



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่
เหมาะสมสำหรับโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง

โดย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เมษายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่
เหมาะสมสำหรับโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง

ผู้วิจัย

- ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์
- นางสาวอิสรา รักงาม

สังกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
Executive Summary	ก
บทคัดย่อ	ณ
Abstract	ต
บทที่	
1 บทนำ	1-1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1-1
1.2 การตรวจเอกสาร	1-3
1.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	1-11
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-12
2 วิธีการวิจัย	2-1
2.1 การสำรวจสหกรณ์โรงรมควั่นยางแผ่น	2-1
2.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	2-1
2.3 การสร้างโรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศจำลอง	2-3
2.4 ระบบหมักไร้อากาศจำลองที่ใช้ในการศึกษา	2.4
2.5 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)	2.8
2.6 สภาวะการเดินระบบ MCL และ MABR ที่ศึกษา	2-9
2.7 การศึกษาก๊าซชีวภาพ	2-12
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล	2-12
2.9 ประเมินความคุ้มค่าในการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่น	2-13
3 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	3-1
3.1 การสำรวจและคัดเลือกสหกรณ์ สกย. ที่จะติดตั้งระบบ	3-1
3.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสียจากสหกรณ์ สกย. ที่คัดเลือก	3-2
3.3 สมรรถนะของระบบบำบัด MCL และ MABR	3-3
3.3.1 การเริ่มต้นเดินระบบ	3-4
3.3.2 ผลการเดินระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ภายใต้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่างๆ	3-4
3.3.3 ผลการเดินระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ภายใต้สัดส่วน เวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle Period Ratio; R_t) ต่างๆ	3-22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ผลการติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบ MCL และ MABR	3-38
3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่น สกย. ยุงทอง กับระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และ MCL	3-39
3.6 การประเมินความคุ้มค่าในรูปของค่าใช้จ่ายของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน	3-40
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	4-1
4.1 บทสรุป	4-1
4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่างๆ	4-1
4.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่างๆ	4-2
4.1.3 ประเมินความคุ้มค่าในรูปของค่าใช้จ่ายของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน	4-2
4.1.4 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานหรือสหกรณ์อบ/รมยางแผ่นอื่นๆ ที่ไม่ได้เลือกใช้ระบบ MCL และ MABR ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	4.2
4.2 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินโครงการ	4-3
เอกสารอ้างอิง	อ-1
ภาคผนวก ก	ผ-1
ภาคผนวก ข	ผ-46
ภาคผนวก ค	ผ-52
ภาคผนวก ง	ผ-63
ภาคผนวก จ	ผ-66
ภาคผนวก ฉ	ผ-77

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1-1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศประเภทต่างๆ	1-8
2-1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย	2-3
2-2 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษาของระบบ MCL	2-9
2-3 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษาของระบบ MABR	2-10
2-4 สภาวะการทำงานของระบบ MCL และ MABR ที่ทำการศึกษา	2-11
3-1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด ที่ใช้ในการศึกษา	3-3
3-2 BOD_5 ของน้ำเสียและทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-9
3-3 TCOD และ SCOD ของน้ำเสีย น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-10
3-4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-11
3-5 ลักษณะน้ำเสีย และน้ำทิ้งทางเคมีจากการบำบัดน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด (เดือนมกราคม-มีนาคม 2551)	3-11
3-6 SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-14
3-7 TKN และ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-16
3-8 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-18
3-9 ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสียและน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ภายใต้สภาวะคงตัว	3-19

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-10	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_L) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-20
3-11	pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-23
3-12	BOD ₅ และ BOD ₅ :TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ในชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-26
3-13	BOD ₅ , BOD ₅ :TCOD ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัด BOD ₅ ของทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-27
3-14	ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกรณ์	3-28
3-15	SS ของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด SS ของชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-31
3-16	TKN และ $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MABR ในชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-32
3-17	TP น้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว	3-34
3-18	SO_4^{2-} น้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว	3-35
3-19	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_L) ระดับต่างๆ ที่สภาวะ คงตัว	3-37
3-20	เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นร่อนออกแบบปี พ.ศ. 2538 กับระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และระบบ MCL	3-40
3-21	การประเมินราคาค่าก่อสร้างระบบ MABR ระดับ Full scale	3-47
3-22	การประเมินราคาค่าก่อสร้างระบบ MCL ระดับ Full scale	3-50
3-23	รายการประเมินค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในร่อนออกแบบปี พ.ศ. 2538	3-51
3-24	ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัด	3-52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ภาคผนวก ก	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง	ผ-2
ภาคผนวก ข-1	ปริมาณน้ำเสียที่วัดได้ในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อเวลา ของระบบ MCL	ผ-46
ภาคผนวก ข-2	ระดับน้ำเสียที่ลดลงต่อเวลาของระบบ MABR	ผ-49

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจากน้ำยางสด	1-3
1-2	ปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบไร้อากาศ	1-5
1-3	ระบบบำบัดแบบบ่อแอนเอโรบิกแบบมีแผ่นคลุม (Anaerobic Covered Lagoon)	1-10
2-1	ลักษณะของบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางbungทอง (ก) และ จุดที่ใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบ (ข)	2-1
2-2	ผังระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางbungทอง จำกัด และจุดเก็บตัวอย่าง	2-2
2-3	โรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศก่อนก่อสร้างโรงเรือน (ก), โรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศ (ข) และตำแหน่งที่ตั้งโรงเรือน (ค) ณ สหกรณ์บ้านbungทอง ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา	2-4
2-4	แผนผังระบบบ่อกักย่อยประยุคต์ (MCL)	2-5
2-5	ระบบบ่อกักย่อยประยุคต์ (MCL)	2-6
2-6	แผนผังถึงปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุคต์	2-7
2-7	ถึงปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุคต์	2-7
2-8	การนำเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากบ่อกักมูลสุกรในฟาร์มสุกร (ก) และการเติมหัวเชื้อลงในระบบสำหรับเริ่มเดินระบบ	2-8
2-9	ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ	2-12
3-1	กระบวนการและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ (ก) และแผนผังในสหกรณ์ (ข)	3-1
3-2	การสำรวจและคัดเลือกสหกรณ์ที่จะติดตั้งระบบบำบัด	3-2
3-3	pH น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ	3-5
3-4	Alkalinity น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ	3-6
3-5	VFA น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ	3-7
3-6	VFA:Alkalinity น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ	3-8
3-7	TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-12

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3-8	ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-12
3-9	SCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่คงตัว	3-13
3-10	ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-13
3-11	SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-15
3-12	ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-15
3-13	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของระบบ MCL ที่อัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-20
3-14	สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ TCOD _{removed} ของระบบ MCL ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ	3-21
3-15	pH และ VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ตลอดระยะเวลาการทดลอง	3-24
3-16	Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ตลอดระยะเวลาการทดลอง	3-25
3-17	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR (ก) ที่ระยะเวลาการทดลองต่างๆ (ข) ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ	3-29
3-18	SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำกลับน้ำทิ้ง (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-31
3-19	ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำกลับน้ำทิ้ง (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-32
3-20	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	3-37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3-21	องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ TCOD _{removed} ของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว	3-38
3-22	Diagram ระบบ MABR ระดับ Full scale	3-48
3-23	Diagram ระบบ MCL ระดับ Full scale	3-50

Executive Summary

บทนำและวัตถุประสงค์

เนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานที่ประเทศประสบอยู่ในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลได้มีแนวนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ และลดการสูญเสียเงินตราสู่ภายนอกประเทศได้ การผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) หรือพลังงานสีเขียวเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไบโอดีเซล ก๊าซโซฮอลล์ และก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพนี้ใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อน ลงทุนต่ำ สามารถทำในระดับเล็กได้ โดยก๊าซชีวภาพนี้สามารถผลิตได้จากของเสียที่เป็นอินทรีย์สารต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะได้พลังงานมาใช้แล้วยังเป็นการบำบัดของเสียช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปด้วยพร้อมๆ กัน

ปัจจุบันยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สามารถผลิตและส่งออกวัตถุดิบเป็นอันดับ 1 ของโลกหรือประมาณร้อยละ 30 ของผลผลิตทั่วโลก ในอดีตเกษตรกรได้ทำการผลิตยางแผ่นในแต่ละครัวเรือนเพื่อส่งขายให้พ่อค้าคนกลาง แต่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนรูปแบบไป โดยรัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการก่อสร้างโรงอบ/รมยาง มีเกษตรกรชาวบ้านรายย่อยรวมตัวกันในรูปแบบสหกรณ์กองทุนสวนยางเพื่อเป็นการช่วยเหลือกันในกลุ่มเกษตรกรให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและสามารถต่อรองกับพ่อค้าผู้รับซื้อยางแผ่นรมควันสำเร็จรูป อย่างไรก็ตามการรวมกลุ่มการผลิตนี้ก่อให้เกิดผลกระทบตามมาคือ มลพิษอินทรีย์ทางน้ำในลักษณะที่เป็นจุด (point source) ในปริมาณมาก เนื่องจากทั่วประเทศมีโรงอบ/รมยางแผ่นขนาดเล็กเช่นนี้มากกว่า 700 โรงทั่วประเทศ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 2-3 แสนตันต่อปี มลพิษดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทางน้ำและทางอากาศ ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนรอบข้างและสิ่งแวดล้อมโดยตรง แม้ว่าโรงผลิตยางแผ่นนี้จะมีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ แต่ก็ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการจัดการมลพิษนี้ได้อย่างยั่งยืน และมีปัญหาการร้องเรียนจากชุมชนบ่อยครั้ง จากการสำรวจพบว่าระบบบำบัดของโรงงานสหกรณ์ผลิตยางแผ่นได้ถูกออกแบบไว้เป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบระบบบำบัดของโรงงานรุ่นปี พ.ศ.2537 เป็นระบบบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ ตามด้วยบ่อฝั ง ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานรุ่นปี พ.ศ.2538 เป็นบ่อหมักไร้อากาศ-บ่อเติมอากาศ-บ่อฝั ง ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบนี้สหกรณ์ได้ตั้งใช้เครื่องเติมอากาศเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ คือค่าไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุง สหกรณ์แจ้งว่าได้ประสบปัญหาเครื่องเติมอากาศชำรุดบ่อยครั้งเพราะเศษยางเข้าไปอุดตัน เมื่อหยุดการเติมอากาศบ่อดังกล่าวจึงได้แปรสภาพไปเป็นบ่อไร้อากาศซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนบริเวณข้างเคียง และจากกระบวนการหมักไร้อากาศนี้จะเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกปล่อยสู่บรรยากาศ จากการประเมินเบื้องต้นพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากน้ำเสียของสหกรณ์โรงผลิตยางแผ่นมีปริมาณสูงถึง 15-20 ลบ.ม.

