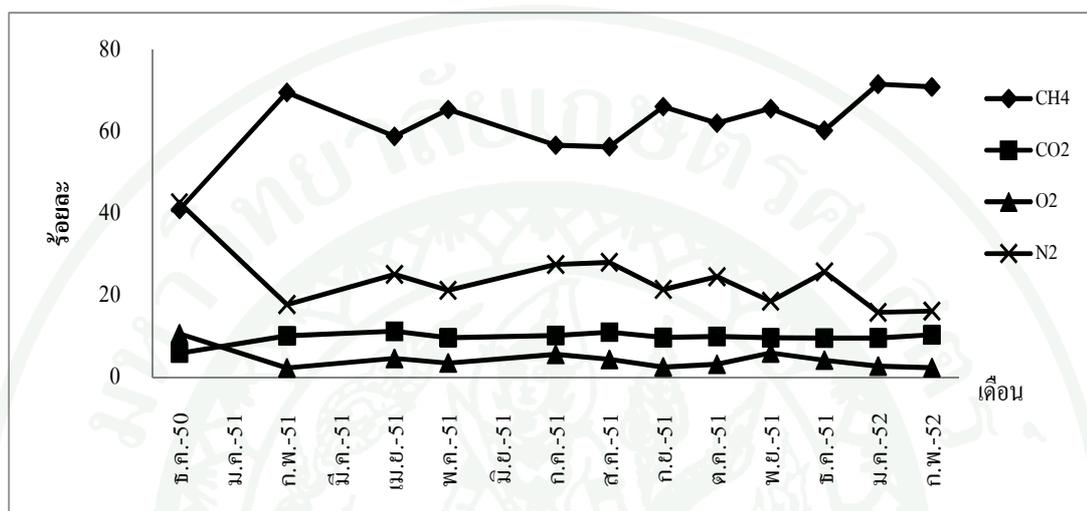
4) ควรเพิ่มระบบกรองทรายก่อนน้ำที่ออกจากระบบ เนื่องจากน้ำที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำสูง เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า sBOD ของน้ำก่อนออกจากระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ย 40 mg/l ซึ่งน้อยกว่าน้ำที่ไม่ผ่านการกรองที่มีค่าเฉลี่ย 151.8 mg/l ค่อนข้างมาก

## 6. ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักทรงไร้อากาศ

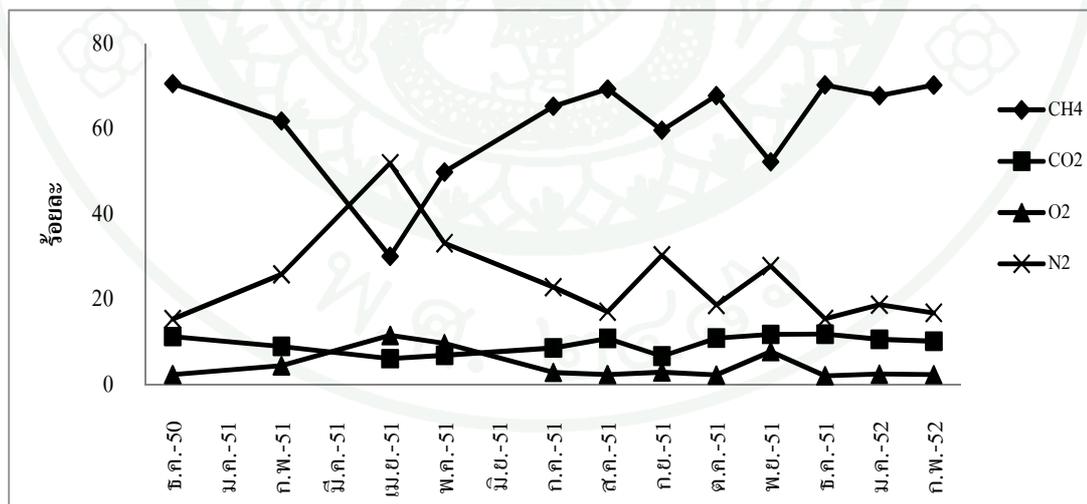
### 6.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

จากการเก็บตัวอย่างเป็นตั้งแต่เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 จะเห็นได้ว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากบ่อหมักทรงไร้อากาศบ่อที่ 1 อยู่ในช่วงร้อยละ 41 – 72 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 62 มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากบ่อหมักทรงไร้อากาศบ่อที่ 2 อยู่ในช่วงร้อยละ 30 – 71 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 61 สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ (Economic and Social Commission for Asia and Pacific, 1984)

จากผลของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นกระบวนการหมักสิ่งปฏิกูลพบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษากระบวนการหมักของสิ่งปฏิกูลพบว่าที่ 20 องศาเซลเซียสจะมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นร้อยละ 60-63 (Singh *et al.*, 1993) และมีก๊าซมีเทนใกล้เคียงกับระบบบำบัดของมูลสุกรซึ่งมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้น 62.6 % (Stephanie *et al.*, 2010)



ภาพที่ 37 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักราง ไร่อากาศบ่อที่ 1

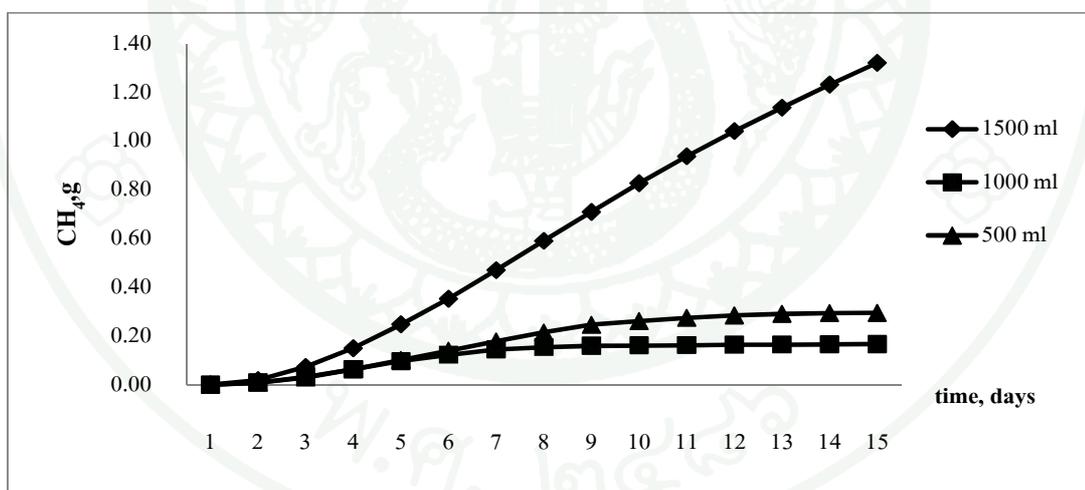


ภาพที่ 38 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักราง ไร่อากาศบ่อที่ 2

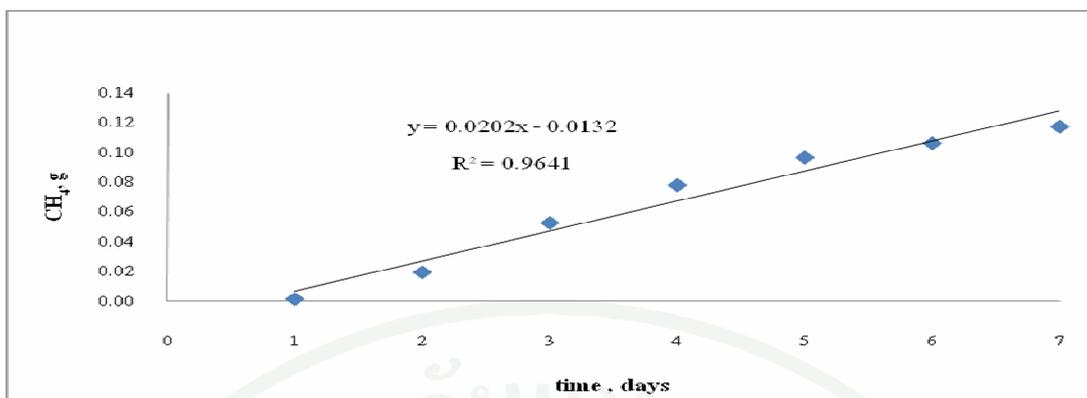
## 6.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของสิ่งปฏิกูล

จากการทดลองหาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนของสิ่งปฏิกูลในห้องทดลอง (ภาคผนวก ง) โดยใช้ขวดทดลองขนาด 2320 ml และใส่สิ่งปฏิกูลลงไปในขวดปริมาณ 1500, 1000 และ 500 ml ตามลำดับ โดยสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบมีค่าพีเอชเท่ากับ 7.6 มีค่าบีโอดี และซีโอดีเท่ากับ 925.5 และ 1675 mg/l ตามลำดับ

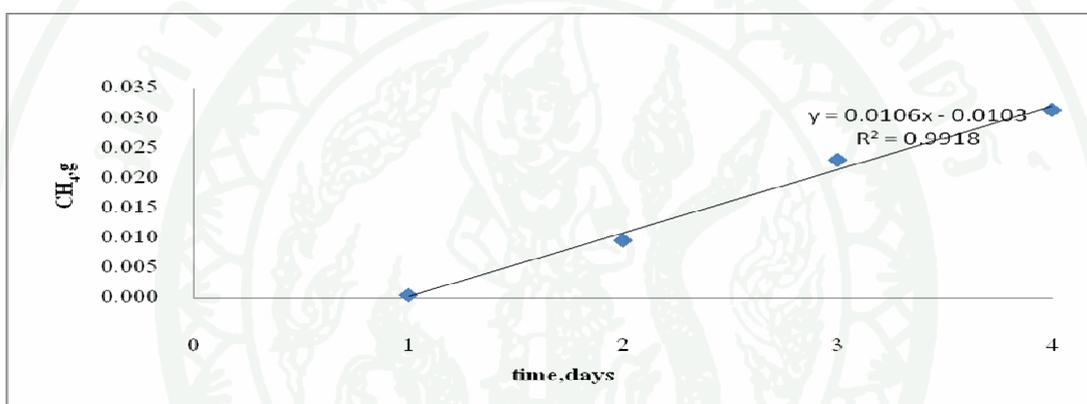
จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมปริมาณสิ่งปฏิกูลลงในขวดทดลองปริมาณ 1500 ml พบว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 7 วันก่อนจะค่อย ๆ ลดลง โดยมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ  $0.008048 \text{ gCH}_4/(\text{gCOD})(\text{day})$  เมื่อเติมปริมาณสิ่งปฏิกูลลงในขวดทดลองปริมาณ 1000 ml พบว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 4 วันก่อนจะค่อย ๆ ลดลง โดยมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ  $0.006328 \text{ gCH}_4/(\text{gCOD})(\text{day})$  และเมื่อเติมปริมาณสิ่งปฏิกูลลงในขวดทดลองปริมาณ 500 ml พบว่ามีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 5 วันก่อนจะค่อย ๆ ลดลง โดยมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ  $0.01206 \text{ gCH}_4/(\text{gCOD})(\text{day})$



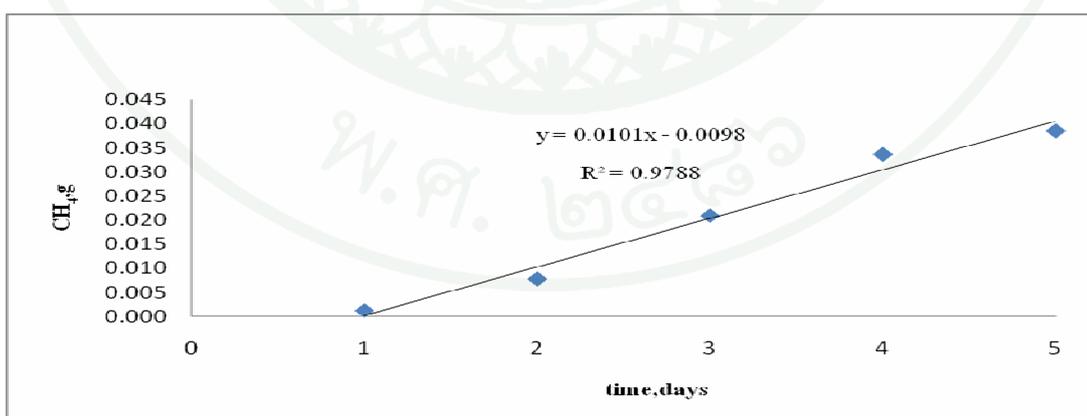
ภาพที่ 39 ก๊าซมีเทนสะสมในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปฏิกูล 1500, 1000 และ 500 ml)



ภาพที่ 40 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปฏิกูล 1500 ml)



ภาพที่ 41 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปฏิกูล 1000 ml)



ภาพที่ 42 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนในขวดทดลองเมื่อเทียบกับเวลา (สิ่งปฏิกูล 500 ml)

## 7. การทดสอบสภาพความคงทนของพืชในสถานะน้ำเสียที่มีความเค็มสูง

พืชน้ำมีบทบาทสำคัญในการกำจัดสารอาหารในระบบบึงประดิษฐ์ ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบอื่นๆ ในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่กำจัดได้ยาก ฯลฯ อัตราการนำสารอาหารไปใช้โดยพืชถูกจำกัด โดยขึ้นอยู่กับอัตราการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อของพืชและลักษณะของตะกอนและน้ำเสีย

### 7.1 สภาพความคงทนของกกอียิปต์

จากการศึกษาพบว่ากกอียิปต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกน้ำเสียที่นำมาทดลอง โดยสามารถทนต่อสถานะน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี 1120 มก/ล. และความเค็ม 2464 มก/ล. ได้ โดยเมื่อทดลองปลูกในน้ำจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 208 – 1176 mg/l พบว่าในสัปดาห์แรกเจริญเติบโตได้ไม่ดึ้นกเนื่องจาก ต้นกกอียิปต์มีลักษณะคงอ ปลายยอดมีลักษณะเหี่ยวเล็กน้อยแต่เมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์พบว่าสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่ามีความสูงเพิ่มขึ้นถึง 51 ซม. จากเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีความสูง 20 ซม. และมีการแตกหน่อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากเริ่มต้นการทดลองมีกกอียิปต์จำนวน 3 ต้นแต่เมื่อผ่านไป 10 สัปดาห์พบว่ากกอียิปต์มีจำนวนถึง 59 ต้น และเมื่อทดลองปลูกในน้ำที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 208 – 350 mg/l พบว่าในสัปดาห์แรกเจริญเติบโตได้ดี ต้นกกอียิปต์มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้นจาก 3 ต้น เป็น 5 ต้นเมื่อผ่านไป 10 สัปดาห์พบว่ากกอียิปต์มีจำนวนถึง 62 ต้น และมีความสูงเพิ่มขึ้นถึง 52 ซม. จากเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีความสูง 20 ซม. จากการทดลองปลูกกกอียิปต์ในน้ำจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของการเจริญเติบโตของกกอียิปต์ด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบการทดลองปลูกกกอียิปต์ในน้ำจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ และปลูกในน้ำที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศด้านความสูงของกกอียิปต์ และด้านการแตกหน่อพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ผลการศึกษาขั้นต้นควรรนำกกอียิปต์ไปปลูกในบึงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดเนื่องจากกกอียิปต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียในทุกตัวแปรที่ใกล้เคียงกับรูปฤาษีมาก แต่สามารถนำไปขายหรือแปรรูปได้หลากหลายกว่า

ตารางที่ 18 การเจริญเติบโตของกกอียิปต์ที่ได้จากการสังเกตในน้ำเสียที่มีค่าสารอินทรีย์และความเค็มต่างกัน

	น้ำเสีย: น้ำประปา	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	Salinity (mg/l)	การเจริญเติบโตของ พืช
สิ่งปลูก	ไม่เจือจาง	1120	2250	473	2464	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้นต้นมี ลักษณะคดงอ ปลาย ยอดมีลักษณะเหี่ยว เล็กน้อย
	50 : 50	545	957	225	1386	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้น
บ่อหมักโรงไร้อากาศ	ไม่เจือจาง	310	503	297	2534	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้น
	50 : 50	140	194	174	1407	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้น
บ่อฝัง	ไม่เจือจาง	191	375	105	2176	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้น
	50 : 50	73	197	54	1127	มีการแตกหน่อเพิ่มขึ้น ความสูงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 19 การเจริญเติบโตของกกอียิปต์ที่วัดจากความสูงและการแตกหน่อ

	ความสูงที่เพิ่มขึ้น (ซม.)					การแตกหน่อ (ต้น)				
	2*	4*	6*	8*	10*	2*	4*	6*	8*	10*
In <sup>1</sup>	3	5	7	7	8	2	13	10	12	19
Di <sup>2</sup>	5	6	6	8	7	5	12	12	10	20

หมายเหตุ \* ระยะเวลาในการทดลอง (สัปดาห์)

1 น้ำจากสิ่งปลูกก่อนเข้าระบบบำบัดแบบไม่เจือจางด้วยน้ำประปา

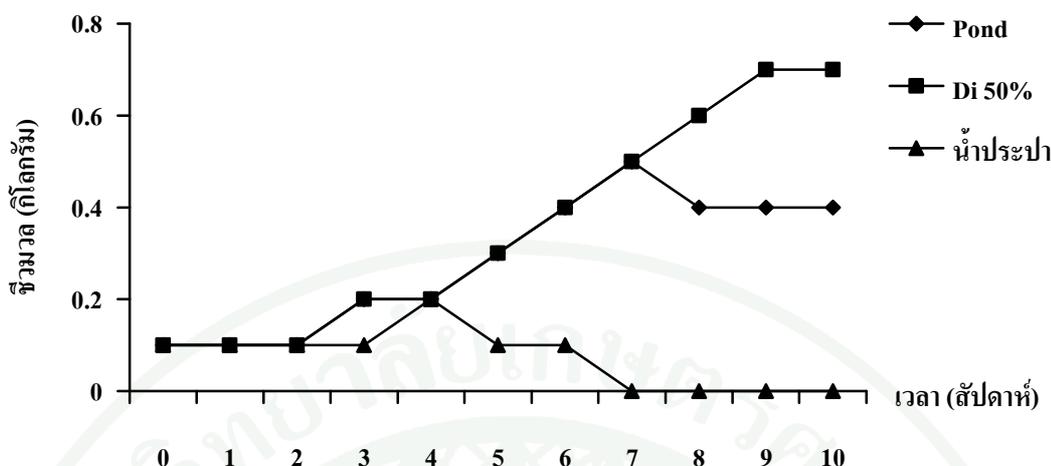
2 น้ำจากบ่อหมักโรงไร้อากาศแบบไม่เจือจางด้วยน้ำประปา

## 7.2 สภาพความคงทนของกะเจด

จากการศึกษาพบว่ากะเจดสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ดีในน้ำเสียที่นำมาจากบ่อฝิ่งที่มีค่าบีโอดี 191 mg/l และมีค่าความเค็ม 2176 mg/l แต่เมื่อนำไปทดลองในน้ำเสียจากบ่อหมักรางไร้อากาศที่มีค่าบีโอดี 310 mg/l และมีค่าความเค็ม 2534 mg/l พบว่ากะเจดไม่สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ แสดงว่าค่าความสกปรกของน้ำเสียนี้อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของกะเจด แต่ความเค็มไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกะเจด โดยเมื่อทดลองปลูกกะเจดในน้ำจากบ่อฝิ่งที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 133 – 213 mg/l พบว่าในสัปดาห์แรกมีการรากงอกขึ้นและมีการแตกยอดแต่ชีวมวลยังไม่เพิ่มขึ้น เมื่อทดลองเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์พบว่าชีวมวลเพิ่มขึ้นจาก 0.1 kg เป็น 0.2 kg เมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์พบว่าชีวมวลเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 kg แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 7 พบว่ากะเจดบางส่วนมีการเหี่ยวของใบและต้น ทำให้ชีวมวลของกะเจดลดลงเหลือ 0.4 kg ในสัปดาห์ที่ 10 และเมื่อทดลองปลูกในน้ำจากบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 107 - 182 mg/l พบว่าพบว่าในสัปดาห์แรกมีการรากงอกขึ้นและมีการแตกยอดแต่ชีวมวลยังไม่เพิ่มขึ้น เมื่อทดลองเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์พบว่าชีวมวลเพิ่มขึ้นจาก 0.1 kg เป็น 0.2 kg หลังจากการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่ากะเจดมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีชีวมวลถึง 0.7 kg เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของการเจริญเติบโตของกะเจดด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบการทดลองปลูกกะเจดในน้ำจากบ่อฝิ่ง และปลูกในน้ำที่ออกจากบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

ตารางที่ 20 การเจริญเติบโตของกะเจ็ดที่ได้จากการสังเกตในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและความเค็มต่างกัน

	อัตราการ เจริญ น้ำเสีย: น้ำประปา	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	Salinity (mg/l)	การเจริญเติบโต ของพืช
สิ่งปลูก	ไม่เจือจาง	1120	2250	473	2464	ตาย
	50 : 50	545	957	225	1386	มีการแตกยอด เล็กน้อย
บ่อหมักวางไร้อากาศ	ไม่เจือจาง	310	503	297	2534	ตาย
	50 : 50	140	194	174	1407	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกยอด เพิ่มขึ้น
บ่อฝัง	ไม่เจือจาง	191	375	105	2176	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกยอด เพิ่มขึ้น
	50 : 50	73	197	54	1127	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกยอด เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 43 การเจริญเติบโตของกบเขียดที่วัดจากชิวมวลเฉลี่ย

กบเขียดมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยมีความสามารถในการดูดของเสียและแร่ธาตุต่างๆ ทำให้น้ำเสียที่ไหลผ่านมีคุณภาพดีขึ้น โดยปิยนุช (2547) ได้มีการทดลองใช้กบเขียดบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำผักกบเขียดมาใช้บำบัดคุณภาพน้ำ แต่ต้องมีระดับชิวมวลของกบเขียดกับปริมาณน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อวัน