ต่อวัน เป็นก๊าซที่ค่อนข้างสะอาดเนื่องจากใช้กรดฟอร์มิคในการผลิต นอกจากนี้เกษตรกรและคนงานสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมที่ใช้ความร้อน เช่น การรมยางร่วมกับไม้พิน หรือการหุงต้มได้โดยตรง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบบ่อหมักไร้อากาศนอกจากจะส่งผลให้มีการกำจัดมลสารในน้ำเสียแล้วยังได้ก๊าซเชื้อเพลิงมาใช้พร้อมกับแก้ปัญหาปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวนได้ในคราวเดียวกัน และส่งผลให้คุณภาพน้ำที่ออกมาจากระบบบำบัดของสหกรณ์ดีขึ้นด้วย

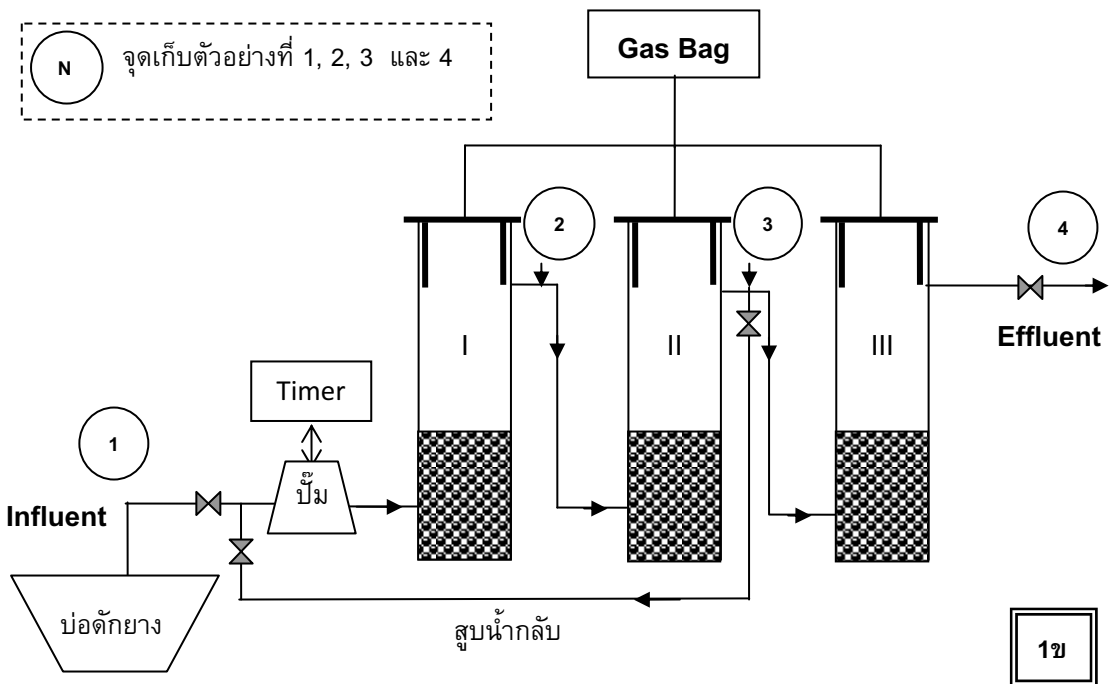
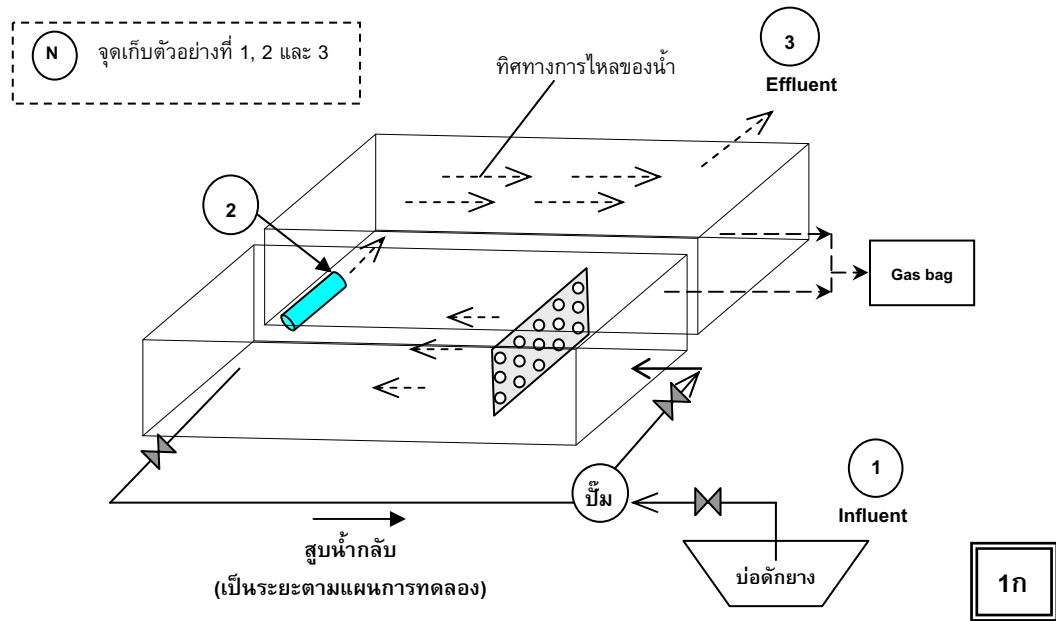
ด้วยเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการวิจัยในหัวข้อ “การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงรมควั่นยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง” โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวิเคราะห์หาต้นแบบการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโรงรมควั่นยางแผ่นในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน และประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียที่เสนอเพื่อช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งถ้าหากพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ก็จะเป็นต้นแบบของแนวทางการจัดการของเสียจากการผลิตยางแผ่นของชุมชนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนได้อย่างยั่งยืน

วิธีการวิจัย

โครงการได้สำรวจสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นในเขตจังหวัดสงขลา และคัดเลือกสหกรณ์ที่เป็นตัวแทนในการติดตั้งระบบบำบัดไร้อากาศในระดับ Pilot Scale คือสหกรณ์กองทุนสวนยางทุ่งทองจำกัด อ.บางกล่ำ จ.สงขลา และได้คัดเลือก (screen) ระบบที่มีความเหมาะสมสำหรับกรณีสหกรณ์ สกย. จำนวน 2 ระบบ คือ ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ปริมาตรการทำงาน 504 L จำนวน 4 ชุดการทดลอง และถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ปริมาตรการทำงาน 204 L จำนวน 3 ชุดการทดลอง (รูปที่ 1ก และ 1ข) จากนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำและประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ที่คัดเลือกนั้น รวมถึงทำความเข้าใจกับกรรมการสหกรณ์เกี่ยวกับกิจกรรมการวิจัยที่จะดำเนิน ณ บริเวณสหกรณ์ จากนั้นจึงออกแบบรายละเอียดระบบ MCL และ MABR และเริ่มดำเนินสร้างระบบบ่อหมักไร้อากาศทั้งสอง ขณะนั้นได้ทำการปรับพื้นที่สร้างโรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบทั้งสองที่บริเวณสหกรณ์

เมื่อพร้อมเดินระบบ MCL และ MABR จัดหามูลสุกรจากฟาร์มสุกรในพื้นที่จังหวัดสงขลาเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์เดิมในระบบเพื่อเริ่มระบบ (start-up) และใช้น้ำเสียจากกรณีโรงอบ/รมยางที่ใช้ศึกษา (ตารางที่ 1) ป้อนเข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาพักกักขัง (Hydraulic Retention Time; HRT) 30 วัน สำหรับระบบ MCL และ 10, 5, และ 2.5 วัน สำหรับระบบ MABR โดยในแต่ละ HRT จะแปรผันระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ ได้แก่ $R_t=100\%$ 75% 50% 25% และ 0% ตามลำดับ สำหรับระบบ MCL ส่วนระบบ MABR ศึกษาที่ $R_t=100\%$ 50% และ 0% (ตารางที่ 2 และ 3) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งจากจุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 และมีการ

ค



รูปที่ 1 แผนผังระบบ (ก) ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (MCL) และ (ข) ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR)

วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน สำหรับพารามิเตอร์หลักของตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์ในการศึกษา ได้แก่ พีเอช (pH) อุณหภูมิ (Temperature) สภาพด่าง (Alkalinity) กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) ซีโอดีทั้งหมด (TCOD) ของแข็งแขวนลอย (SS) โดยจะทำการวิเคราะห์ตาม Standard Methods (APHA, AWWA and WEF, 1998) เพื่อการตอบสนองและอัตราการผลิต ก๊าซของระบบและประสิทธิภาพของระบบในการผลิตก๊าซมีเทนและกำจัดมลสารในน้ำเสีย

ตารางที่ 1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	ช่วงค่า	$\bar{X} \pm SD$
Temperature ($^{\circ}C$)	24.40-32.20	28.19 $\pm$ 1.83
pH	5.09-6.58	5.57 $\pm$ 0.34
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	200-1,350	845 $\pm$ 274
VFA (mg/L as CH_3COOH)	140-2,130	1,128 $\pm$ 492
BOD ₅ (mg/L)	1,362-3,554	2,608 $\pm$ 705
TCOD (mg/L)	1,782-6,811	3,710 $\pm$ 900
SCOD (mg/L)	846-4,798	2,520 $\pm$ 922
SS (mg/L)	123-558	313 $\pm$ 103
TKN (mg/L)	62-195	128 $\pm$ 48
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	41-165	101 $\pm$ 33
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	38-179	106 $\pm$ 53
TP (mg/L)	33-115	77 $\pm$ 25
NO ₃ ⁻	0.08-0.44	0.24 $\pm$ 0.17

ตารางที่ 2 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษาของระบบ MCL

สัดส่วนเวลา การสูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (R_t)* (%)	สัดส่วน การสูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (R_v)**	Feed (L/d)	ระยะเวลา สูบน้ำเสีย เข้าระบบ (ชม.)	สูบน้ำเสียย้อนกลับต่อรอบ*		ระยะเวลา ตกตะกอน (ชม.)
				รอบในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)		
				ระยะเวลา สูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)	ระยะเวลา ทำปฏิกิริยา (ชม.)	
100	56.4	16.8	2	4	0	2
75	42.3	16.8	2	3	1	2
50	28.2	16.8	2	2	2	2
25	14.1	16.8	2	1	3	2
0***	0	16.8	2	0	0	2

หมายเหตุ : คำอธิบายเครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงอยู่ใต้ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษาของระบบ MABR

ระบบ	สัดส่วนเวลา การสูบน้ำ เสีย ย้อนกลับ (R _t)* (%)	สัดส่วน การสูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (R _v)**	Feed (L/d)	ระยะเวลา สูบน้ำเสีย เข้าระบบ (ชม.)	สูบน้ำเสียย้อนกลับต่อรอบ*		ระยะเวลา ตกตะกอน (ชม.)
					รอบในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)		
					ระยะเวลา สูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)	ระยะเวลา ทำปฏิกิริยา (ชม.)	
MABR10	100	12.6	20.4	2	4	0	2
	50	6.3	20.4	2	2	2	2
	0***	0	20.4	2	0	0	2
MABR5	100	6.3	40.8	2	4	0	2
	50	3.1	40.8	2	2	2	2
	0***	0	40.8	2	0	0	2
MABR2.5	100	3.1	81.6	2	4	0	2
	50	1.6	81.6	2	2	2	2
	0***	0	81.6	2	0	0	2

หมายเหตุ: * 1 วัน (24 ชม.) แบ่งสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับออกเป็น 5 รอบ รอบละ 4 ชม. ไม่รวม
ระยะเวลาการ สูบน้ำเสียเข้าระบบ และระยะเวลาการตกตะกอน โดยคำนวณจาก
Recycle Period Ratio (R_t); = $\frac{\text{เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ/รอบ (ชม.)}}{\text{เวลาต่อรอบ (ชม.)}} \times 100\%$

** Recycle Effluent Ratio (R_v) = $\frac{\text{Recycle Flow Rate (L/hr)} \times \text{ระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (hr/d)}}{\text{Influent Flow Rate (L/d)}}$

*** เดินระบบหลังยางผลัดใบ

ผลการทดลอง

1. การเดินระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ภายใต้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่าง ๆ

(1) พีเอช (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

จากการทดลองค่า pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน ตลอดการทดลองพบว่าน้ำเสียที่เข้าระบบจะมี pH เท่ากับ 5.57 ± 0.34 เมื่อเดินระบบที่ระยะเวลาสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ เท่ากับ 100% 75% 50% 25% และ 0% ตามลำดับ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable condition) พบว่า pH ในน้ำทิ้งที่ทุก R_t มีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้า

ระบบเสมอใกล้เคียงกับช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ (Rittmann and McCarty, 2001) แสดงว่าน้ำเสียเข้าระบบมีความจุบัฟเฟอร์ (buffer capacity) และปริมาณต่างในปริมาณที่เพียงพอโดยมีค่าเท่ากับ 845 ± 274 mg/L as CaCO_3 ส่วน Alkalinity ในน้ำทิ้งของทุกๆ R_t มีค่ามากกว่าน้ำเสียเข้าระบบเช่นกัน ทั้งนี้เกิดจากการที่ได้รับไบคาร์บอเนตที่เกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) (Sawyer *et al.*, 2003) ที่เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนในน้ำเสียเปลี่ยนรูปเป็น $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ทำให้สภาพต่างของน้ำเสียในระบบเพิ่มขึ้น (Dalis *et al.*, 1996) โดยระบบมีค่า Alkalinity อยู่ที่ $1,063 \pm 39$ mg/L as CaCO_3

เมื่อพิจารณา VFA พบว่า น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณ VFA เท่ากับ $1,128 \pm 492$ mg/L as CH_3COOH เมื่อเปรียบเทียบกับ R_t ทุกๆ ระดับ พบว่า VFA ในน้ำทิ้งในสภาวะคงตัวที่ $R_t=50\%$ มีความเข้มข้น VFA สูงที่สุดเท่ากับ 155 ± 30 mg/L as CH_3COOH ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่ R 50% มีค่าต่ำที่สุดเช่นกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน โดยค่า VFA ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH และค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในระบบเท่ากับ 2,000 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

นอกจากนี้ น้ำเสียเข้าระบบมีค่าอัตราส่วน VFA : Alkalinity ในช่วง 0.07 ± 1.47 และเมื่อเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ R_t ระดับต่างๆ (100% 75% 50% 25% และ 0%) พบว่า VFA : Alkalinity ในน้ำทิ้งเท่ากับ 0.11 ± 0.03 0.11 ± 0.04 0.15 ± 0.031 0.09 ± 0.03 และ 0.12 ± 0.02 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ แสดงว่าระบบมีเสถียรภาพการทำงานดี ตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถปรับตัวทำงานกับน้ำเสียได้ และสามารถที่จะรักษาระดับกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่างได้อย่างสม่ำเสมอ

(2) การกำจัดชีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

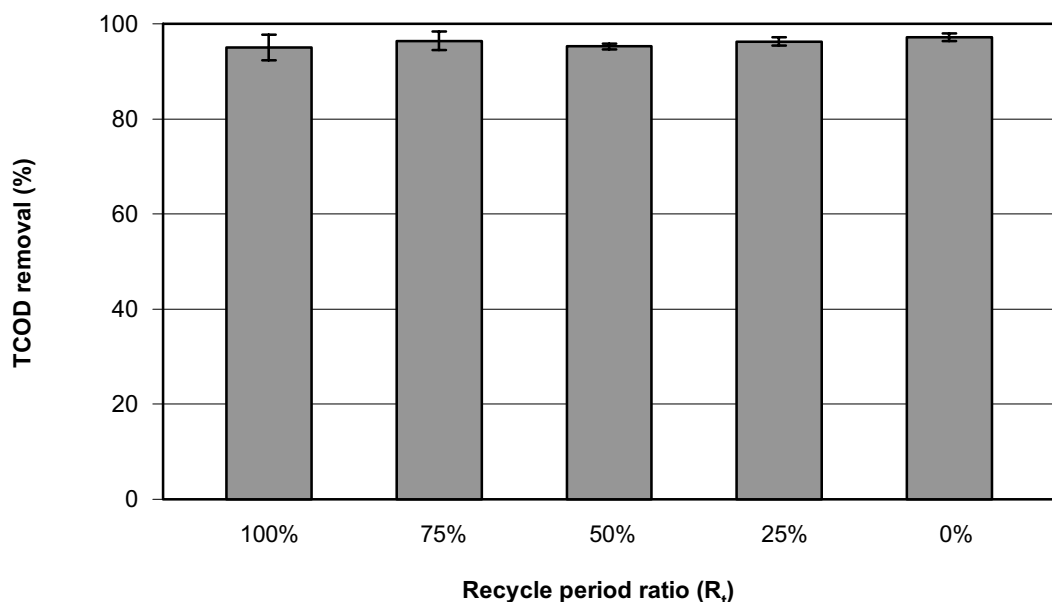
การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีตลอดระยะการทดลองที่ R_t เท่ากับ 100% 75% 50% 25% (ตารางที่ 3) ที่ภาวะคงตัว พบว่า ที่ $R_t=75\%$ ระบบ MCL มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD (รูปที่ 2) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 96.4% และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่ไม่มีการสูบลย้อนกลับ ($R_t=0\%$) พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด Total Chemical Oxygen Demand (TCOD) สูงที่สุด อยู่ที่ 97.1% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการสูบลย้อนกลับน้ำทิ้งทำให้เกิดการกวนผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ ส่งผลให้ SS และตะกอนจุลินทรีย์เกิดการฟุ้งกระจายแขวนลอยออกมากับน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ทุก R_t มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ใกล้เคียงกันโดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบ่อหมักไร้อากาศของ สกย. ยุงทอง พบว่า ระบบ MCL ที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์

สูงกว่า เนื่องมาจากระบบบำบัดของ สกย. ยุงทอง ถูกออกแบบให้ใช้ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดมาใช้ในการกวนผสม (mixing) เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสน้ำเสีย ซึ่งอาจรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ และระบบของ สกย. ยุงทอง มี HRT ต่ำกว่าระบบ MCL ที่ศึกษา 4 วัน อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบ MCL ยังคงมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานตามกฎหมาย (TCOD ไม่ควรเกิน 120 mg/L) ต้องมีบ่อรองรับสำหรับบำบัดอีกซึ่งสามารถใช้บ่อเดิมของสหกรณ์ที่มีอยู่นั่นเอง

ตารางที่ 3 TCOD ของน้ำเสีย น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R _t (%)	TCOD (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	2,592-4,185	3,459±806	112-205	159±46	94.99 ^a
75			82-147	114±33	96.42 ^a
50			155-217	186±44	95.25 ^a
25			122-127	125±3	96.26 ^a
0	4,858-6,811	5,590±1,064	131-172	154±20	97.15 ^a

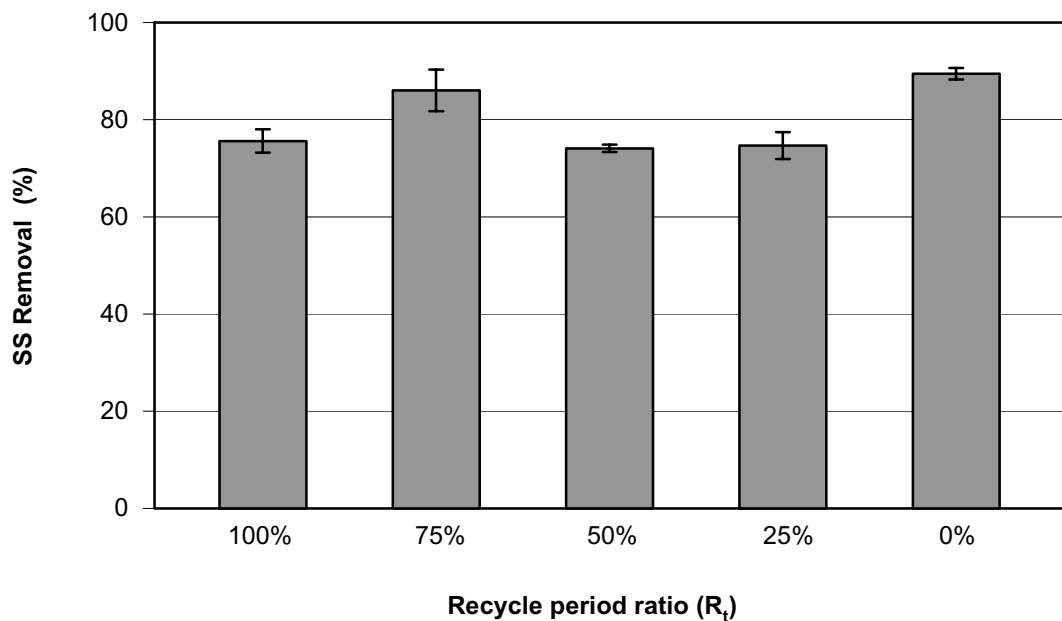
หมายเหตุ : อักษรที่ยกกำลังหลังค่าแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

(3) การกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ประสิทธิภาพการกำจัด SS ที่ทุก R_t มีประสิทธิภาพการกำจัดสูง เนื่องจากระบบ MCL ถูกออกแบบโครงสร้างให้เป็น 2 ส่วน (sections) อีกทั้งภายในบ่อแรกมีแผ่นกั้นสามารถดักและตกตะกอน SS ได้ดี ซึ่งเป็นการออกแบบปรับปรุง (modification) ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดได้เป็นอย่างดี จากการวิเคราะห์ความเข้มข้น SS ที่ R_t ระดับต่างๆ พบว่า ที่ $R_t=75\%$ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุด 86.1% (รูปที่ 3) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า ที่ทุก R_t (100% - 25%) ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด SS ต่ำกว่าที่ $R_t=0\%$ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการสูบน้ำเสียย้อนกลับทำให้เกิดการกวนผสมน้ำเสียส่งผลให้ SS และตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมีโอกาสฟุ้งกระจายแขวนลอยออกมากับน้ำทิ้ง โดยที่ $R_t=0\%$ มีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุดเท่ากับ 89.47%



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

(4) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production Rate)

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่สภาวะคงตัวในแต่ละสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่างๆ ($R_t=100\%-25\%$) พบว่า ที่ $R_t=50\%$ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 3.05 ± 0.96 L/d แต่เมื่อพิจารณาที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ R_t สูงสุด (100%) พบว่า มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำกว่าชุดอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.19 ± 0.52 L/d และเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ไม่มี

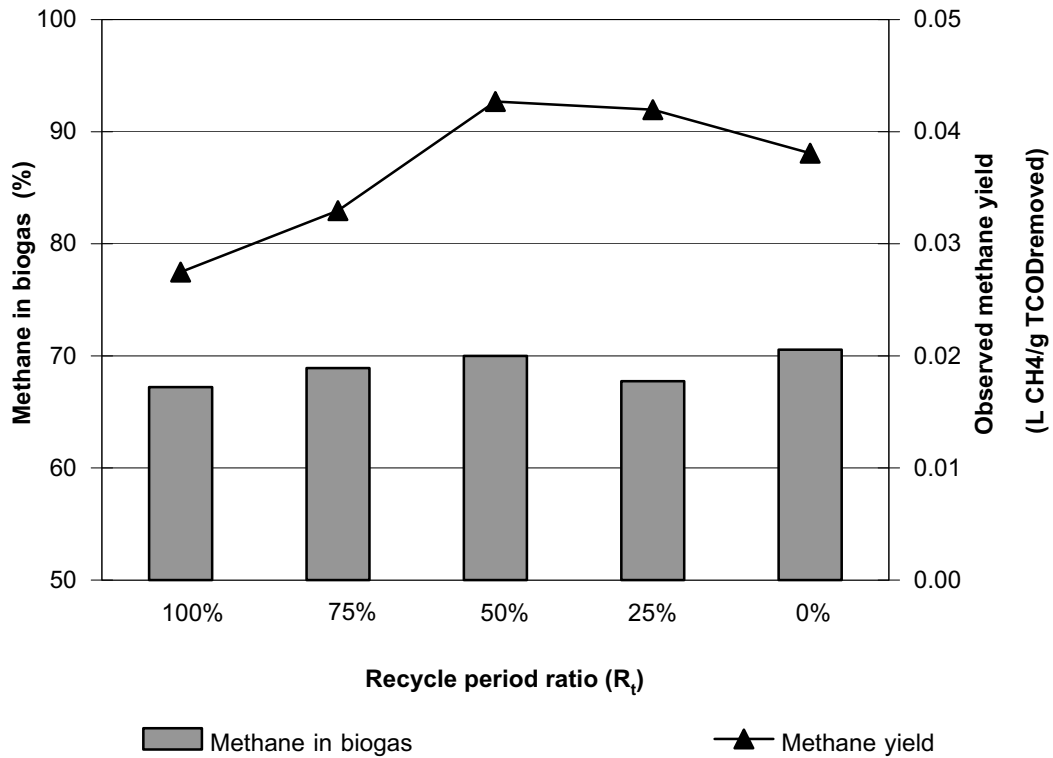
การสูบน้ำเสียน้อยกลับ ($R_t=0\%$) พบว่า ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 3.92 ± 0.23 L/d สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD (ตารางที่ 3) โดยเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ MCL ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่สภาวะคงตัว พบว่า มีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น 67-70% ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียน้อยกลับ (R_t) ระดับต่างๆ (ตารางที่ 4) คิดเป็นอัตราผลิตมีเทนต่อการกำจัด COD ประมาณ 0.04 ± 0.01 L_{CH4}/gCOD_{removed} (รูปที่ 4) เมื่อคำนวณตามอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Observed Methane Yield) พบว่า ระบบมีอัตราการเกิดมีเทนต่อ COD ที่ถูกกำจัดต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (0.35 L_{CH4}/gCOD_{removed}) ในทุกชุดการทดลองเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด อาจอยู่ในรูปของ SS ตกตะกอนในถังปฏิกิริยา และบางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ นอกจากนี้การวางระบบไว้ ณ โรงงาน อาจทำให้การทำงานของวัสดุอุปกรณ์เก็บก๊าซชีวภาพไม่สมบูรณ์ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ด้วย