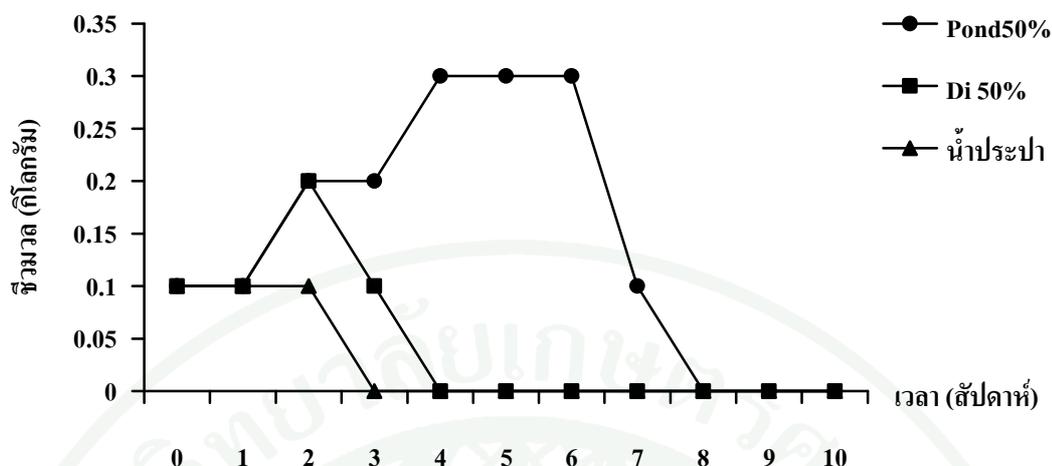
### 7.3 สภาพความคงทนของแพลงพวย

จากการศึกษาพบว่าแพลงพวยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่นำมาจากบ่อหมักโรงไรอากาศที่มีการเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ค่าบีโอดี 140 mg/l และมีค่าความเค็ม 1407 mg/l แต่เมื่อนำไปทดลองในน้ำจากสิ่งปลูกก่อนเข้าระบบที่มีการเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ค่าบีโอดี 545 mg/l และมีค่าความเค็ม 1386 mg/l พบว่าแพลงพวยไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี แสดงว่าที่ค่าความเค็มของน้ำใกล้เคียงกันแต่ค่าบีโอดีต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงพวย โดยเมื่อทดลองปลูกแพลงพวยในน้ำจากบ่อหมักโรงไรอากาศที่มีการเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 84 – 108 mg/l พบว่ามีการเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลา 6 สัปดาห์ ชิวมวลเพิ่มขึ้นจาก 0.1 kg เป็น 0.3 kg แต่เมื่อสัปดาห์ที่ 7 พบว่าแพลงพวยมีการตายบางส่วนและที่ 8 สัปดาห์แพลงพวยตายทั้งหมด และเมื่อทดลองปลูกแพลงพวยในน้ำจากบ่อหมักโรงไรอากาศที่มีการเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 50:50 ที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 142 – 167 mg/l พบว่ามีการเจริญเติบโตได้ดีในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ชิวมวลเพิ่มขึ้นจาก 0.1 kg เป็น 0.2 kg แต่เมื่อ

สัปดาห์ที่ 3 พบว่าแพลงพวยมีการตายบางส่วนและที่ 4 สัปดาห์แพลงพวยตายทั้งหมด ซึ่งจากการศึกษาขั้นต้นไม่ควรนำแพลงพวยไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

**ตารางที่ 21** การเจริญเติบโตของแพลงพวยที่ได้จากการสังเคราะห์ในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกและความเค็มต่างกัน

	อัตราการ เจริญ น้ำเสีย: น้ำประปา	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	Salinity (mg/l)	การเจริญเติบโต ของพีช
สิ่งปลูก	ไม่เจือจาง	1120	2250	473	2464	ตาย
	50 : 50	545	957	225	1386	ตาย
บ่อหมักรางไร้อากาศ	ไม่เจือจาง	310	503	297	2534	ตาย
	50 : 50	140	194	174	1407	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกยอด เพิ่มขึ้น
บ่อฝัງ	ไม่เจือจาง	191	375	105	2176	ตาย
	50 : 50	73	197	54	1127	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกยอด เพิ่มขึ้น



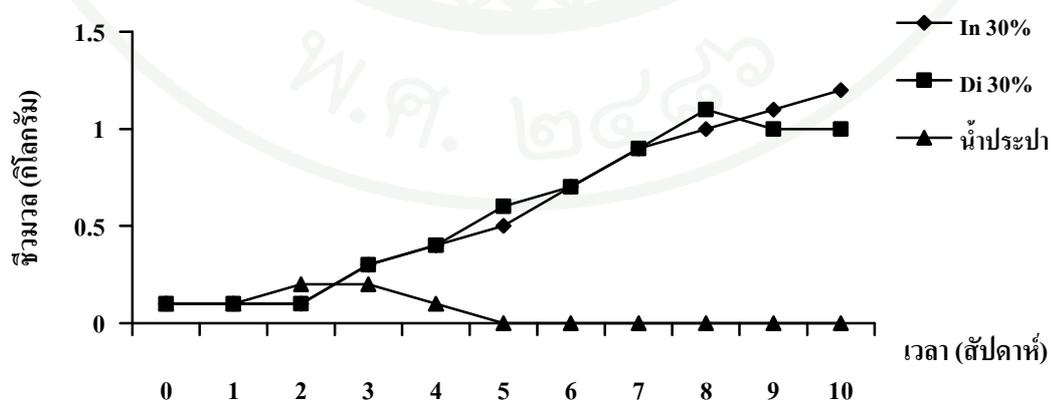
ภาพที่ 44 การเจริญเติบโตของแพลงพวยที่วัดจากชีวมวลเฉลี่ย

#### 7.4 สภาพความคงทนของผักตบชวา

จากการศึกษาพบว่าผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีการเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 30:70 ที่มีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 918 – 976 mg/l และสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีค่าบีโอดีเท่ากับ 376 mg/l แต่เมื่อทดลองในน้ำที่มีความเค็ม 1127 mg/l และมีค่าบีโอดีเท่ากับ 73 mg/l พบว่าผักตบชวาไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แสดงว่าความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของผักตบชวา โดยผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียที่มีค่าความเค็มต่ำกว่า 1127 mg/l โดยเมื่อทดลองปลูกผักตบชวาในน้ำจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 30:70 ที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 349 – 383 mg/l พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของชีวมวลเมื่อสัปดาห์ที่ 3 และเมื่อถึง 10 สัปดาห์พบว่าการเพิ่มขึ้นของชีวมวลถึง 1.2 kg จากชีวมวลเริ่มต้นในการทดลอง 0.1 kg และเมื่อทดลองปลูกผักตบชวาในน้ำจากบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 30:70 ที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 71 – 121 mg/l พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของชีวมวลเมื่อสัปดาห์ที่ 3 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 พอถึงสัปดาห์ที่ 9 พบว่าผักตบชวาบางส่วนมีการเหี่ยวของใบและต้นทำให้ชีวมวลลดลง เมื่อทำการทดสอบความแตกต่างของการเจริญเติบโตของกะเจ็ดด้วยวิธีทางสถิติ เปรียบเทียบการทดลองปลูกผักตบชวาในน้ำจากจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 30:70 และปลูกในน้ำจากบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน 30:70 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ตารางที่ 22 การเจริญเติบโตของผักตบชวาที่ได้จากการสังเคราะห์ในน้ำเสียที่มีค่าความสกปรก  
และความเค็มต่างกัน

	อัตราการ เจือจาง น้ำเสีย: น้ำประปา	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TKN (mg/l)	Salinity (mg/l)	การเจริญเติบโต ของพืช
สิ่งปลูก	ไม่เจือจาง	1120	2250	473	2464	ตาย
	50 : 50	545	957	225	1386	ตาย
	30 : 70	376	547	146	954	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกกอ
บ่อหมักวางไร้อากาศ	ไม่เจือจาง	310	503	297	2534	ตาย
	50 : 50	140	194	174	1407	ตาย
	30 : 70	87	172	121	976	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกกอ
บ่อฝิ่ง	ไม่เจือจาง	191	375	105	2176	ตาย
	50 : 50	73	197	54	1127	ตาย
	30 : 70	45	175	93	918	เจริญเติบโตได้ดี มีการแตกกอ



ภาพที่ 45 การเจริญเติบโตของผักตบชวาที่วัดจากชีวมวลเฉลี่ย



(เริ่มต้นปลูก)



(ปลูกในน้ำเสียจากบ่อฝิ่ง 1 และ 2 สัปดาห์)



(ปลูกในน้ำเสียจากบ่อหมักไร้อากาศ 1 และ 10 สัปดาห์)



(ปลูกในสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด 1 และ 10 สัปดาห์)

ภาพที่ 46 การเจริญเติบโตของกกอีิปต์ในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล



(เริ่มต้นปลูก)

(นำเสียบจากบ่อฝิ่ง 1 สัปดาห์)

(นำเสียบบ่อฝิ่ง 2 สัปดาห์)



(นำเสียบบ่อหมักรางไร้อากาศไม่เจือจาง 2 สัปดาห์ และนำเสียบจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ 1 สัปดาห์)



(นำเสียบจากบ่อฝิ่งไม่เจือจาง และจากบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปา 50 % 10 สัปดาห์)

ภาพที่ 47 การเจริญเติบโตของกะเจตในน้ำเสียบจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล



(น้ำเสียจากบ่อฝิ่ง 1 สัปดาห์)



(น้ำเสียจากบ่อฝิ่งเจือจางด้วยน้ำประปา 50 : 50 ระยะเวลา 5 และ 7 สัปดาห์ )



(น้ำเสียจากบ่อหมักทรงไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปา 50 : 50 ระยะเวลา 2 และ 3 สัปดาห์ )

ภาพที่ 48 การเจริญเติบโตของแพลงพวยในน้ำเสียจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล



(น้ำเสียนจากบ่อฝิ่งไม่เจือจาง)



(น้ำเสียนจากบ่อฝิ่งและบ่อหมักรางไร้อากาศเจือจางด้วยน้ำประปา 30:70 ระยะเวลา 10 สัปดาห์)



(น้ำเสียนจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบเจือจางด้วยน้ำประปา 30:70 ระยะเวลา 8 และ 10 สัปดาห์)

ภาพที่ 49 การเจริญเติบโตของผักตบชวาในน้ำเสียนจากระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระยะเวลาเก็บกักในถุฝนของระบบบำบัดเท่ากับ 25 วัน โดยบ่อหมักรางไร้อากาศมีระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน บ่อฝิ่งและบึงประดิษฐ์ซึ่งเป็นระบบบำบัดขั้นหลังมีระยะเวลาเก็บกัก 21 วัน ส่วนในถุดูแล้งระยะเวลาเก็บกักของระบบบำบัดเท่ากับ 43 วัน โดยบ่อหมักรางไร้อากาศมีระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน บ่อฝิ่งและบึงประดิษฐ์มีระยะเวลาเก็บกัก 36 วัน

2. จากการศึกษาลักษณะของสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดพบว่ามีความบีโอดีอยู่ในช่วง 225 – 1275 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 847.2 mg/l ซีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 528 – 3481 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 1639.3 mg/l ทีเคเอ็นมีค่าอยู่ในช่วง 74 – 526 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 319.2 mg/l ของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ในช่วง 30 - 950 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 484.3 mg/l ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 70 – 1860 mg/l เฉลี่ยเท่ากับ 997.9 mg/l ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.3 – 8.05 เฉลี่ยเท่ากับ 7.7 และมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 0.6 – 3.26 ppt เฉลี่ยเท่ากับ 2.2 ppt

3. จากประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักรางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์พบว่ามีความมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 82, 79, 39, 59 และ 21 ตามลำดับ

4. การศึกษาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศพบว่า มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 1 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 62 มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นจากบ่อหมักรางไร้อากาศบ่อที่ 2 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 61

5. การทดสอบความคงทนของพืชภายใต้สภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูง พบว่ากกอีเป็ดสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็มสูงถึง 2464 mg/l และค่าบีโอดี 1120 mg/l ผักกะเฉดสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียที่มีความเค็ม 2534 mg/l และค่าบีโอดี 310 mg/l และผักตบชวาพบว่า

สามารถเจริญเติบโตในน้ำเสียที่มีค่าความเค็ม 954 mg/l ค่าบีโอดี 376 mg/l ส่วนแพงพวยพบว่าสามารถเจริญเติบโตได้แค่ 7 สัปดาห์

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดเชื้อโรคของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบบ่อหมักวางไร้อากาศร่วมกับบึงประดิษฐ์
2. นำพืชลอยน้ำที่สามารถทนอยู่ได้ในสภาวะน้ำเสียที่มีความเค็มสูงไปปลูกในบ่อฝังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัด
3. ควรเพิ่มขึ้นตอนการบำบัดค่าของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในระบบบำบัด เช่นเพิ่มระบบการกรองก่อนปล่อยทิ้งลงสู่ธรรมชาติ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์. 2541. **วิศวกรรมประปา**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย**, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **การจัดการน้ำเสียสำหรับวัดในพระพุทธศาสนา**, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. **คู่มือการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ**, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. **โครงการพัฒนาแนวทางด้านเทคนิคและสาธิตระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์**. แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th>, 30 พฤศจิกายน 2552.
- กรมประมง. 2538. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย**, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- กรมอนามัย. 2549. **คู่มือการจัดการสิ่งปฏิกูลแบบครบวงจรตามแนวพระราชดำริ**.
- กรมอุตุนิยมิวิทยา. 2551. **รายงานอุตุนิยมิวิทยาการเกษตร**. เดือน เมษายน 2551 – มีนาคม 2552.
- ชัยศรี สุขสาโรจน์. 2545. **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูลจากบ้านเรือน โดยดึงหมักไร้อากาศ และลานตากตะกอน กรณีศึกษาสิ่งปฏิกูลจากโรงบำบัดของเทศบาลนครสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นริรัตน์ แม่นทิม. 2552. **ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลในการกำจัดจุลินทรีย์และปรสิต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรจง วรรณพงษ์ และ อนเนก ก้านสังวร. 2537. ระบบบำบัดน้ำเสีย. รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการ การกำหนดแนวทางการศึกษาและวิจัย การจัดการการนำของเสียจากชุมชนของเทศบาลเมืองเพชรบุรี. น. 233 – 247. ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคฝักเบี้ยว อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ หลุยเจริญ. 2551. รายงานการสัมมนา เรื่อง การจัดการสิ่งปฏิกูลอย่างยั่งยืน. ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ. 15 – 16 พฤษภาคม 2551.