ตารางที่ 4 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียน้อยกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	อัตรา การไหล (Q) (L/d)	TCOD น้ำเสีย (mg/L)	TCOD น้ำทิ้ง (mg/L)	TCOD Removal (%)	ปริมาตรก๊าซ ที่เกิดขึ้น (L/d)	CH ₄ (%)	อัตราการผลิต CH ₄ ต่อ TCOD ที่กำจัด (L CH ₄ / TCOD _{removed})
100	16.80	2,592-4,185	159±46	94.99 ^a	2.19±0.52 ^a	67.21	0.028±0.01 ^a
75			114±33	96.42 ^a	2.50±0.23 ^{ab}	68.91	0.033±0.01 ^a
50			186±44	95.25 ^a	3.05±0.96 ^{ab}	70.00	0.043±0.01 ^a
25			125±3	96.26 ^a	2.87±0.70 ^b	67.74	0.042±0.01 ^a
0*		4,858-6,811	154±20	97.15 ^a	3.92±0.23 ^c	70.56	0.038±0.01 ^a

หมายเหตุ: *เดินระบบหลังยางผลิตไบ



รูปที่ 4 สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ $\text{TCOD}_{\text{removed}}$ ของระบบ MCL ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ

2. การเดินระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ภายใต้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่าง ๆ

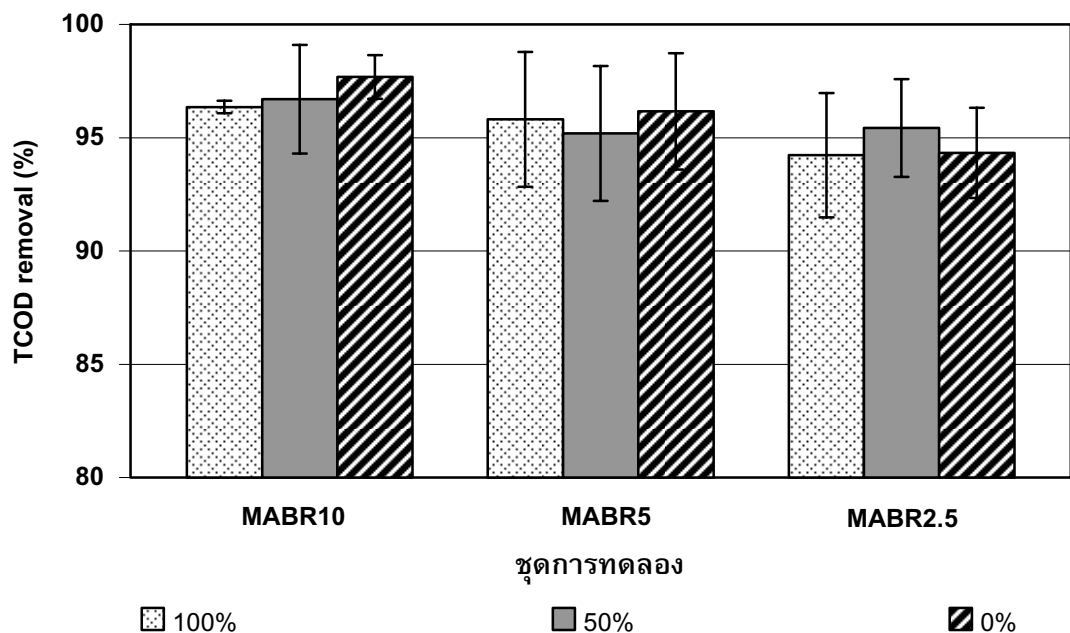
(1) พีเอช (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 5.09-6.58 และผลการทดลองจากการเดินระบบ MABR ที่ HRT 10, 5, และ 2.5 วัน ที่ $R_t=100\%$ ทำให้น้ำทิ้งมีค่า pH สูงกว่าที่ $R_t=50\%$ และ 0% เนื่องจากที่ R_t สูงมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบตลอดระยะเวลา (20 ชม.ต่อวัน) เป็นการหมุนเวียนนำค่า Alkalinity กลับเข้าสู่ระบบและเจือจางน้ำเข้าระบบ โดยระดับความเข้มข้นของ VFA และค่า pH ของทุกชุดการทดลองที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ คือ 50-500 mg/L as CH_3COOH และ 6.5-7.5 ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากการทดลองชุดต่างๆ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลง สอดคล้องกับ pH ของน้ำทิ้งที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามอัตราส่วน VFA : Alkalinity ของทุกชุดการ

ทดลองมีค่าต่ำกว่า 0.4 นั้นแสดงให้เห็นว่าระบบ MCL มีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีและมีเสถียรภาพที่สภาวะที่ทำการทดลอง

(2) การกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

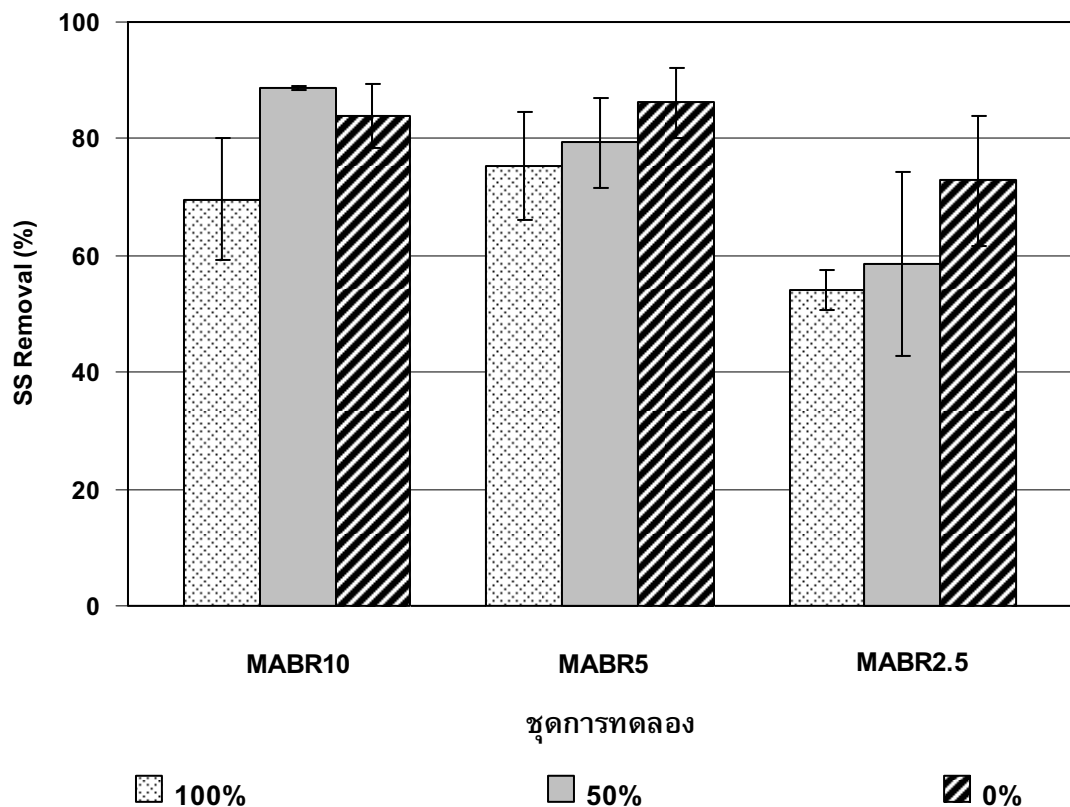
ความเข้มข้น TCOD น้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองเท่ากับ $3,810 \pm 1,016$ mg/L ในระยะแรกของการเดินระบบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ค่อนข้างต่ำเนื่องจากระบบอยู่ในช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้เข้ากับน้ำเสีย เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มากกว่า 90% ที่ทุก R_L (รูปที่ 5) โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ R_L ต่างๆ แต่พบแนวโน้มการกำจัดสารอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_L ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการกวนผสมที่สูงอาจเป็นการรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ หรืออาจทำให้ความเข้มข้นสารอินทรีย์ของน้ำในถังแรกลดลงและกระจายเพิ่มไปสู่ถังต่อไป ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (kinetics) ที่ต่ำลง เมื่อพิจารณาผลของ HRT ต่อการบำบัดพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ลดลงเมื่อ HRT ลดต่ำลง เพราะระบบรับภาระสารอินทรีย์ (organic loading) สูงขึ้นและตะกอนจุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียสั้นลง



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ที่ระยะเวลาการทดลองต่างๆ (ก) ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_L) ต่างๆ (ข)

(3) การกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ผลการศึกษาพบว่า ระบบ MABR ที่ $R_t=100\%$ มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS ต่ำสุดในทุก HRT (รูปที่ 6) โดยมีความเข้มข้น SS ในน้ำทิ้งอยู่ที่ 100 ± 51 , 88 ± 61 และ 146 ± 60 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS อยู่ที่ $54.0\pm3.4\%$ $58.5\pm15.7\%$ และ $72.9\pm11.2\%$ ของระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ที่ HRT 10 วัน (MABR10) ที่ R_t ระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในระบบ MABR5 และ MABR2.5 เนื่องจากที่ R_t สูง (100% ; MABR10) มีอัตราการกวนผสมที่สูงกว่าจึงทำให้สารแขวนลอยและการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบางส่วนหลุดออกมากับน้ำทิ้ง

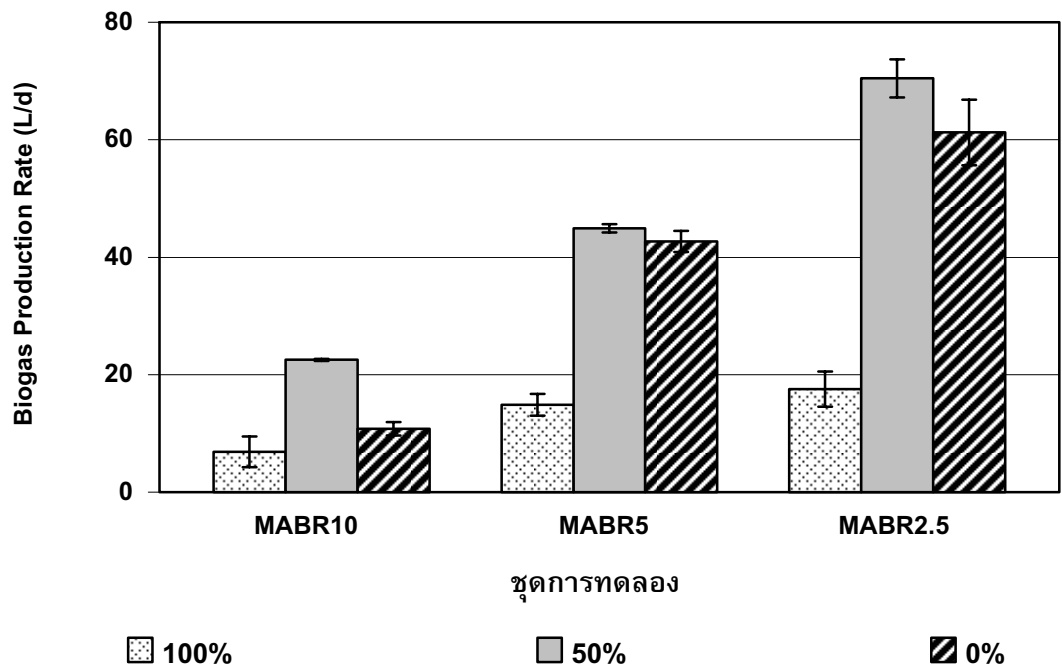


รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบกลับน้ำทิ้ง (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

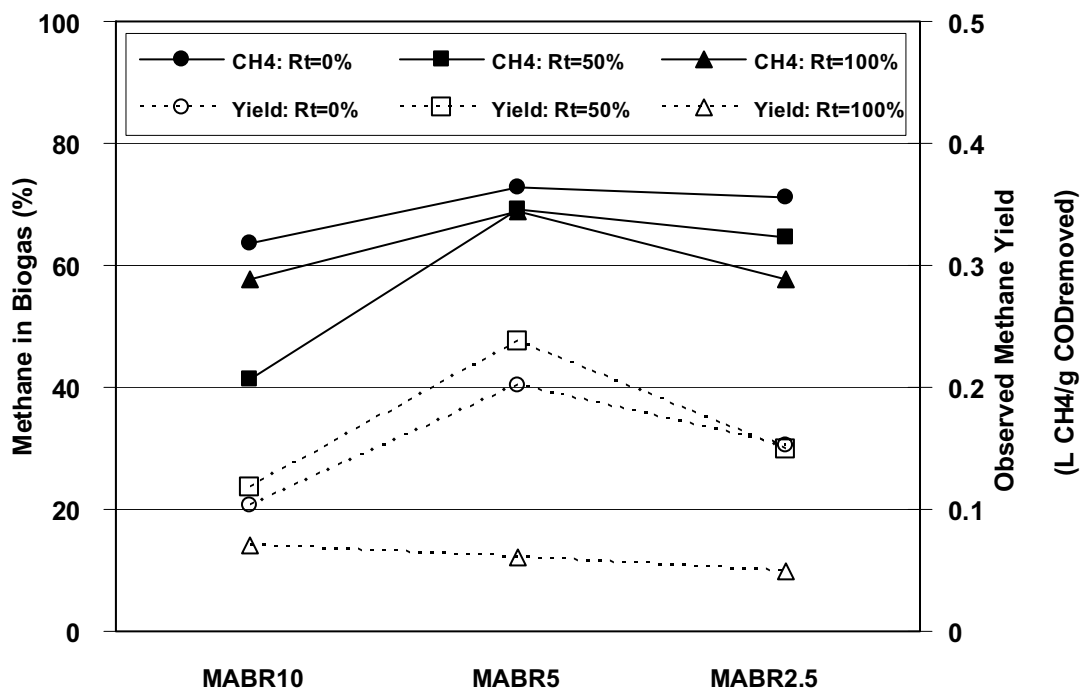
(4) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production Rate)

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย MABR ที่สภาวะคงตัวที่ MABR10 ทุก R_i มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุดเท่ากับ 6.87 ± 2.61 22.52 ± 0.20 และ 10.79 ± 1.14 L/d ของ $R_i=100\%$ 50% และ 0% ตามลำดับ (รูปที่ 7) และเมื่อ HRT ลดต่ำลง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบ (OLR) เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นว่าที่ $R_i=50\%$ ของทุกชุดการทดลองระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ขณะที่ $R_i=100\%$ ในทุก HRT ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำสุด เนื่องจากการกำจัด TCOD ต่ำกว่าที่ $R_i=50\%$ และ 0% โดยที่ $R_i=100\%$ มีการกำจัด TCOD เพียง 2.6 g/L ขณะที่ $R_i=50\%$ และ 0% มีการกำจัด TCOD 3.4 g/L และ 4.0 g/L ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากทั้ง 3 ระบบ พบว่าที่ $R=100\%$ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าที่ $R_i=50\%$ และ 0% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ พบว่าที่ HRT 5 วัน (MABR5) ของทุก R_i มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 68.9%, 69.3% และ 72.8% ตามลำดับ และจะสังเกตว่าองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ $R_i=0\%$ มีค่าสูงสุดในแต่ละ HRT มีค่าเท่ากับ 63.7% 72.8% และ 71.1% ของ HRT 10, 5, และ 2.5 วัน ตามลำดับ คิดเป็นอัตราผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD 0.12 0.24 และ 0.15 $L_{\text{methane}}/g\text{COD}_{\text{removed}}$ (รูปที่ 8) ส่วนอัตราการเกิดมีเทนต่อ COD ที่ถูกกำจัดในทุกชุดการทดลองต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีที่ $0.35 L_{\text{methane}}/g\text{COD}_{\text{removed}}$ (Tchobanoglous and Burton, 1991) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในระบบไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด มีบางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ และส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของ SS ที่ตกตะกอนอยู่ในถังปฏิกิริยา ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์บางส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดด้วยระบบเท่านั้น



รูปที่ 7 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 8 องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ $\text{TCOD}_{\text{removed}}$ ของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว

3. ประเมินความคุ้มค่าในรูปของระยะเวลาคืนทุนของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน

1) การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการใช้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 0% เปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซหุงต้ม พบว่า มูลค่าของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสีย สกย. แบบไร้อากาศ มีมูลค่าเท่ากับ 170.85 บาท/วัน หาก 1 ปี ผลิต 200 วัน ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะมีมูลค่าเท่ากับ 34,170 บาท/ปี และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมอากาศของ สกย. พบว่า ระบบก๊าซชีวภาพสามารถประหยัดให้แก่สหกรณ์ สกย. ได้ถึง 59,406 บาท/ปี

2) การประเมินราคาค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายเพื่อประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นในการสร้างระบบ MCL และ MABR ระดับ Full scale พบว่า ระบบ MCL มีค่าก่อสร้างในการเดินระบบ 178,290 บาท โดยไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ ขณะที่ระบบ MABR มีค่าก่อสร้าง 122,025 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการเดินระบบคือค่าไฟฟ้าประมาณ 135 บาท/เดือน ระบบทั้งสองโดยเฉพาะระบบ MCL เป็นระบบที่ง่ายต่อการดูแลรักษาและสามารถมอบหมายให้พนักงานหรือเจ้าหน้าที่ของสหกรณ์ดูแลเองได้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ MCL และ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ พบว่า ทั้ง 2 ระบบ ที่ทุกสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับมีค่าการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อีกทั้งค่า pH Alkalinity และ VFA ของระบบอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบไร้อากาศ โดยค่า pH ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วงเป็นกลาง และอัตราส่วนของ VFA : Alkalinity ที่ต่ำกว่า 0.4 ของทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเสถียรภาพในการทำงาน อีกทั้งระบบ และผลจากการศึกษาชี้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MCL ในการบำบัดน้ำเสียจากการโรงอบ/รมยาง ที่ HRT 30 วัน สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ 0% มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD 97.1% มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 3.92 L/d ซึ่งมีองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงถึง 70.6% ดังนั้นจากการทดลองในครั้งนี้เห็นว่าระบบ MCL ไม่จำเป็นต้องมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับก็มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงเทียบเท่าที่มีการกวนผสม สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของระบบ MABR ที่เหมาะสมได้แก่ที่ HRT 5 วัน ที่ $R_L = 0\%$ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD 96.0% อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 42.7 L/d และองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 72.8% และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมอากาศของ สกย. พบว่า ระบบไบโอก๊าซสามารถประหยัดให้แก่สหกรณ์ สกย. ได้ถึง 57,958 บาท/ปี

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG4950108
ชื่อโครงการ : การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรง
รมควั่นยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง
ชื่อนักวิจัย : สุเมธ ไชยประพัทธ์¹ และ อิศรา รังงาม²
¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
²คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา
E-mail address : sumate.ch@psu.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : สิงหาคม 2549 – กุมภาพันธ์ 2552

น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางแผ่นรมควันปนเปื้อนมลสารต่างๆ และมีความเป็นกรด
เนื่องจากการใช้กรดฟอร์มิคในการจับตัวเนื้อยางซึ่งหากบำบัดน้ำเสียด้วยระบบแบบไร้อากาศ
จะได้ก๊าซชีวภาพที่ค่อนข้างสะอาดเนื่องจากไม่มีการใช้กรดซัลฟิวริกในการผลิตซึ่งจะทำให้เกิด
ก๊าซไข่เน่า (H_2S) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัด
ประยุกต์และผลของสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อระบบหมักไร้อากาศเพื่อผลิตเชื้อเพลิงก๊าซ
ชีวภาพจากน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่น พร้อมทั้งประเมินความคุ้มค่าในเชิง
เศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดดังกล่าวสำหรับโรงอบ/รมยางแผ่นสหกรณ์กองทุน
สวนยางเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน โดยได้เลือกใช้ระบบบำบัดไร้อากาศแบบระบบบ่อหมัก
ย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ซึ่งระบบประกอบด้วยถังปฏิกริยา 2
ใบ เชื่อมต่อกัน มีปริมาตรใช้งานรวม 504 ลิตร เติมน้ำที่ HRT 30 วัน ที่สัดส่วนการสูบน้ำเสีย
ย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_r) ระดับต่างๆ ได้แก่ 100% (สูบน้ำหมุ่นเวียนตลอดเวลา)
75% 50% 25% และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำหมุ่นเวียน) ส่วนระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่น
กั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ประกอบด้วยถังปฏิกริยาจำนวน
3 ใบเรียงต่อกัน มีปริมาตรใช้งานรวม 204 ลิตร เติมน้ำที่ HRT 10 วัน (AD10) 5 วัน (AD5)
และ 2.5 วัน (AD2.5) ด้วยสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ระดับ 100% 50% และ 0% ในแต่ละ
HRT โดยนำเสียเข้าระบบมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.09-6.58 และ COD เฉลี่ย $3,710 \pm 900$ mg/L

จากการศึกษาพบว่า ระบบ MCL มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD สูงสุดเฉลี่ย 97.2%
96.4% 96.3% 95.5% และ 95.0% ที่ R_r เท่ากับ 0% 75% 25% 50% และ 100% ตามลำดับ
โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่สัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับ
ต่างๆ ซึ่งพบว่าที่ R_r เท่ากับ 0% มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบก๊าซมีเทนสูงสุด
เฉลี่ยเท่ากับ 3.92 L/d และ 70.56% ตามลำดับ ส่วนการทำงานของระบบ MABR ที่ HRT 10 5

และ 2.5 วัน พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 97.7% (ที่ $R_t=0\%$) 97.3% (ที่ $R_t=0\%$) และ 95.4% (ที่ $R_t=50\%$) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า R_t ในอัตราที่ทำการศึกษาไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัด TCOD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ HRT ที่ทำการศึกษา อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเกิดขึ้นที่ $R_t=50\%$ เฉลี่ยเท่ากับ 22.5 44.9 และ 70.5 L/d ที่ HRT=10 5 และ 2.5 วัน ตามลำดับ โดยพบว่าที่ R_t ต่ำกว่าระบบจะมี อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าที่ R_t สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่าองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพในทุก HRT (10, 5, และ 2.5 วัน) จะสูงสุดที่ $R_t=0\%$ มีค่าเท่ากับ 63.7%, 72.8% และ 71.1% ตามลำดับ ดังนั้นผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า สภาวะการเดินระบบ MCL ที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ และระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเป็นสภาวะที่เหมาะสมสามารถกำจัด COD ได้สูงกว่า 90% สม่าเสมอ และให้องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงใกล้เคียงกับค่าที่สูงที่สุด การที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับสำหรับกวนผสมจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและความยุ่งยากในการสร้างระบบ

คำหลัก : ก๊าซชีวภาพ; ยางแผ่นรมควัน; น้ำเสีย; พลังงานทดแทน; ระบบบำบัดน้ำเสีย;
สหกรณ์กองทุนสวนยาง

Abstract

Project code : RDG4950108

Project title : Evaluation of appropriate anaerobic wastewater treatment for Sheet Rubber Plantation Aid Fund Co-operation plant

Investigators : Chaiprapat, S.¹, Rukgham, E.²
¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla
²Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

E-mail address : sumate.ch@psu.ac.th

Project duration : August 2006 – February 2009

Wastewater from the small cooperative rubber sheet factories (CRSFs) contains organic and inorganic pollutants and is acidic due to the use of formic acid in the production process. If this wastewater is treated anaerobically, it will yield the biogas which is rather clean (low H₂S concentration) because of the absence of sulfuric acid, normally used in rubber production in large scale factories. Thus, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of the modified anaerobic systems and the effects of wastewater recycle period ratio for the production of biogas from CRSFs wastewater, as well as to assess the feasibility for the investment of anaerobic treatment system to produce this alternative energy. In the experiments, pilot-scale Modified Covered Lagoon Digester (MCL) each consisting of 2 connected rectangular boxes of 504 L working volume were operated at 30 days hydraulic retention time (HRT) under recycle period ratios (R_t) of 100% (continuous wastewater recycle mixing) 75% 50% 25% and 0% (no wastewater recycle mixing). As for the pilot-scale Modified Anaerobic Baffled Reactor (MABR), the system consisted of 3 cylindrical reactors connected in series with a total working volume of 204 L operated at HRT 10 (AD10), 5 (AD5), and 2.5 (AD2.5) days under recycle period ratios of 100%, 50% and 0% in order. The wastewater had pH of 5.09-6.58 and COD of 3,710±900 mg/L.

Results showed that MCL systems could remove TCOD as high as 97.2%, 96.4%, 96.3%, 95.5% and 95.0% at R_t = 0%, 75%, 25%, 50% and 100%, respectively, of which no statistical difference ($p < 0.05$) among the means was detected. Highest biogas production and methane content, 3.92 L/d and 70.56%, were obtained at R_t =0%.

In MABR systems, average TCOD removals were 97.7% (at $R_t=0\%$), 97.3% (at $R_t=0\%$), and 95.4% (at $R_t=50\%$) at HRT 10, 5, and 2.5 days, respectively. R_t in the experimented conditions did not cause significant difference in TCOD removal at each HRT tested. Maximum biogas production occurred at $R_t=50\%$ at the average of 22.5, 44.9, and 70.5 L/d under HRT=10, 5, and 2.5 days, respectively. It was found that lower R_t could statistically yield higher biogas production compared to system operated at higher R_t value. Moreover, methane composition was highest at $R_t=0\%$ at all tested HRTs; 63.7% (HRT 10d), 72.8% (HRT 5d), 71.1% (HRT 2.5d). Thus, the MCL system could be suitably run at HRT 2.5 days while both systems could be run at no recycle mixing ($R_t=0\%$) to achieve a comparable performance of consistent COD removal over 90% and high methane content in the biogas. This could be due to the inherited characteristics of the systems. No mixing requirement leads to a more economical operation and simplicity of the system construction.