ปิยนุช บุญศิริชัย. 2547. การศึกษาความเป็นไปของการบำบัดคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยใช้ฝักกะเจด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาบริหารศาสตรบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

พัฒนา มุลพฤกษ์. 2541. **อนามัยสิ่งแวดล้อม**. เอ็ม. เอ็ส. แอล. พรินติ้ง. กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2538. **โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน เล่ม 3**.

สำนักรักษาความสะอาด. 2547. **โรงงานบำบัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช**. กรุงเทพมหานคร.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. **ฐานข้อมูลเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ**. แหล่งที่มา: <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/documents/MC-UASB1.pdf>, 10 พฤศจิกายน 2552.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2550. **เทคโนโลยีน้ำเสีย**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุมน มาสุธน, สุชาดา ศรีเพ็ญ, จันทนา สุขปรีดี, สมบัติ ชิมะวงศ์ และ สมศักดิ์ เจริญวัย. 2537. การศึกษาเบื้องต้นในการคัดเลือกชนิดพืชบำบัดน้ำเสีย. **โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภาคฝักเบี้ยวอันเนื่องมาจากพระราชดำริ**. 2549.

อานัฐ ตันโช. 2552. การประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่อง ส้วมไทย หัวใจธรรมชาติ เพื่อลดภาวะโลกร้อน. ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ. 30 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2552.

เอมอชฌา(รัตนรัมจง) วัฒนบูรานนท์. 2549. **วิทยาศาสตร์สุขภาพ. คณะครูศาสตร์**  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

Ajan K. Kalia. 1988. Development and evaluation of a fixed dome anaerobic digester. **Biomass.**  
16(1998) 225-235.

APHA, AWWA and WEF. 1992. **Standard methods of examination of water and  
wastewater.**18th ed. American Pubic Health Association. Washington, DC.

Barker, H. A. 1956. Biological Formation of Methane. **Ind. Eng. Chem.** 48(9) : 1438-1443.

Bartsch, E. H. and C. W. Randall. 1971. Aerated lagoons a report on the stage of art. J.  
WPCF. 43(4) : 699. Cited by S. J. Arceivala. **Simple Waste Treatment Methods.**  
Middle. East Technical University.

Blum, D. and Feachem, R. G. 1985. Health aspects of night soil and sludge use in agriculture and  
aquaculture-Part III: An Eqidemiological Perspective. International Reference Centre for  
Waste Disposal (now SANDEC), Duebendorf, Switzerland. Report no. 05/85.

Chiu-Yue Lin and Jen Chou. 1997. Aerobic digestion of septage. **Bioresource Technology**  
64(1998)219-224.

Chiu-Yue Lin, Feng-Yi Bian and Jen Chou. 1998. Anaerobic co-digestion of septage and landfill  
leachate. **Bioresource Technology** 68 (1999) 275-282.

Chiu-Yue Lin and Yu-Sheng Lee. 2001. Effect of thermal and chemical pretreatment on anaerobic  
ammonia removal in treating septage using the UASB system. **Bioresource Technology**  
83(2002) 259-261.

- Cross, P. 1985. Health Aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture-Part I: Existing Practices and Beliefs in the Utilisation of human Excreta. International Reference Centre for Waste Disposal (now SANDEC), Duebendorf, Switzerland. Report no. 04/85.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1984. **Updated Guidebook on Biogas Development**. Energy Resource development Series No. 27. New York : United Nation.
- Edwards, P. 1992. Reuse of human waste in aquaculture – a technical review. UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, **Water and Sanitation Report**. No.2.
- Heinss U., Kootatep T. 1998. “Use of Reed Beds for ofaecal Sludge dewatering” Diss. EAWAG/AIT.
- Heukelekian, H. and Heinemann, B. 1939. Studies on the methane producing bacteria II enumeration in the digesting sewage Solids. *J. New. Work.* 11(3) : 436-444.
- Holmqvist, A., Stenstrom, T. A. 2002. Survival of ascaris suum ova, indicator bacteria and salmonella typhimurium phage 25 B in mesophilic composting of household waste. **Eco San Res:** 1–6.
- Jinadasa, K. B. S. N., N. Tanaka, S. Sasikala, D. R. I. B. Werellagama, M. I. M. Mowjood, W. J. Ng. 2008. Impact of harvesting on constructed wetlands performance—a comparison between *Scirpus grossus* and *Typha angustifolia*. **Journal of Environmental Science and Health.** 43(6): 664 – 671.
- Jinadasa, K. B. S. N., N. Tanaka, M. I. M. Mowjood and D. R. I. B. Werellagama. 2006. Free water surface constructed wetlands for domestic wastewater treatment: A tropical case study. **Chemistry and Ecology.** 22: 181 – 191.

Joseph, A., Salvato, Jr. 1982. **Environmental Engineering and Sanitation.**

Juan Antonio Álvarez and Eloy Bécares. 2008. The Effect of Plant Harvesting on the Performance of a Free Water Surface Constructed Wetland. **Environmental Engineering Science.** 25(8): 1115-1122.

Kaiga, N., H. Kashiwabara, O. Takase and S. Suzuki. 1984. Use of ozone in night soil treatment process. **Ozone: Science and Engineering.** 6: 185-195

Kanwar, S. S., R. K. Gupta, R. L. Guleri and S.P. Singh. 1994. Performance evaluation of a 1 m<sup>3</sup> modified, fixed-dome Deenbandhu biogas plant under hilly conditions. **Bioresource Technology** 50(1994) 239-241.

Kazimi, M. A. 1979. Factors affecting pond performance. M. S. thesis. Asian Institute of Technology, Bangkok.

Klingel, F., Montangero, A., Kone, D., Strauss, M. 2002. Fecal sludge Management in Developing Countries : A planning manual.

Lokendra Singh, M. S. Maury, K. V. Ramada and S. I. Alam. 1995. Production of biogas from night soil at psychrophilic temperature. **Bioresource Technology** 53(1995)147-149.

Mahamad Yani, Mistsuyo Hirai and Makoto Shoda. 1998. Removal kinetics of ammonia by Peat Biofilter seed with night soil sludge. **Jounal of fermentation and Bioengineering.** 85(5): 502-506.

Mara, D. D. 1987. Sewage Treatment in Hot Climates. **The Pitman Press.** Scotland.

Matsuo Takayoshi. 1999. Study on the performance of night soil treatment process with ultrafiltration. **Balletin of National Institute of Public Health.** Vol.48: 262-263.

- McCarty, P. L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamental Part 1. 2. 3. 4.  
Public Works. 95(9): 107-115
- Metcalf and Eddy. 1991. **Wastewater Engineering** : Treatment, Disposal, and Reuse. 3<sup>rd</sup> ed.  
International Edition. McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Mether, K. K., M. V. S. Murthy and K. G. Gollakota. 1994. Phychrophillec anaerobic digestion of  
human waste. **Bioresource Technology** 50(1994) 103-106.
- Okurat, T. O., Rijs, G. B. J. and van Bruggen, J. I. A. 1999. Design and performance of  
experimental constructed wetlands in Unganda, planted with *Cyperus papyrus* and  
*Phragmites mauritianus*. **Water Science and Technology** 40(3): 265-271.
- Orth, H. M. and D.P. Sapkota. 1988. Operating a facultative pond by implanting water hyacinth.  
**Water Research** 22(1988)1503-1511.
- Pescod, M. B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO irrigation and Drainage  
paper 47. Food and Agriculture Organization of The United Nation, Rome. 125p.
- Reed, S. C., Middle brooks, E. J. and Crites, R. W. 1988. Natural System for Waste Management  
and Treatment, McGraw-Hill Inc., New York.
- SANDEC Report No. 5. 1998. Solid separation and pond systems for treatment of fecal sludge in  
the tropics. Secon ed. June, pp. 3-7,33-39.
- Santaram, S., Oinam, Yashwant, S., Rawat, Jagdish, C., Kuniyal, S. C. R. Vishvakarma and  
Dinesh, C. Pandey. 2007. Thermal supplementing soil nutrients through biocomposting  
of night-soil in the northwestern Indian Himalaya. **Waste Management**  
28(2008)1008-1009.

- Sawyer, C. N., P. L. McCarty and G. F. Parkin. 1994. **Chemistry for Environmental Engineering**. 4<sup>th</sup> ed. Mc Graw-Hill Inc, New York, United State of America, 583p.
- Seni Karnchanawong and Jaras Sanjitt. 1995. Comparative study of domestic wastewater treatment efficiencies between facultative pond and water spinach pond. **Water Science and Technology** 32(1995)263-270.
- Singh, L., M. S. Maury, M. Sai Ram and S.I. Alam. 1993. Biogas production from night soil effect of loading and temperature. **Bioresource Technology** 45(1993)59-61.
- Shuval, HI., Adin, A., Fattal, B. and et al. 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries- Health Effects and Technical Solutions. Integrated Resource Recovery. UNDP Project Management Report No. 6, World Bank Technical Paper No. 51.
- Stephanie Lansinga, Jay, F. Martinb, Raúl Botero Boteroc, Tatiana Nogueira da Silvac and Ederson Dias da Silvac. 2010. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease **Bioresource Technology** 101(2010) 4362-4370.
- Stephanie Lansinga, Joaquín Víquezb, Helen Martínezc, Raúl Boterod and Jay Martin. 2008. Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system. **Ecological Engineering**. 34(2008)332-348.
- Strauss, M., Heinss, U. and Montangero, A. 2000. On-site sanitation: When the pits are Full- Planning for Resource Protection in Faecal Sludge Management. In: Proceedings, Int. Conference, Bad Elster, 20-24 Nov.
- Suwannakarn, V. and E. F. Gloyana. 1964. Effect de la temperature an en el tratamiento de aguas residual es mediante es tangues de estabilization. Pp.56. Cited by E. F. Gloyana Waste stabilization Ponds. World Health Organization, Geneva. 175p.

- Takao Misaki and Kensuke Matsui. 1996. Night soil treatment system equipped with ultrafiltration. **Desalination** 106:63-70
- Timmer, L. 1999. Gestion des excrements humains et leur utilization comme fertilisant pour l'agriculture dans la zone de Niono, Mali. Royal Tropical Institute, Amsterdam; Alphalog-Mali and CRRA-Mali.
- Timmer, L. and Visker, C. 1998. Possibilities and impossibilities of use of human excreta as fertilizer in agriculture in sub-Saharan Africa. Royal Tropical Institute and University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
- Tsuzuki, Yoshiaki . 2009. On-Site Treatment System in the Wastewater Treatment Plants (WWTPs) Service Areas in Thailand: Scenario-Based Pollutant Load Estimation. **Jounal of Global Environmental Engineering**, Vol.14, 2009.
- USAID. 2008. Sanitation Technology Information Sheet Septage Treatment. Phillipine Sanitation Alliance.
- USEPA. 1984. Handbook: **Septage Treatment and disposal**. Municipal Environment Research labrtory. Cincinnati, Ohio. EPA-625/6-84-009.
- USEPA. 1988. Design Manual. **Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment**. Office of Research and Development. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio. EPA-625/1-88-022.
- USEPA. 1994. **Guide to Septage Treatment and Disposal**. Washington: Office of Research and Deveopment.
- USEPA. 1995. Process Design Manual. **Surface Disposal of Sewage Sludge and Domestic Septage**. Washington: Office of Research and Deveopment.

Visker, C. 1998. Utilisation des excreta comme fertilisant dans l'agriculture an zones urbaines et peri-urbaines de Bamako, Mali. Royal Tropical Institute, Amsterdam and Cabinet d'Etudes Keita- Saba/UWEP-Mali, Bamako, Mali.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Green, M. B. and Haberl, R. 1998. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe**. Leiden : Backhuys Publishers.

Waterlink USAID. 2010. A Rapid Assessment of Septage Management in Asia Policies and Practices in India, Indonesia, Malaysia, The Philippines, Sri Lanka, Thailand, and Vietnam.

Xanthoulis, D. and Strauss, M. 1991. Reuse of Wastewater in agriculture at Ouazazate, Morocco (Project UNDP/FAO/WHO MOR 86/018). Unpublished mission reports.



ภาคผนวก

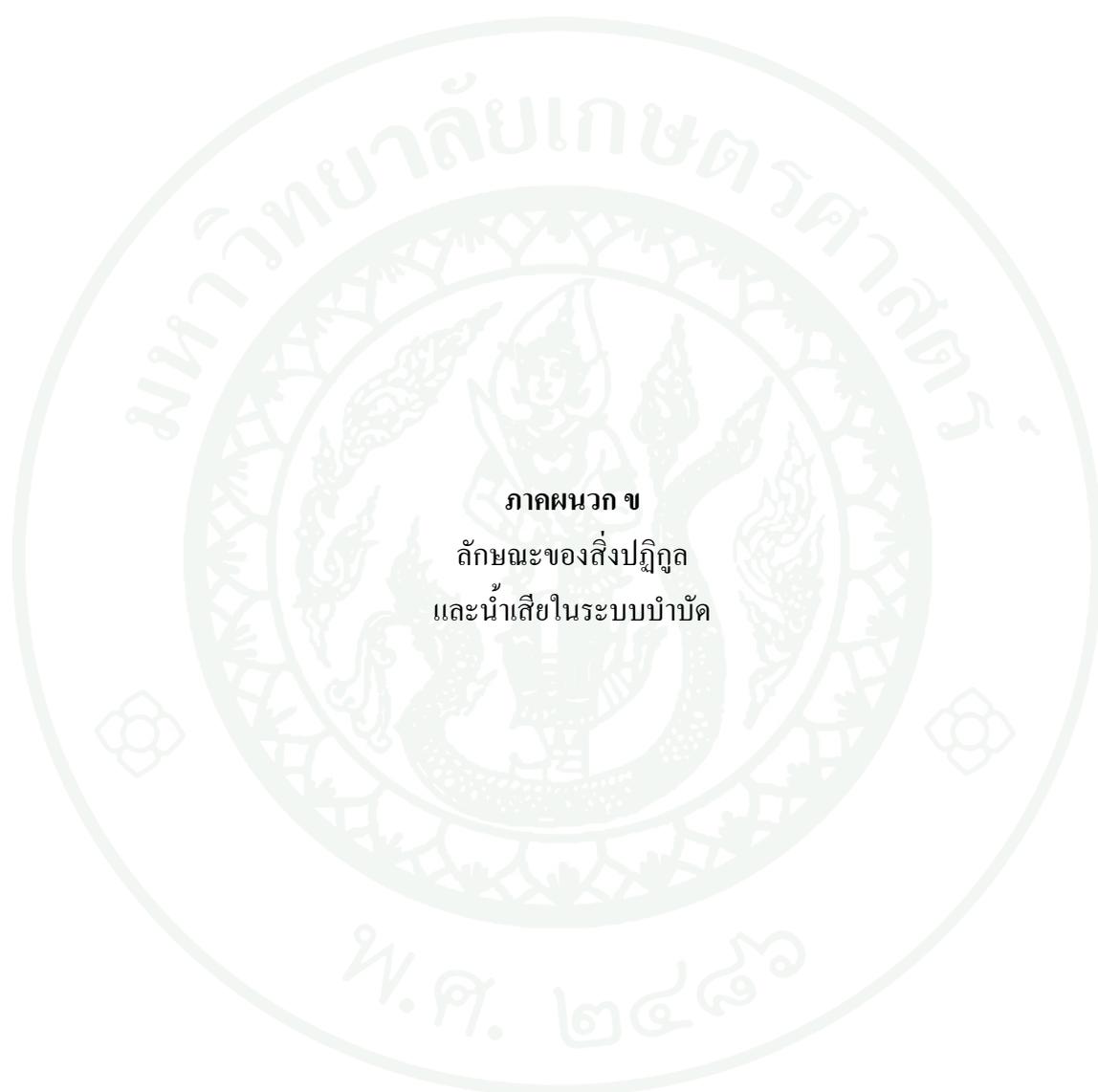


ตารางผนวกที่ ก1 สรุปลักษณะอากาศรายเดือน

เดือน	อุณหภูมิอากาศ (C°)						ฝน				ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด (%)
	สูงสุดเฉลี่ย	สูงที่สุด	ต่ำสุดเฉลี่ย	ต่ำที่สุด	เฉลี่ย	สูงหรือต่ำกว่าค่าปกติ	ฝนรวม (มม.)	สูงหรือต่ำกว่าปกติ	สูงที่สุดใน 24 ชม.	จำนวนวันที่มีฝนตก				
เม.ย. 51	34.6	37.0	25.3	23.5	29.2	-0.3	91.4	6.9	60.2	8	91	60	76	48
พ.ค. 51	33.5	35.5	25.6	23.0	29.0	0.0	79.1	-114.5	31.5	11	89	64	78	47
มิ.ย. 51	33.2	35.7	25.0	22.0	28.7	0.0	254.6	109.0	55.0	16	91	65	79	55
ก.ค. 51	32.4	34.0	24.3	22.0	28.1	-0.3	261.4	123.8	49.6	19	93	65	80	35
ส.ค. 51	33.0	35.0	25.5	23.5	28.4	0.2	64.9	-65.2	20.3	15	91	64	79	54
ก.ย. 51	31.8	33.5	24.7	21.5	27.6	0.0	273.9	32.8	50.3	19	93	66	82	52
ต.ค. 51	32.5	34.3	24.2	22.1	27.2	-0.2	344.5	100.1	68.1	22	95	68	84	56
พ.ย. 51	30.9	33.7	22.8	19.5	26.2	-0.8	49.0	-34.5	1° 5	7	84	58	72	45
ธ.ค. 51	31.9	34.4	21.3	18.8	25.7	-0.5	0.0	-12.1	)	0	79	43	63	36

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เดือน	อุณหภูมิอากาศ (C°)							ฝน							
	สูงสุดเฉลี่ย	สูงที่สุด	ต่ำสุดเฉลี่ย	ต่ำที่สุด	เฉลี่ย	สูงหรือต่ำกว่าค่าปกติ	ฝนรวม (มม.)	สูงหรือต่ำกว่าปกติ	สูงที่สุดใน 24 ชม.	จำนวนวันที่มีฝนตก	ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด (%)	
ม.ค. 52	31.3	33.5	20.3	15.4	25.0	-1.3	0.0	-24.0	0.0	0	80	45	64	30	
ก.พ. 52					27.6	-0.2	18.2	-26.5							
มี.ค. 52					28.4	-0.6	60.6	-61							



ภาคผนวก ข  
ลักษณะของสิ่งปฏิภูม  
และน้ำเสียในระบบบำบัด

ตารางผนวกที่ ข1 ลักษณะสมบัติ pH ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	7.89	7.33	7.36	7.68	7.75	7.98	8.05	8.13
2	21/04/51	7.54	7.38	7.3	7.73	7.89	8.09	8.19	8.28
3	28/04/51	7.65	7.57	7.31	7.83	7.85	8.01	8.14	8.15
4	12/05/51	7.59	7.54	7.43	7.89	7.91	8.02	8.11	8.14
5	21/05/51	7.4	7.76	7.57	7.87	8	8.11	8.18	8.19
6	30/05/51	7.82	7.82	7.51	7.85	7.43	7.99	6.98	7.98
7	10/06/51	7.51	7.32	7.33	7.74	7.8	8	7.58	8.03
8	17/06/51	7.73	7.67	7.69	7.99	7.85	7.94	7.94	7.92
9	02/07/51	7.63	7.36	7.48	7.85	7.73	7.88	7.87	8.04
10	09/07/51	7.68	7.44	7.45	7.69	7.7	7.8	7.85	7.82
11	21/07/51	7.49	7.25	7.3	7.65	7.7	7.86	7.87	7.95
12	28/07/51	7.74	7.48	7.38	7.67	7.68	7.85	7.84	7.87
13	05/08/51	7.72	7.67	7.68	7.78	7.8	7.87	7.81	7.79
14	20/08/51	7.65	7.40	7.33	7.65	7.66	7.82	7.87	7.80
15	27/08/51	7.73	7.32	7.30	7.64	7.69	7.88	7.84	6.63
16	03/09/51	8.05	7.38	7.33	7.78	7.78	7.96	7.99	7.96
17	10/09/51	7.30	7.34	7.28	7.64	7.73	7.83	7.81	7.98
18	17/09/51	7.46	7.35	7.24	7.66	7.71	7.89	7.94	8.00
19	24/09/51	7.53	7.62	7.59	7.82	7.87	8.04	8.08	8.09
20	02/10/51	7.64	7.34	7.36	7.67	7.73	7.82	7.94	8.02
21	09/10/51	7.71	7.32	7.27	7.61	7.65	7.72	7.75	7.78
22	16/10/51	7.72	7.35	7.39	7.67	7.74	7.77	7.85	7.92
23	27/10/51	7.69	7.29	7.34	7.38	7.51	7.67	7.69	7.82
24	03/11/51	7.89	7.43	7.56	7.69	7.73	7.89	8.02	8.13
25	10/11/51	7.55	7.42	7.39	7.78	7.95	8.09	8.29	8.28