Keywords : biogas; ribbed smoked sheets; wastewater; alternative energy; wastewater treatment; rubber plantation aid fund co-operation plants

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

เนื่องจากวิกฤตการณ์ราคาพลังงานที่ประเทศประสบอยู่ในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลได้มีแนวนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วนซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดการพึ่งพาด้านพลังงานจากต่างประเทศ และลดการสูญเสียเงินตราสู่ภายนอกประเทศได้ นอกจากการลดการใช้พลังงานแล้วการหาแหล่งพลังงานทดแทน (alternative or renewable energy) ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากฐานของปิโตรเลียม การผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานสีเขียวเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ปัจจุบันการพัฒนาด้านดังกล่าวที่รู้จักกันแพร่หลาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไบโอดีเซล ก๊าซโซฮอลล์ และก๊าซชีวภาพ ในกลุ่มนี้การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องการการลงทุนสูง สามารถทำในระดับเล็กได้ และก๊าซชีวภาพนี้สามารถผลิตได้จากของเสียที่เป็นอินทรีย์สารต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะได้พลังงานมาใช้แล้วยังเป็นการบำบัดของเสียช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปด้วยพร้อมๆ กัน

ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีการผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยร้อยละ 90 เป็นยางดิบแปรรูป ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ โดยยางแผ่นรมควันนั้นเป็นความต้องการของผู้ผลิตยางล้อ ซึ่งสถิติในช่วง 10 ที่ผ่านมามีการส่งออกยางแผ่นรมควันค่อนข้างคงที่เฉลี่ยประมาณ 1 ล้านตันต่อปี

การผลิตยางแผ่นในอดีตมักจะทำเฉพาะในครัวเรือนทำให้คุณภาพของยางแผ่นที่ได้ไม่ดี และสม่ำเสมอเท่าที่ควร ประกอบกับในช่วงปี พ.ศ. 2535-2536 ได้เกิดภาวะราคายางตกต่ำ ราคายางแผ่นดิบลดลงเหลือเพียง 12-13 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตยางแผ่นดิบในเวลานั้นอยู่ที่ราคา 17 บาท/กิโลกรัม ด้วยเหตุนี้เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องยางในระยะยาว ในปี พ.ศ. 2537-2538 รัฐบาลได้มีนโยบายที่จะยกระดับคุณภาพยางแผ่นของเกษตรกรให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด จึงสนับสนุนการสร้างโรงรมควันยางแผ่น โดยดำเนินการสร้างในปี พ.ศ. 2537 จำนวน 300 โรง และปี พ.ศ. 2538 จำนวน 400 โรง ปัจจุบันได้จัดตั้งโรงรมควันยางแผ่นเสร็จสิ้นไปแล้ว 695 โรง (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2549) ในการจัดตั้งโรงรมควันยางแผ่นนั้นเกษตรกรรายย่อยจะมารวมตัวกันเป็นกลุ่มในรูปแบบสหกรณ์กองทุนสวนยาง เพื่อช่วยให้กลุ่มเกษตรกรเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยางแผ่น รวมทั้งมีกำลังในการต่อรองกับพ่อค้าคนกลางที่รับซื้อยางแผ่นรมควัน ทำให้จำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันนั้นก่อให้เกิดผลกระทบตามมาคือ เกิดน้ำเสียเป็นจำนวน

มาก เนื่องจากมีการใช้น้ำในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เมื่อหมักหมมจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนเป็นมลพิษทางอากาศ และเมื่อระบายออกโดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างพอเพียงก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำในพื้นที่นั้นๆ แม้ว่าทางสหกรณ์โรงอบ/รมยางจะมีระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากการสำรวจของ Chaiprapat, S. and Sdoodee, S. (2007) พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางได้ที่แบบไว้มี 2 รูปแบบ โดยรูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์รุ่นปี พ.ศ. 2537 เป็นบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ ตามด้วยบ่อผึ่ง 1 บ่อ และระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์รุ่นปี พ.ศ. 2538 เป็นบ่อหมักไร้อากาศแบบเปิด บ่อเติมอากาศ และบ่อผึ่ง ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 รูปแบบนี้ได้ประสบกับปัญหาเศษยางเข้าไปอุดตันในเครื่องเติมอากาศบ่อยครั้ง ทำให้เกิดความยุ่งยากในการดูแล และเสียค่าใช้จ่ายในซ่อมบำรุงจึงได้หยุดการเติมอากาศ ระบบบ่อดังกล่าวจึงแปรสภาพไปเป็นบ่อไร้อากาศ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และน้ำที่ดังกล่าวนำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อปล่อยน้ำเสียดังกล่าวออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียงและจากการประเมินเบื้องต้นพบว่าน้ำเสียของสหกรณ์แห่งนี้มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงถึง 15-20 m³/d ซึ่งเป็นก๊าซที่ค่อนข้างสะอาดเพราะไม่มีการใช้กรดซัลฟิวริกในการผลิต สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นหากมีการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับบำบัดน้ำทิ้งให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน รวมทั้งมีความสามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้ ก็จะช่วยลดปัญหาดังที่กล่าวข้างต้น

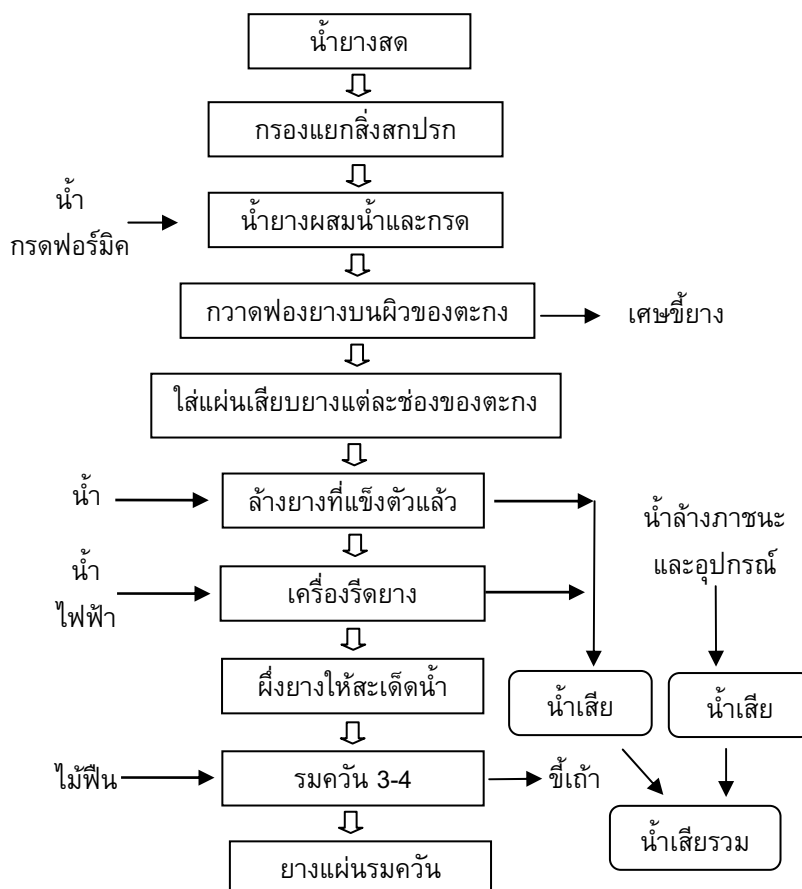
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) เป็นระบบที่สามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน ช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้มีค่าความสกปรกน้อยลง ระบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และมีก๊าซมีเทนเป็นผลพลอยได้ สามารถพักระบบได้ในระยะยาว และฟื้นฟูระบบได้เร็วเมื่อเริ่มบำบัดใหม่ สอดคล้องกับการผลิตยางแผ่นที่ไม่สามารถทำได้ต่อเนื่องตลอดปี เนื่องจากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนของทุกปีเป็นช่วงฤดูยางผลัดใบ จึงไม่มีการผลิตน้ำยางทำให้ระบบบำบัดต้องหยุดเดินในช่วงเวลาดังกล่าว

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับสหกรณ์โรงอบ/รม แบบระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ซึ่งเป็นระบบที่ได้ดัดแปลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและมีความเหมาะสมกับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ซึ่งหากระบบทั้งสองดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่องมีเสถียรภาพ และมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ก็จะเป็นต้นแบบของแนวทางการจัดการของเสียจากการผลิตยางแผ่นของชุมชนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 กรรมวิธีการผลิตยางแผ่นรมควัน

การดำเนินการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง เป็นการผลิตจากน้ำยางสด โดยกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ผลิตจากน้ำยางสด (รูปที่ 1-1) เริ่มจากการรับซื้อน้ำยางสดจากสมาชิกของสหกรณ์ และนำน้ำยางสดที่ได้มากรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกปลอมปนออกจากน้ำยาง แล้วนำน้ำยางนั้นมาผสมน้ำและกรดฟอร์มิคในอัตราส่วนที่เหมาะสมให้เข้ากัน กวาดฟองยางที่เกิดขึ้นออกก่อนที่จะใส่แผ่นเสียบยางแต่ละช่องของตะกง เพื่อให้แผ่นยางมีขนาดที่เท่าๆ กัน รอให้ยางแข็งตัวประมาณ 3-4 ชั่วโมง ถอดแผ่นเสียบยางออก หลังจากนั้นจึงยกยางออกจากตะกงมาล้างกรดและสิ่งสกปรก แล้วจึงนำยางที่ได้เข้าเครื่องรีดยางเพื่อรีดให้เป็นแผ่น โดยในขั้นตอนการรีดยางจะเปิดน้ำเพื่อใช้หล่อลื่นลูกจักรรีดยางไปพร้อมๆ กัน เมื่อรีดยางเสร็จตากแผ่นยางบนราวไม้ไผ่ผึ่งให้แห้งประมาณ 1 คืบ หลังจากนั้นจึงนำเข้าห้องรมที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3-4 วัน เพื่อให้ยางสุก ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต คือ เศษขี้ยาง ขี้เถ้าที่เกิดจากเตารมควัน และน้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำขี้รมในน้ำยางสดที่รีดออกจากแผ่นยาง น้ำล้างภาชนะและอุปกรณ์ระหว่างการผลิต และหลังจากการผลิตเสร็จในแต่ละวัน



รูปที่ 1-1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจากน้ำยางสด

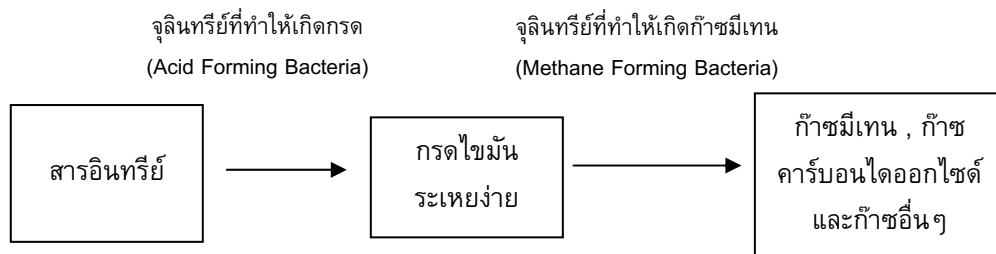
1.2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