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	7.65	7.47	7.51	7.73	7.84	8.23	8.04	8.12
27	24/11/51	7.85	7.42	7.47	7.99	7.67	7.82	8.04	7.92
28	30/11/51	7.42	7.53	7.51	7.76	7.74	7.84	7.87	8.07
29	07/12/51	7.83	7.46	7.52	7.77	7.89	7.92	7.93	8.02
30	14/12/51	7.83	7.35	7.45	7.88	7.93	7.89	7.94	7.95
31	21/12/51	7.77	7.7	7.68	7.93	8.09	8.03	8.18	8.2
32	28/12/51	-	7.32	7.37	7.63	7.71	7.73	7.73	7.95
33	04/01/52	7.65	7.32	7.21	7.67	7.7	7.96	7.87	8.03
34	11/01/52	7.73	7.64	7.64	7.82	7.88	8.03	8.21	8.2
35	18/01/52	7.87	7.45	7.63	7.79	7.93	7.83	7.93	7.91
36	25/01/52	7.33	7.47	7.32	7.67	7.83	7.79	8.11	8.05
37	01/02/52	7.56	7.56	7.56	7.76	7.83	7.92	7.87	8.1
38	08/02/52	7.83	7.45	7.32	7.86	7.89	7.87	7.92	7.98
39	15/02/52	7.62	7.21	7.32	7.67	7.79	7.89	7.92	7.95
40	22/02/52	7.45	7.35	7.54	7.56	7.69	7.83	7.95	7.98
41	01/03/52	7.78	7.31	7.42	7.78	7.78	7.84	7.89	8.02
42	08/03/52	7.83	7.39	7.36	7.62	7.67	7.87	7.92	7.98
43	15/03/52	7.87	7.34	7.37	7.65	7.69	7.82	7.98	8.12

ตารางผนวกที่ ข2 ลักษณะสมบัติ Salinity ของสิ่งปลูกและน้ำเสีย (หน่วย ppt)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	2.59	2.70	2.68	2.48	2.42	2.17	2.18	2.14
2	21/04/51	1.66	1.90	1.90	1.65	1.70	1.48	1.37	1.43
3	28/04/51	3.17	2.21	2.32	2.01	2.06	1.95	1.79	1.86
4	12/05/51	2.13	2.10	2.29	2.00	1.96	1.89	1.83	1.85
5	21/05/51	1.69	1.91	1.89	1.63	1.70	1.48	1.39	1.43
6	30/05/51	1.37	1.87	2.37	1.67	1.70	2.05	2.06	2.03
7	10/06/51	1.11	2.79	2.85	2.54	2.46	2.16	2.19	2.29
8	17/06/51	1.18	2.40	2.43	2.13	1.91	1.93	1.83	1.84
9	02/07/51	1.48	2.81	2.58	2.27	2.16	1.96	1.88	1.77
10	09/07/51	1.43	2.45	2.48	1.97	2.16	1.90	1.85	1.70
11	21/07/51	2.36	2.56	2.52	2.02	2.00	1.75	1.71	1.58
12	28/07/51	2.60	2.66	2.63	2.34	2.28	1.94	1.93	1.61
13	05/08/51	2.37	2.39	2.39	2.07	2.08	1.76	1.77	1.48
14	20/08/51	3.25	2.65	2.69	2.18	2.16	1.91	1.84	1.81
15	27/08/51	2.58	2.98	2.95	2.42	2.35	2.05	1.97	1.85
16	03/09/51	1.55	2.46	2.56	2.27	2.29	2.06	2.01	1.98
17	10/09/51	0.94	2.56	2.49	2.05	2.09	1.95	1.89	1.88
18	17/09/51	0.98	2.56	2.61	2.02	2.06	1.83	1.77	1.72
19	24/09/51	0.60	2.38	2.44	2.12	2.15	1.86	1.81	1.80
20	02/10/51	3.24	2.64	2.67	2.28	2.21	2.14	2.08	2.08
21	09/10/51	2.62	2.71	2.66	2.46	2.47	2.22	2.19	1.91
22	16/10/51	3.26	2.58	2.54	2.37	2.12	1.92	1.83	1.83
23	27/10/51	1.53	2.70	2.66	2.47	2.36	2.12	1.96	1.87
24	03/11/51	2.65	2.49	2.56	2.22	2.18	2.10	1.95	1.92
25	10/11/51	3.26	2.67	2.60	2.36	2.22	2.19	2.21	2.05

## ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	2.44	2.95	2.89	2.50	2.35	2.38	2.20	2.17
27	24/11/51	0.94	2.55	2.56	2.34	2.29	2.30	2.08	2.11
28	30/11/51	2.98	2.63	2.67	2.32	2.40	2.18	2.09	2.05
29	07/12/51	3.26	2.63	2.60	2.16	2.28	2.24	2.09	2.00
30	14/12/51	3.00	2.53	2.54	2.49	2.33	2.17	2.16	2.08
31	21/12/51	2.46	2.48	2.49	2.46	2.31	2.28	2.21	2.21

ตารางผนวกที่ ข3 ลักษณะสมบัติ BOD ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย (หน่วย มก./ล.)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	925.0	220.0	260.0	182.5	155.0	150.0	145.0	145.0
2	21/04/51	1175.0	240.0	270.0	227.5	140.0	135.0	252.5	195.0
3	28/04/51	1000.0	147.5	225.0	175.0	107.5	175.0	197.5	207.5
4	12/05/51	800.0	185.0	215.0	195.0	160.0	140.0	150.0	126.0
5	21/05/51	1100.0	145.0	155.0	140.0	180.0	140.0	155.0	185.0
6	30/05/51	660.0	160.0	165.0	135.0	265.0	145.0	120.0	114.0
7	10/06/51	502.0	127.0	154.0	146.0	346.0	149.0	141.0	143.5
8	17/06/51	510.5	156.0	142.0	147.5	131.5	129.0	117.0	105.5
9	02/07/51	450.0	165.0	212.5	172.5	157.5	130.0	142.5	177.5
10	09/07/51	330.0	217.5	257.5	125.0	105.0	175.0	108.0	117.0
11	21/07/51	400.0	197.5	150.0	160.0	115.0	167.5	147.5	190.0
12	28/07/51	400.0	117.5	150.0	162.5	140.0	170.0	132.5	170.0
13	05/08/51	400.0	170.0	112.5	185.0	157.5	202.5	172.5	165.0
14	20/08/51	980.5	172.5	190.0	187.0	165.5	160.0	162.5	155.0
15	27/08/51	875.0	189.0	210.0	225.0	189.0	177.0	180.0	163.5
16	03/09/51	380.0	205.0	165.0	197.5	195.0	197.5	205.0	142.5
17	10/09/51	350.0	260.0	142.5	172.5	122.5	160.0	120.0	172.5
18	17/09/51	310.0	185.0	182.5	272.5	147.5	170.0	142.5	152.5
19	24/09/51	225.0	170.0	210.0	102.5	137.5	150.0	147.5	137.5
20	02/10/51	925.0	216.5	243.5	233.0	212.0	198.5	187.0	143.5
21	09/10/51	1070.0	236.5	245.0	267.0	198.0	201.0	198.0	145.5
22	16/10/51	785.5	195.0	197.5	182.5	165.5	175.0	156.0	160.0
23	27/10/51	1075.0	197.5	205.0	215.0	167.5	159.0	142.0	114.0
24	03/11/51	870.5	205.5	198.5	200.0	185.5	167.0	165.0	150.5
25	10/11/51	775.0	245.0	206.5	207.5	197.5	187.0	180.0	185.5

## ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	1085.0	289.0	300.0	298.0	208.5	198.5	186.0	167.5
27	24/11/51	890.0	306.5	287.5	302.0	245.0	240.0	207.0	178.0
28	30/11/51	1275.0	285.0	260.0	255.0	149.0	191.0	172.5	156.0
29	07/12/51	980.0	350.0	310.0	298.0	275.5	235.0	245.0	217.5
30	14/12/51	1250.0	310.0	330.0	320.0	285.0	265.0	305.0	212.0
31	21/12/51	1120.0	325.0	345.0	289.0	315.0	298.0	260.0	189.0
32	28/12/51	1000.0	298.0	275.0	280.0	275.0	220.0	256.0	176.5
33	04/01/52	1027.0	298.0	310.0	298.0	255.0	225.0	245.0	198.0
34	11/01/52	1170.5	312.5	305.0	277.5	212.0	177.5	180.0	147.5
35	18/01/52	995.7	317.5	350.0	245.5	255.0	159.0	205.0	113.0
36	25/01/52	1020.0	276.5	297.5	297.5	260.0	165.5	170.0	120.0
37	01/02/52	1075.0	275.0	260.0	265.5	190.0	175.0	145.5	93.0
38	08/02/52	1175.0	310.0	297.5	275.5	250.0	212.5	198.0	125.0
39	15/02/52	875.5	207.5	245.0	212.5	175.0	160.0	208.0	117.0
40	22/02/52	1075.0	278.0	280.5	278.5	275.5	212.5	160.0	104.5
41	01/03/52	945.0	298.5	315.0	270.0	210.0	160.0	147.5	125.0
42	08/03/52	1020.5	300.0	310.0	298.5	205.5	187.0	117.5	110.0
43	15/03/52	1175.5	350.0	300.0	320.0	225.5	132.5	120.0	112.5

ตารางผนวกที่ ข4 ลักษณะสมบัติ COD ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย (หน่วย มก./ล.)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	1324.1	413.8	455.2	289.7	372.4	345.5	387.0	276.4
2	21/04/51	1280.0	520.0	1000.0	600.0	347.0	347.4	374.1	374.1
3	28/04/51	1006.5	329.0	387.1	293.5	335.5	245.7	271.5	245.7
4	12/05/51	2400.0	343.0	405.9	441.2	370.6	317.6	335.3	370.6
5	21/05/51	1028.6	332.1	435.2	297.7	320.6	248.6	240.0	257.1
6	30/05/51	1165.7	411.4	434.3	400.0	464.5	317.1	302.3	298.6
7	10/06/51	881.1	369.9	411.0	338.4	772.6	411.0	386.3	395.9
8	17/06/51	694.2	396.7	401.7	393.4	366.9	324.0	281.0	277.7
9	02/07/51	1082.0	496.7	536.1	426.4	354.1	367.2	327.9	380.3
10	09/07/51	1023.0	600.0	585.3	383.6	427.1	383.6	373.8	334.4
11	21/07/51	1575.0	459.4	511.0	474.2	468.8	487.5	431.3	393.8
12	28/07/51	1125.0	525.0	656.3	581.3	515.6	412.5	450.0	393.8
13	05/08/51	1106.3	525.0	656.3	618.8	689.5	412.5	450.0	393.8
14	20/08/51	1303.2	671.0	787.1	567.7	490.3	412.9	425.8	425.8
15	27/08/51	1135.5	522.6	638.7	454.8	512.9	490.3	363.4	350.7
16	03/09/51	528.0	420.0	472.0	472.0	448.0	390.7	418.7	386.7
17	10/09/51	648.0	692.0	800.0	672.0	424.0	297.3	322.7	386.7
18	17/09/51	684.4	567.2	843.8	571.9	445.3	317.2	480.0	342.2
19	24/09/51	768.0	431.3	473.4	417.2	407.8	370.3	480.0	370.3
20	02/10/51	2249.5	653.3	757.5	597.4	623.4	568.5	537.5	446.5
21	09/10/51	1796.3	684.9	704.8	827.3	583.5	627.0	581.9	319.3
22	16/10/51	2546.8	500.5	587.1	524.5	394.8	496.3	401.4	495.8
23	27/10/51	3481.0	504.7	602.1	504.4	476.9	452.3	338.5	352.3
24	03/11/51	1730.0	506.4	590.7	375.7	346.0	508.3	490.7	265.7
25	10/11/51	1550.5	794.8	688.3	671.7	568.0	473.8	422.5	435.8

## ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	1583.0	539.3	617.0	662.3	414.3	398.9	349.5	317.9
27	24/11/51	2154.7	560.9	787.5	869.0	486.9	467.5	381.5	284.0
28	30/11/51	1310.0	519.8	745.3	554.5	394.1	374.7	323.5	229.0
29	07/12/51	2245.0	522.0	387.0	387.0	390.0	385.8	396.8	311.1
30	14/12/51	2232.3	502.9	464.5	348.4	387.1	348.5	329.0	348.4
31	21/12/51	2250.0	459.4	431.3	403.1	375.0	450.0	393.8	420.0
32	28/12/51	1650.3	425.3	430.0	430.0	450.0	398.0	520.0	375.8
33	04/01/52	2476.8	445.3	450.0	448.9	381.1	396.4	415.9	364.5
34	11/01/52	1757.0	558.5	559.1	507.3	419.9	414.0	389.1	311.7
35	18/01/52	2322.8	869.0	687.1	639.3	437.5	300.0	323.3	256.8
36	25/01/52	2240.0	433.3	417.9	452.1	520.1	344.1	311.1	233.3
37	01/02/52	1374.4	477.8	500.7	496.3	493.7	433.3	389.8	300.0
38	08/02/52	2235.0	533.3	548.0	520.0	487.8	388.8	356.2	338.5
39	15/02/52	2545.3	542.3	600.0	542.9	501.4	494.4	389.3	340.6
40	22/02/52	1031.3	664.3	622.6	670.7	597.1	489.2	490.2	400.9
41	01/03/52	2657.1	525.8	531.3	410.1	514.0	396.1	345.2	389.1
42	08/03/52	1648.0	522.1	498.0	525.3	487.9	430.9	400.7	323.2
43	15/03/52	2664.0	511.1	560.3	510.0	402.1	411.7	321.6	289.1

ตารางผนวกที่ ข5 ลักษณะสมบัติ TKN ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย (หน่วย มก./ล.)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	354.0	232.0	195.0	104.0	198.0	221.0	120.0	117.0
2	21/04/51	218.4	306.6	236.6	233.8	191.8	163.8	116.2	110.1
3	28/04/51	526.4	113.4	247.8	137.2	137.2	114.8	196.0	98.0
4	12/05/51	254.8	245.0	231.0	259.0	259.0	221.2	119.0	93.8
5	21/05/51	254.8	256.2	249.2	184.8	186.2	152.6	70.0	68.6
6	30/05/51	128.8	309.4	238.0	190.4	256.2	179.2	85.4	76.2
7	10/06/51	128.8	214.2	352.8	169.4	299.6	252.0	254.8	204.4
8	17/06/51	135.8	332.5	334.6	287.0	291.2	224.0	219.1	252.7
9	02/07/51	151.2	318.5	200.9	249.9	249.2	231.7	156.1	167.3
10	09/07/51	95.2	277.9	273.0	174.3	220.5	159.6	138.6	132.3
11	21/07/51	400.4	350.0	340.2	256.6	249.2	217.7	198.0	185.5
12	28/07/51	352.8	327.6	189.0	295.4	312.2	239.4	187.6	179.2
13	05/08/51	439.6	313.6	369.6	254.8	280.0	173.6	187.6	203.0
14	20/08/51	296.8	140.0	215.6	159.6	126.0	112.0	117.6	100.8
15	27/08/51	134.4	158.2	170.8	184.8	133.0	159.6	168.0	134.4
16	03/09/51	308.0	226.8	246.4	201.6	218.4	159.6	134.4	140.0
17	10/09/51	316.4	226.8	246.4	201.6	218.4	159.6	134.4	140.0
18	17/09/51	119.0	242.2	254.8	182.0	208.6	250.6	228.2	212.8
19	24/09/51	74.2	392.0	341.6	282.8	235.2	123.2	137.2	145.6
20	02/10/51	139.6	313.6	194.0	192.0	262.4	216.6	169.6	77.4
21	09/10/51	257.6	214.0	189.2	328.2	349.0	252.6	299.6	202.4
22	16/10/51	388.2	151.2	136.2	111.6	150.2	241.0	235.8	167.0
23	27/10/51	315.0	330.8	193.6	249.0	273.6	231.6	175.0	93.6
24	03/11/51	202.6	286.2	247.4	226.4	201.2	200.0	131.4	133.6
25	10/11/51	213.4	350.0	316.0	256.6	249.2	172.2	198.3	175.6

## ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	482.4	298.0	233.2	295.4	214.8	238.6	189.4	179.2
27	24/11/51	483.0	305.4	266.0	279.6	280.0	167.6	204.0	182.6
28	30/11/51	364.4	181.6	215.6	177.4	165.2	105.4	105.0	98.6
29	07/12/51	475.0	299.6	256.4	216.4	204.0	225.0	230.0	221.0
30	14/12/51	204.4	296.8	240.8	246.4	254.8	274.4	264.6	235.2
31	21/12/51	473.2	355.6	375.2	310.8	302.4	330.0	308.0	309.4
32	28/12/51	500.0	320.0	365.4	345.0	298.0	312.0	340.6	336.7
33	04/01/52	250.6	216.0	272.4	255.2	249.8	272.2	276.2	198.4
34	11/01/52	498.0	313.8	333.8	304.4	304.4	298.0	320.2	316.4
35	18/01/52	480.0	372.4	301.2	355.6	360.7	355.6	314.8	313.6
36	25/01/52	369.6	358.4	270.7	321.0	335.6	341.6	309.0	308.0
37	01/02/52	279.9	400.4	379.8	390.0	367.2	338.8	322.2	315.6
38	08/02/52	387.6	403.2	212.0	298.6	350.6	324.8	315.4	317.7
39	15/02/52	395.4	394.8	300.0	325.8	350.7	333.2	289.2	287.0
40	22/02/52	500.0	392.0	392.0	380.0	365.6	325.7	314.8	310.1
41	01/03/52	487.6	405.4	389.1	391.4	371.2	356.4	356.4	331.0
42	08/03/52	496.8	376.7	345.0	340.0	320.0	320.0	290.0	282.8
43	15/03/52	392.0	389.8	358.6	360.0	344.4	316.0	292.2	286.2

ตารางผนวกที่ ข6 ลักษณะสมบัติ TDS ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย (หน่วย มก./ล.)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	840	320	690	190	260	425	335	240
2	21/04/51	690	380	495	345	710	385	310	175
3	28/04/51	1127	572	642	610	658	598	670	568
4	12/05/51	1398	889	937	973	907	980	808	872
5	21/05/51	860	920	1065	985	795	865	925	865
6	30/05/51	505	230	320	275	350	330	285	130
7	10/06/51	480	700	800	800	990	770	620	740
8	17/06/51	410	600	720	740	1110	680	500	490
9	02/07/51	1050	1350	1140	1075	2020	875	1235	610
10	09/07/51	740	710	720	615	610	540	505	415
11	21/07/51	850	1080	750	660	690	610	420	580
12	28/07/51	140	535	1160	1090	1240	1160	980	995
13	05/08/51	710	680	1420	1030	1520	930	1150	1300
14	20/08/51	1470	670	850	580	590	660	670	610
15	27/08/51	950	1070	910	610	910	780	810	830
16	03/09/51	540	600	810	680	910	820	840	770
17	10/09/51	70	1090	520	1000	1190	860	850	1250
18	17/09/51	200	540	720	420	430	310	390	480
19	24/09/51	285	740	840	760	680	600	670	680
20	02/10/51	410	360	470	280	630	420	330	290
21	09/10/51	490	640	505	660	1025	535	645	795
22	16/10/51	280	780	665	880	845	525	415	435
23	27/10/51	350	1260	1150	1085	1610	920	1025	795
24	03/11/51	680	765	685	550	460	410	380	420
25	10/11/51	850	1370	1180	700	550	620	500	510

## ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	1480	1340	950	1040	1090	850	770	885
27	24/11/51	1550	880	1070	1050	1420	1090	1275	1050
28	30/11/51	1860	880	990	900	605	540	647	790
29	07/12/51	1400	830	900	835	725	990	815	940
30	14/12/51	1480	970	775	1005	805	630	1045	1015
31	21/12/51	1560	810	760	900	790	1200	1000	915
32	28/12/51	1400	1080	1130	1070	979	1200	1110	1140
33	04/01/52	1615	905	815	950	1005	1055	930	1100
34	11/01/52	1220	815	905	820	945	990	1035	1110
35	18/01/52	1690	1025	990	900	945	960	825	875
36	25/01/52	1300	1340	1385	1465	825	805	930	945
37	01/02/52	1420	1055	1025	1175	1228	1080	1045	1215
38	08/02/52	1625	955	910	905	1145	1035	1050	1135
39	15/02/52	1485	765	750	880	960	825	975	895
40	22/02/52	1380	985	990	995	1125	1140	1040	1015
41	01/03/52	1215	810	865	880	1035	1040	1050	1025
42	08/03/52	1505	790	940	910	1075	1115	1180	1060
43	15/03/52	1350	945	785	780	950	1020	1025	850

ตารางผนวกที่ ข7 ลักษณะสมบัติ SS ของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย (หน่วย มก./ล.)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปฏิกูล				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
1	02/04/51	410	210	310	130	190	225	210	190
2	21/04/51	630	320	750	470	690	570	215	145
3	28/04/51	370	155	215	300	185	175	130	165
4	12/05/51	647	136	228	387	233	240	257	173
5	21/05/51	470	255	225	205	225	175	125	185
6	30/05/51	170	260	240	260	320	190	320	290
7	10/06/51	530	200	230	250	400	330	300	180
8	17/06/51	280	320	230	320	220	180	230	260
9	02/07/51	290	190	140	275	150	215	185	210
10	09/07/51	220	210	190	105	250	220	225	185
11	21/07/51	490	390	270	270	240	210	200	140
12	28/07/51	910	125	200	350	240	270	240	255
13	05/08/51	950	190	180	410	220	490	300	150
14	20/08/51	460	310	490	390	260	240	230	250
15	27/08/51	250	220	230	440	220	300	130	460
16	03/09/51	330	250	190	280	270	300	250	310
17	10/09/51	190	230	240	280	140	350	270	40
18	17/09/51	30	160	370	710	180	190	110	140
19	24/09/51	80	160	230	260	290	290	220	240
20	02/10/51	600	220	230	300	240	255	280	190
21	09/10/51	470	260	230	210	235	195	105	125
22	16/10/51	400	210	305	120	205	225	235	215
23	27/10/51	630	140	150	165	170	130	175	105
24	03/11/51	370	155	215	300	400	330	300	180
25	10/11/51	450	200	220	230	300	230	250	190

## ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ครั้ง	วันที่	สิ่งปลูก				คุณภาพน้ำเสีย			
		Inf.	Di1	Di2	Di 1+2	Pond 1	Pond 2	wetland	Eff.
26	17/11/51	530	340	250	340	250	390	350	265
27	24/11/51	300	190	150	280	140	250	175	200
28	30/11/51	230	210	300	270	265	260	253	160
29	07/12/51	610	250	220	315	255	290	285	270
30	14/12/51	590	310	275	315	295	320	275	260
31	21/12/51	590	250	190	220	190	210	210	205
32	28/12/51	600	210	180	210	180	190	200	240
33	04/01/52	635	225	235	230	265	295	210	200
34	11/01/52	570	205	235	200	245	220	215	200
35	18/01/52	630	275	300	280	285	290	265	265
36	25/01/52	685	220	255	225	195	235	240	175
37	01/02/52	610	195	275	250	205	270	275	135
38	08/02/52	575	245	230	215	175	255	230	140
39	15/02/52	625	315	240	200	215	275	275	185
40	22/02/52	590	215	230	245	195	200	220	175
41	01/03/52	645	230	225	240	175	230	230	125
42	08/03/52	585	310	210	260	265	260	200	200
43	15/03/52	600	265	295	240	190	240	235	190

ตารางผนวกที่ ข8 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของสิ่งปฏิกูลและน้ำเสียน้ำ (หน่วย มก./ล.)