กระบวนการย่อยสลายสารมลพิษในน้ำเสียทางชีวภาพสามารถจำแนกได้ 2 แบบหลักๆ คือ กระบวนการแบบใช้อากาศ (aerobic) และแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic) การย่อยสลายแบบใช้อากาศนั้นได้ถูกพัฒนาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียต่างๆ โดยจะมีการเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ดำรงชีพด้วยการย่อยสลายและดูดซับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ต้องใช้อากาศหายใจดำเนินกระบวนการย่อยสลายนี้อย่างต่อเนื่อง ในการนี้การเติมอากาศลงสู่ น้ำเสียอย่างสม่ำเสมอมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อดำรงไว้ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์จำพวกนี้เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะค่าไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงระบบเครื่องเติมอากาศนั้นสูง จนในบางสถานการณ์หรือในอุตสาหกรรมบางประเภทไม่สามารถที่จะดำเนินการต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้ามจุลินทรีย์จำพวกหนึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะไม่ใช้อากาศ และสามารถย่อยสลายสารมลพิษต่างๆ ได้เช่นเดียวกัน แต่จะมีพลอยได้คือก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ และจะเห็นว่าระบบบำบัดประเภทนี้ ไม่มีความจำเป็นในการเติมอากาศ จึงสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาระบบเครื่องเติมอากาศ หนึ่งข้อเสียของระบบไม่ใช้อากาศคือการที่กระบวนการย่อยสลายนั้นดำเนินช้ากว่าแบบเติมอากาศ ฉะนั้นการบำบัดน้ำเสียปริมาณเดียวกัน ระบบไม่ใช้อากาศจะต้องการระยะเวลานานกว่า ซึ่งก็ถือว่าเป็นข้อแลกเปลี่ยนกับค่าใช้จ่ายที่ลดลงนั้น

โดยทั่วไปแล้วระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศอย่างเช่นระบบบ่อไม่ใช้อากาศ (anaerobic pond) และถังหมักไม่ใช้อากาศ (anaerobic digester) ได้ถูกนำมาใช้ในส่วนต้นของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อเป็นการลดโหลดหรือภาระบรรทุกสารอินทรีย์สำหรับขั้นตอนต่อไปในระบบบำบัดซึ่งส่วนมากที่ใช้จะเป็นระบบแบบเติมอากาศ ฉะนั้นจึงสามารถลดการเติมอากาศลงได้เป็นอย่างมากเพราะน้ำเสียนั้นมีความสกปรกตกลง หรือแม้ในกรณีที่ระบบบ่อฝังที่อาศัยการละลายของออกซิเจนในอากาศสู่ น้ำตามธรรมชาติก็จะทำให้ความต้องการปริมาตรของบ่อลดลง ระบบหมักไม่ใช้อากาศสามารถกำจัดความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ได้มากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เช่นในอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสามารถกำจัดได้ถึงร้อยละ 80-95 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 30-60 วัน (Southworth, 1979; Thanh, 1980; Ng et al., 1984; Hashim et al., 1986) และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับน้ำเสียหลากหลายชนิด โดยในระบบหมักไม่ใช้อากาศปัจจุบันได้เน้นการเก็บกักเซลล์ของตะกอนจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบนานขึ้นซึ่งเท่ากับเป็นการทำให้ผลต่างของระยะเวลาการกักเก็บของตะกอน (Solid Retention Time) และระยะเวลาการกักเก็บของน้ำ (Hydraulic Retention Time) ในระบบกว้างขึ้นและนำไปสู่อัตราการย่อยสลายที่เร็วขึ้นได้ ซึ่งหลักการดังกล่าวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงระบบบำบัดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย

1.2.3 กลไกและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) ความแตกต่างระบบย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ (หรือไร้ออกซิเจน) จากระบบแบบเติมอากาศ คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศจะไม่มีออกซิเจนอิสระเป็นตัวรับอิเล็กตรอน แต่จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้ได้ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลผลิต การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบ่งตามปฏิกิริยาชีวเคมีได้ 4 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ในขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ซึ่งจุลินทรีย์ที่สร้างกรด (Acidogens) จะเปลี่ยนรูปสารที่เป็นผลผลิตจากขั้นแรกไปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFA) เช่น กรดอะเซติก กรดโพรพโอนิก และกรดบิวไทริก เป็นต้น ถึงขั้นตอนนี้ยังไม่เกิดการกำจัดสารอินทรีย์ เป็นเพียงการแปรรูปให้สามารถย่อยสลายได้ในขั้นตอนต่อไป ขั้นต่อมาเป็นการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายประเภทอื่นไปเป็นกรดอะเซติก ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนด้วยโดยมีจุลินทรีย์กลุ่ม Acetogens ทำหน้าที่นี้ และสารที่ได้จะเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จุลินทรีย์กลุ่ม Methanogens นำไปเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ขึ้นมาในขั้นตอนสุดท้าย (Tchobanoglous, 1991) หรืออาจสามารถแยกการย่อยสลายใน 4 ขั้นตอนดังกล่าวได้เป็น 2 ระยะ คือระยะปฏิกิริยาการสร้างกรด (Acid Formation Phase) ในช่วงต้นโดยจุลินทรีย์แอซิดฟอเมอร์ที่ สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรดได้ดี ซึ่งจะเหมาะสมกับน้ำเสียจากสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นที่มีความเป็นกรดอยู่เล็กน้อยเพราะมีการใช้กรดฟอสฟอริกในขั้นตอนการจับตัวเนื้อยาง และระยะปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน (Methane Formation) ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจะใช้กรดที่ถูกผลิตขึ้นในขั้นตอนแรก โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนนี้ต้องการ pH ในช่วงที่เป็นกลาง ซึ่งหากน้ำเสียมีความเป็นด่าง (Alkalinity) เพียงพอ ระบบก็จะรักษาระดับ pH ภายในไว้ได้



รูปที่ 1-2 ปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบไร้อากาศ

การย่อยสลายแบบไร้อากาศนี้เป็นการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายกลุ่มซึ่งลักษณะการทำงานจะเป็นแบบสายโซ่ต่อเนื่องคือจุลินทรีย์กลุ่มที่สองต้องรอให้อีกกลุ่มที่หนึ่งย่อยสารให้เป็นสารที่ตนสามารถย่อยได้ก่อน จึงเป็นกระบวนการที่ต้องพึ่งพากันอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นสภาวะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์ต้องให้เหมาะสมกับการดำรงอยู่ของจุลินทรีย์ทุกกลุ่มอย่างสมดุล มิฉะนั้นระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศจะไม่สามารถดำเนินไปได้ ปัจจัยที่มีผลต่อระบบการย่อยสลายเป็นไร้อากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545) มีดังนี้คือ

(1) อุณหภูมิ โดยมีช่วงที่เหมาะสม 2 ช่วงคือช่วง Mesophilic ที่ 30-40 องศาเซลเซียส และช่วง Thermophilic ที่ 45-55 องศาเซลเซียส ถึงกระนั้นปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้อากาศก็สามารถที่จะดำเนินไปได้ที่ระดับอุณหภูมินอกช่วงทั้งสองนี้ได้แต่ประสิทธิภาพอาจไม่สูงเท่ากับทั้งสองช่วงดังกล่าว

(2) pH ที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายแบบไร้อากาศในถังเดี่ยวคือ 6.7-7.4 การที่ค่า pH ในระบบลดต่ำลงอาจเป็นผลมาจากการสะสมของกรดไขมันซึ่งเป็นสารผลผลิตตัวกลาง (intermediates) ระหว่างกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ลักษณะที่มีการสะสมของกรดไขมันเช่นนี้เป็นแสดงถึงความไม่สมดุลของการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนในการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นมีเทน

(3) ระยะเวลาการกักเก็บชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) เป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่น้ำอยู่ในถังปฏิกรณ์หรือคือเวลาที่น้ำสัมผัสกับจุลินทรีย์ ระบบที่มีระยะเวลากักเก็บชลศาสตร์ต่ำจะมีขนาดถังเล็กลงแต่ถ้าระยะเวลากักเก็บชลศาสตร์ต่ำเกินไปจะทำให้ระบบรับภาระการบำบัดสูงเกินไปและอาจทำให้สูญเสียตะกอนจุลินทรีย์ จนนำไปสู่ความล้มเหลวในการเดินระบบ ฉะนั้นระบบที่ดีควรมีระยะเวลากักเก็บชลศาสตร์ต่ำพอและสามารถคงระบบให้เดินได้โดยสมดุล

(4) ระยะเวลาการพักตะกอน (SRT) หรืออายุสลัดจ์ เป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่อนุภาคของตะกอนอยู่ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งวัดจากปริมาณตะกอนที่มีอยู่ในถังปฏิกรณ์ทั้งหมดต่อการสูญเสียตะกอนออกนอกถังใน 1 วัน การที่ระบบมีปริมาณสลัดจ์หรือตะกอนจุลินทรีย์อยู่สูงมิได้แสดงว่าระบบนั้นจะมีความเสถียร เพราะหากปริมาณตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งมีสูงจะทำให้ระบบเกิดการสูญเสียตะกอนโดยรวม และเนื่องจากตะกอนในระบบไร้อากาศมีอัตราการผลิตต่ำ เมื่อมีการสูญเสียตะกอนเกินกว่าที่เกิดขึ้นใหม่ในระบบจะทำให้ระบบล้มเหลวได้ในที่สุด

(5) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) เป็นความสามารถที่ระบบจะต่อต้านหรือเป็นบัฟเฟอร์กับการลดลงของ pH ซึ่งโดยมากจะเกิดจากการสะสมของกรดไขมันที่ถูกผลิตขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดในระหว่างการย่อยสลายแบบไร้อากาศ การสะสมของกรดไขมันในระบบบ่งถึงสภาวะที่จุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนไม่สามารถทำการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นก๊าซมีเทนได้ทันอันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของระบบ หรือการเกิดภาระบรรทุกเกินความสามารถของระบบ (shock load)

(6) ความเป็นพิษ (Toxicity) เกิดจากสารทั้งที่เกิดขึ้นเองในระบบและสารที่เติมเข้าไปในระบบ กรดไขมันดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วเมื่อเกิดการสะสมจะทำให้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน โดยทั่วไปควรอยู่ในช่วง 50-500 mg/L ปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มาจาก การย่อยสลายของโปรตีนและสารอินทรีย์ต่างๆ ในรูป NH_3 จะมีความเป็นพิษมากกว่ารูป NH_4^+ ฉะนั้นถ้า pH มีค่าต่ำกว่า 7.2 ระบบจะเผชิญกับความเป็นพิษของแอมโมเนียค่อนข้างต่ำเพราะแอมโมเนียจะอยู่ในรูป NH_4^+ ซัลไฟด์เป็นสารอีกตัวหนึ่งที่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบทั้งพวกสร้างกรดและสร้างมีเทน การเกิดซัลไฟด์เป็นผลมาจากการที่มีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสียสูงทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfate Reducing Bacteria ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่าซึ่งเป็นพิษหากสูดดมและยังเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มต่างๆ ในระบบอีกด้วย อีกกลุ่มหนึ่งของสารที่เป็นพิษคือโลหะหนักเช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล และแคดเมียม แม้จะเป็นที่ต้องการของจุลินทรีย์แต่ในปริมาณที่น้อยมาก (Trace Elements) ความเป็นพิษจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณสูงเกินไป

1.2.4 ผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

จากการสำรวจของผู้วิจัยพบว่าน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นมีความเข้มข้นในรูป COD เฉลี่ยสูงถึงประมาณ 5,000 mg/L (สายัณห์และคณะ, 2548) ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงขึ้นต่ำได้ประมาณ 15 m^3/d โดยก๊าซชีวภาพนี้มีค่าการให้ความร้อนต่อ 1 m^3 อยู่ที่ประมาณ 6,000 kcal ซึ่งเทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือ น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร หรือ ไม้ฟืนแห้ง 1.5 กิโลกรัม หรือ ไฟฟ้า 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2548) ในส่วนของไนโตรเจนซึ่งเป็นสารอาหารพืชในระบบไร้อากาศไม่ได้กำจัดออกไปจากน้ำเสีย ซึ่งจะต่างจากระบบบำบัดแบบเติมอากาศที่จุลินทรีย์ประเภท Nitrifiers สามารถเปลี่ยนรูปแอมโมเนียในโตรเจนเป็นไนเตรทซึ่งเมื่อน้ำนั้นอยู่ในสภาพที่หยุดเติมอากาศ จุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งจะทำการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจนหลุดออกไปจากน้ำ นอกจากนี้จะมีการระเหยของไนโตรเจนจากน้ำในรูปของแอมโมเนียจากการเติมอากาศด้วย ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเป็นกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญของพืชไปสู่บรรยากาศ ทำให้การนำน้ำทิ้งจากระบบเติมอากาศไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับให้กับต้นพืชด้วยคุณค่าลง ดังนั้นน้ำที่ออกจากระบบหมักไร้อากาศจึงมีศักยภาพที่จะให้ไนโตรเจนแก่พืชสูงกว่า