ครั้งที่	สิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ				น้ำเสียนอกจาก Digester 1				น้ำเสียนอกจาก Digester 2				น้ำเสียนอกจาก Digester1+2			
	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N
1	499	399	14.3	0.02	399	339	12.4	0.06	425	371	11.37	0.07	410	370	11.37	0.13
2	363	315	13.9	0.23	410	361	10.7	0.07	389	335	11.8	0.12	374	304	11.88	0.14
3	339	280	13	0.03	435	340	13.1	0.17	413	335	11.9	0.15	398	325	9.78	0.16
4	333.2	282	12.4	0.15	366	337	9.8	0.2	374	311	11.4	0.22	363	315	10.8	0.07
5	363	315	13.6	0.23	333	298	11.1	0.15	327	287	10.9	0.2	339	280	9.28	0.22
6	375	320	11.2	0.09	311	270	11.2	0.09	266	240	11	0.2	311	282	9.39	0.23

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ครั้งที่	น้ำเสียออกจาก Pond 1				น้ำเสียออกจาก Pond 2				น้ำเสียออกจาก Wetland			
	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	TKN	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N
1	311	290	14.84	0.18	325	301	12.3	0.08	291	274.4	13.9	0.04
2	326	302	13.8	0.06	311	294	13.43	0.01	289	270.2	16.3	0.11
3	303	285	13.6	0.11	302	287	9.39	0.06	280	260	17.2	0.06
4	321	287	13.9	0.01	317	293	13.43	0.1	259	232	17.4	0.13
5	326	295	14.4	0.08	316	284	12.06	0.07	276	243	14.8	0.04
6	311	297	12.3	0.1	312	276	9.39	0.13	298	254	14.8	0.11



ตารางผนวกที่ ค1 การเจริญเติบโตเฉลี่ยของกกอีลิปต์

สัปดาห์	น้ำเสีย	น้ำเสีย:น้ำประปา	คุณภาพน้ำ (mg/l)			ความสูง (cm.)	การงอก (ต้น)
			BOD	COD	TKN		
เริ่มต้น	-	-	-	-	-	20	3
1	In	ไม่เจือจาง	1171	1757	498	21	4
	Di	ไม่เจือจาง	313	559	314	23	5
2	In	ไม่เจือจาง	996	2323	480	23	5
	Di	ไม่เจือจาง	318	869	372	25	8
3	In	ไม่เจือจาง	1020	2240	370	25	12
	Di	ไม่เจือจาง	277	433	358	28	12
4	In	ไม่เจือจาง	1075	1374	280	28	18
	Di	ไม่เจือจาง	275	478	400	31	20
5	In	ไม่เจือจาง	1175	2235	388	31	20
	Di	ไม่เจือจาง	310	533	403	35	25
6	In	ไม่เจือจาง	876	2545	395	35	28
	Di	ไม่เจือจาง	208	542	395	37	32
7	In	ไม่เจือจาง	1075	1031	500	38	32
	Di	ไม่เจือจาง	278	664	392	41	38
8	In	ไม่เจือจาง	945	2657	488	42	40
	Di	ไม่เจือจาง	299	526	405	45	42
9	In	ไม่เจือจาง	1021	1648	497	46	48
	Di	ไม่เจือจาง	300	522	377	48	50
10	In	ไม่เจือจาง	1176	2664	392	50	59
	Di	ไม่เจือจาง	350	511	390	52	62

หมายเหตุ In คือน้ำเสียจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ

Di คือน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักวางไร้อากาศ

ตารางผนวกที่ ค2 ชีวมวลเฉลี่ยของกะเจด

ลำดับ	น้ำเสี้ยว	น้ำเสี้ยว:น้ำประปา	คุณภาพน้ำ (mg/l)			ชีวมวล (kg)
			BOD	COD	TKN	
เริ่มต้น	-	-	-	-	-	0.1
1	Di	50:50:00	162	289	172	0.1
	Pond	ไม่เจือจาง	178	414	298	0.1
2	Di	50:50:00	167	452	197	0.1
	Pond	ไม่เจือจาง	159	300	356	0.1
3	Di	50:50:00	142	232	173	0.2
	Pond	ไม่เจือจาง	166	344	342	0.2
4	Di	50:50:00	144	241	210	0.2
	Pond	ไม่เจือจาง	175	433	339	0.2
5	Di	50:50:00	160	274	203	0.3
	Pond	ไม่เจือจาง	213	389	325	0.3
6	Di	50:50:00	107	283	201	0.4
	Pond	ไม่เจือจาง	160	494	333	0.4
7	Di	50:50:00	152	347	197	0.5
	Pond	ไม่เจือจาง	213	498	326	0.5
8	Di	50:50:00	163	271	212	0.6
	Pond	ไม่เจือจาง	160	396	356	0.4
9	Di	50:50:00	157	273	192	0.7
	Pond	ไม่เจือจาง	187	431	320	0.4
10	Di	50:50:00	182	209	197	0.7
	Pond	ไม่เจือจาง	133	412	316	0.4

หมายเหตุ Di คือน้ำเสี้ยวที่ออกจากบ่อหมักทรงไร้อากาศ

Pond คือน้ำเสี้ยวจากบ่อฝัง

ตารางผนวกที่ ๓3 ชีวมวลเฉลี่ยของแพลงพวย

สัปดาห์	น้ำเสีย	น้ำเสีย:น้ำประปา	คุณภาพน้ำ (mg/l)			ชีวมวล (kg)
			BOD	COD	TKN	
เริ่มต้น	-	-	-	-	-	0.1
1	Di	50:50:00	162	289	172	0.1
	Pond	50:50:00	89	210	137	0.1
2	Di	50:50:00	167	452	197	0.2
	Pond	50:50:00	85	165	150	0.2
3	Di	50:50:00	142	232	173	0.1
	Pond	50:50:00	89	182	161	0.2
4	Di	-	-	-	-	-
	Pond	50:50:00	96	225	142	0.3
5	Di	-	-	-	-	-
	Pond	50:50:00	108	192	140	0.3
6	Di	-	-	-	-	-
	Pond	50:50:00	84	262	149	0.3
7	Di	-	-	-	-	-
	Pond	50:50:00	108	251	141	0.1

หมายเหตุ Di คือน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักวางไร้อากาศ

Pond คือน้ำเสียจากบ่อฝัง

ตารางผนวกที่ ค4 ชีวมวลเฉลี่ยของผักตบชวา

ลำดับ	น้ำเสีย	น้ำเสีย:น้ำประปา	คุณภาพน้ำ (mg/l)			ชีวมวล (kg)
			BOD	COD	TKN	
เริ่มต้น	-	-	-	-	-	0.1
1	In	30 : 70	357	552	159	0.1
	Di	30 : 70	103	202	102	0.1
2	In	30 : 70	352	523	142	0.1
	Di	30 : 70	105	373	139	0.1
3	In	30 : 70	349	532	137	0.3
	Di	30 : 70	95	187	104	0.3
4	In	30 : 70	354	475	115	0.4
	Di	30 : 70	92	195	149	0.4
5	In	30 : 70	375	569	140	0.5
	Di	30 : 70	104	201	141	0.6
6	In	30 : 70	352	597	147	0.7
	Di	30 : 70	71	196	137	0.7
7	In	30 : 70	383	468	179	0.9
	Di	30 : 70	99	250	136	0.9
8	In	30 : 70	360	537	161	1.0
	Di	30 : 70	102	196	151	1.1
9	In	30 : 70	381	563	170	1.1
	Di	30 : 70	98	189	141	1.0
10	In	30 : 70	351	559	149	1.2
	Di	30 : 70	121	167	132	1

หมายเหตุ In คือน้ำเสียจากสิ่งปฏิกูลก่อนเข้าระบบ

Di คือน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักวางไร้อากาศ



ตารางผนวกที่ ง1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักโรงไร้อากาศ

เดือน	ก๊าซจากบ่อหมักโรงไร้อากาศบ่อที่ 1 (%)				ก๊าซจากบ่อหมักโรงไร้อากาศบ่อที่ 2 (%)			
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
ธ.ค.50	41.05	5.95	10.67	42.69	70.71	11.37	2.44	15.48
ก.พ.51	69.61	10.19	2.35	17.84	61.94	9.07	4.52	25.96
เม.ย.51	58.88	11.29	4.65	25.18	30.15	6.2	11.64	52.01
พ.ค.51	65.45	9.72	3.56	21.27	49.97	7	9.76	33.27
ก.ค.51	56.72	10.25	5.67	27.63	65.35	8.73	2.97	22.95
ส.ค.51	56.36	11.06	4.43	28.16	69.41	10.93	2.44	17.2
ก.ย.51	66.14	9.76	2.59	21.53	59.72	6.81	3.04	30.43
ต.ค.51	62.11	10.02	3.23	24.63	67.87	11.03	2.34	18.79
พ.ย.51	65.65	9.71	6.02	18.62	52.31	11.91	7.86	27.92
ธ.ค.51	60.34	9.63	4.24	25.78	70.35	11.95	2.15	15.55
ม.ค.52	71.63	9.67	2.78	15.92	67.86	10.73	2.56	18.85
ก.พ.52	70.92	10.43	2.43	16.22	70.34	10.28	2.44	16.94

ตารางผนวกที่ ง2 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 1500 ml

วันที่	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (%)				Total
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
0	0.30835	0.86833	1.43781	97.38551	100
1	3.76571	2.21375	2.54745	91.47309	100
2	10.14048	3.3409	0.70407	85.81454	100
3	14.99606	4.18237	1.14324	79.67833	100
4	18.54147	5.0233	0.53218	75.90304	100
5	20.40282	5.69257	0.54446	73.36015	100
6	22.53181	6.35795	0.57177	70.53846	100
7	23.01439	6.80263	0.68792	69.49505	100
8	22.8136	7.46379	0.74121	68.9814	100
9	22.55653	8.39015	0.80391	68.24942	100
10	21.23181	8.80395	0.98353	68.98071	100
11	19.82778	9.17521	1.23541	69.7616	100
12	18.43525	9.4987	1.45108	70.61497	100
13	18.14692	9.68227	1.57154	70.59927	100
14	17.12055	10.04739	1.71803	71.11403	100

ตารางผนวกที่ ๓ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 1000 ml

วันที่	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (%)				
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Total
0	0.0671	0.53949	2.47343	96.91998	100
1	1.15057	3.1059	1.77471	93.96883	100
2	2.75222	4.88773	1.60775	90.75229	100
3	3.743	6.61624	1.99152	87.64924	100
4	3.88475	7.45955	3.51232	85.14338	100
5	3.16508	7.52491	5.83045	83.47956	100
6	2.58086	7.73014	8.00626	81.68274	100
7	1.11584	7.86739	9.00745	82.00932	100
8	0.66444	8.83323	9.38005	81.12228	100
9	0.17213	9.63093	9.89793	80.29902	100
10	0.15866	11.22582	9.1872	79.42832	100
11	0.1448	12.80575	8.92857	78.12088	100
12	0.12898	14.05706	8.81033	77.00363	100
13	0.11268	15.2274	8.57296	76.08696	100
14	0.10043	16.60822	8.42608	74.86527	100

ตารางผนวกที่ ง4 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้สิ่งปฏิกูลเริ่มต้น 500 ml

วันที่	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (%)				
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Total
0	0.10228	0.87241	1.2906	97.73471	100
1	0.66906	2.25044	2.0941	94.9864	100
2	1.80642	3.25726	0.9451	93.99122	100
3	2.90443	4.24765	0.80751	92.04041	100
4	3.32506	5.15716	1.17011	90.34768	100
5	3.29407	5.63562	2.35205	88.71826	100
6	3.3109	6.01142	3.4681	87.20958	100
7	3.18282	6.34837	4.04291	86.4259	100
8	2.72412	6.80357	4.02891	86.4434	100
9	1.3122	7.85238	3.70413	87.1313	100
10	1.15588	9.20125	3.18769	86.45518	100
11	0.84412	10.79598	2.71525	85.64465	100
12	0.56181	12.19023	2.62824	84.61973	100
13	0.29598	13.88537	2.30348	83.51516	100
14	0.06195	16.1166	1.83109	81.99035	100

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกิ่งกมล สุดสิงขรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 19 สิงหาคม 2528
สถานที่เกิด	ระยอง
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-