1.2.5 กลิ่นจากน้ำเสีย

กลิ่นที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานยางส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากบ่อบำบัดไร้อากาศ ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่สูงมากจากส่วนที่เป็นน้ำชีวะซึ่งได้ถูกแยกออกมาในขั้นตอนการผลิตยาง รวมถึงการที่น้ำเสียมีซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในน้ำยางเองและจากกรดซัลฟูริกที่นิยมเติมในการทำยางบางประเภท ตัวสารซัลเฟตเองนั้นไม่ได้มี

ผลร้ายโดยตรงกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากที่เป็นสารค่อนข้างเฉื่อย ไม่ระเหย และไม่ค่อยมีความเป็นพิษ (Lens *et al.*, 1998) แต่เมื่อน้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์สูงอยู่ในสภาวะที่มีอากาศไม่พอเพียงพอการทำงานของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ก็จะก่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตขึ้น เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่าที่เป็นพิษ โดยทั่วไปแล้วอุตสาหกรรมหรือโรงงานที่ก่อน้ำเสียที่มีปริมาณมลสารอินทรีย์สูงจะพิจารณาใช้เทคโนโลยีการบำบัดประเภทไร้อากาศเนื่องจากค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าและค่าบำรุงรักษาระบบที่ต่ำกว่ามากเทียบกับระบบแบบเติมอากาศ ในกรณีของน้ำเสียของสหกรณ์โรงงานอบ/รมยางแผ่นแทบทุกแห่งจะใช้บ่อบำบัดไร้อากาศ (แบบเปิด) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศและปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตขึ้นได้ก๊าซไข่เน่าที่ไม่พึงปรารถนา มีกลิ่นเหม็น และด้วยลักษณะที่เป็นระบบบ่อบำบัดก๊าซต่างๆ สามารถระบายออกสู่ชั้นบรรยากาศและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงงานได้รับกลิ่นเหม็นได้ ก่อให้เกิดปัญหาเดือดร้อนรำคาญเป็นประจำ

1.2.6 ประเภทระบบบ่อบำบัดไร้อากาศ

ในระบบแบบเติมอากาศนั้นปริมาณอากาศที่ต้องเติมเข้าสู่ระบบเป็นสัดส่วนกับปริมาณความสกปรกในน้ำเสีย ค่าพลังงานในการเติมอากาศนี้จะเป็นสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับค่าดำเนินการอื่นในการเดินระบบ จากความได้เปรียบทางด้านค่าเดินระบบที่ต่ำระบบบำบัดแบบไร้อากาศจึงได้รับความนิยมสำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูง เพื่อลดภาระบรรทุกขั้นต้นก่อนเข้าระบบบำบัดแบบเติมอากาศในขั้นถัดไป (Tchobanoglous, 1991) ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาระบบการบำบัดแบบไร้อากาศหลากหลายรูปแบบโดยมีจุดประสงค์จะลดข้อด้อยด้านการเจริญและการทำงานของจุลินทรีย์ที่ช้าซึ่งทำให้ต้องการปริมาตรของระบบสูง (HRT ต่ำ) ฉะนั้นระบบบำบัดที่ได้พัฒนาขึ้นได้พยายามเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดและเพิ่มอัตราความเร็วในการบำบัด ระบบบำบัดแบบไร้อากาศมีด้วยกันหลายประเภทโดยที่นิยมใช้กันคือน้ำเสียประเภทต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศประเภทต่างๆ

ประเภท	อัตราการกำจัด	
	สูง	ต่ำ
บ่อบำบัดแบบไร้อากาศหรือบ่อบำบัด (Anaerobic Ponds)		✓
ระบบบ่อบำบัดแบบไร้อากาศแบบมีแผ่นคลุม (Covered Anaerobic Lagoon)		✓
ถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digester)	✓	✓
ถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)	✓	
ถังย่อยแบบแยกเชื้อ (Acidogenic-Methanogenic Reactors)	✓	
ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)	✓	

ตารางที่ 1-1 (ต่อ)

ประเภท	อัตราการกำจัด	
	สูง	ต่ำ
ระบบชั้นลอยตัวไร้อากาศ (Anaerobic Fluidized Bed, AFB)	✓	
ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)	✓	
ระบบแผ่นหมุนชีวภาพไร้อากาศ (Anaerobic Rotating Biological Contactor, AnRBC)	✓	
ระบบแผ่นกั้นไร้อากาศ (Anaerobic Baffled Reactor, ABR)	✓	

ระบบหมักไร้อากาศแบบอัตราสูงดังในตารางที่ 1-1 ที่นิยมใช้กันมากเช่น ระบบยูเอเอสบี (UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ระบบแผ่นกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter) ระบบชั้นลอยขยาย (Fluidized Bed Reactor) ซึ่งได้พิสูจน์ถึงประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในน้ำเสียบางประเภทและได้ถูกนำไปใช้ในระดับจริง (full scale) (Palms *et al.*, 1987; Austermann-Haun *et al.*, 1999; Omil *et al.*, 2003; Parawira *et al.*, 2005) สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยางนั้น Pimolthai (2003) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยใช้ระบบบ่อเปิดแบบไร้อากาศ ณ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด BOD สูงถึงร้อยละ 67-83 และกำจัด COD ร้อยละ 50-77 ที่ภาระบรรทุก 100-400 gBOD/m³/d และสำหรับน้ำเสียจากสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันนั้น ในปี 2541 ได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดในระบบถังหมักไร้อากาศแบบยูเอเอสบี พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD, BOD และ SS สูงถึง 47-66%, 45-59% และ 48-68% ตามลำดับ ที่ระยะเวลาเก็บกักชีวะสารระหว่าง 5-20 วัน (ชอบ บุญช่วย, 2541) แม้ถังหมักหรือถังปฏิกรณ์เหล่านี้จะมีประสิทธิภาพสูงและสามารถเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์ได้ดี แต่ราคาค่อนข้างสูง ต้องการออกแบบก่อสร้างและการเดินระบบที่ค่อนข้างซับซ้อนเหมาะสมสำหรับโรงงานที่มีผู้ควบคุมโดยเฉพาะ และยังต้องการพลังงานในการทำให้ตะกอนแขวนลอยอยู่ตลอดเวลาและในกรณีของระบบแผ่นกรองไร้อากาศนั้นก็สามารถจะอุดตันได้ต้องมีการซ่อมบำรุงเป็นครั้งคราว การจะนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นระดับชุมชนนั้นต้องคำนึงถึงความง่ายต่อการเดินระบบ การบำรุงรักษา และที่สำคัญคือค่าใช้จ่ายการก่อสร้างและเดินระบบด้วย ซึ่งหากสามารถประยุกต์ปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ที่มีอยู่เดิมก็สามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างใหม่ได้ ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่ระบบบ่อบำบัดไร้อากาศแบบมีแผ่นคลุม (Anaerobic Covered Lagoon; AL) ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายสำหรับฟาร์มสุกร เพราะมีค่าลงทุนการก่อสร้างที่ต่ำ (รูปที่ 2) แต่ในประเทศไทยนั้นระบบนี้ยังเพิ่งเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงประมาณ 4-5 ปีที่ผ่านมา ข้อด้อยของระบบบ่อบำบัดไร้อากาศแบบมีแผ่นคลุมโดยทั่วไปแล้วคือการที่ไม่มีการป้องกันการปนเปื้อนน้ำใต้ดินเพราะบ่อที่ใช้เป็นบ่อดินที่ไม่มี

การดาดหรือปูพลาสติกที่พื้นบ่อ โดยในสภาพของบ่อบำบัดในสหกรณ์โรงอบและรมยางแผ่นแล้วจะไม่มีผลแตกต่างในแง่การปนเปื้อนน้ำใต้ดินเนื่องจากสภาพบ่อเดิมก็ไม่ได้มีการป้องกันการซึมอยู่แล้ว ซึ่งคาดว่ากระรั่วซึมของบ่อจะต่ำเนื่องจากการอุดตันของตะกอนบริเวณก้นบ่อ หรือถ้าจะปรับปรุงให้มีชั้นป้องกันการรั่วซึมก็สามารถทำได้โดยง่ายและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำเมื่อเทียบกับการสร้างระบบที่มีโครงสร้างเป็นคอนกรีตชนิดอื่นๆ ดังเช่นระบบบ่อหมักแบบรางหรือระบบยูเอเอสบี ที่สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ส่งเสริมในฟาร์มสุกรขนาดกลางและใหญ่ เป็นต้น (การุณ สุอรุณ, 2548) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบบ่อบำบัดไร้อากาศแบบมีแผ่นคลุม น่าจะมีความเหมาะสมทั้งในแง่การลงทุนและความเป็นไปได้ ความสะดวกในการปรับใช้ระบบบ่อที่มีอยู่เดิมโดยไม่ต้องใช้พื้นที่เพิ่มในการสร้าง และยังสามารถปรับปรุงสร้างได้ง่ายไม่กระทบต่อกระบวนการผลิต ไม่ต้องการความเชี่ยวชาญในการดูแลรักษามาก ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อสภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมควันยางแผ่น



รูปที่ 1-3 ระบบบำบัดแบบบ่อแอนเอโรบิกแบบมีแผ่นคลุม (Anaerobic Covered Lagoon)

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระบบไร้อากาศที่สำคัญรวมถึง ค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในรอบปีซึ่งจะมีผลโดยตรงต่ออัตราการทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ในระบบ และยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบหรือชนิดของระบบและวิธีการเดินระบบ ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยตัวแปรที่ใช้กำหนดอัตราการเดินระบบพื้นฐาน คือ (1) ปริมาณหรืออัตราของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ (Q , m^3/d) (2) ค่าความเข้มข้น COD ของน้ำเสียเข้าระบบ (mg/L) (3) ขนาดของบ่อ (V , m^3) ซึ่งสามารถนำไปกำหนดตัวแปรเชื่อมโยง เช่น Hydraulic Retention Time (HRT) ซึ่งก็คือระยะเวลาเฉลี่ยที่น้ำถูกกักไว้ในบ่อ โดยทั่วไปแล้วถ้าระยะเวลาการกักเก็บน้ำนานก็จะทำให้มีการบำบัดนานขึ้นน้ำที่ออกมาก็จะมีคุณภาพดีขึ้น และ (4) ภาระบรรทุกเชิงปริมาตร (Volumetric Organic Loading) ของระบบซึ่งก็คือ ปริมาณ COD ทั้งหมดที่เข้าสู่ถึงปฏิกรณ์ต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ใน 1 วัน

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะลดลงเมื่อค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นแต่ในอัตราเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติและการออกแบบระบบบำบัด ตลอดจนปัจจัยทางเคมีของน้ำเสียที่เข้าถึงปฏิกรณ์ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ดังนั้นจะเห็นว่าสมบัติและปริมาณของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ขนาด รูปทรงและรูปแบบการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ รวมถึงปัจจัยทางธรรมชาติล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดและการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบทั้งสิ้น การจะปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินระบบให้สามารถผลิตก๊าซให้ได้ปริมาณสูงสุดตามศักยภาพและการนำน้ำที่ออกมาไปใช้ประโยชน์ต่อเนื่องควรได้รับการศึกษาพิจารณาถึงผลของปัจจัยดังกล่าวในระดับเทียมจริง (pilot scale) ณ แหล่งพื้นที่นั้นๆ

1.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ในระยะเวลาที่ผ่านมาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศในประเทศไทยได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลากหลาย แต่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นถือว่าเป็นสิ่งที่ยังใหม่และได้ยังไม่ได้รับการยอมรับมากนัก แต่เนื่องจากสภาวะราคาน้ำมันของโลกที่สูงขึ้นและมีแนวโน้มที่จะปรับตัวสูงขึ้นอีกในอนาคต เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียโดยระบบหมักไร้อากาศจึงเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมได้ ในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่และขนาดกลางในประเทศไทยนั้นเทคโนโลยีการหมักก๊าซชีวภาพได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กันหลายแห่ง แม้จะมีค่าลงทุนในการก่อสร้าง แต่ระบบนี้เป็นระบบที่สามารถคืนทุนได้จากพลังงานที่ก๊าซชีวภาพที่ได้ ซึ่งจะต่างจากระบบบำบัดแบบเติมอากาศที่ต้องมีค่าก่อสร้างและยังต้องใช้พลังงานในการเดินระบบสูงต่อเนื่องโดยไม่มีผลตอบแทนกลับ

ในอุตสาหกรรมขนาดย่อมนั้นการประยุกต์ใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพได้รับความสนใจในระดับที่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เหตุผลเนื่องจากการที่ต้องมีการลงทุนในการก่อสร้าง ความไม่มั่นใจในสิ่งที่ยังไม่มีตัวอย่างในความสำเร็จแพร่หลายนัก และการที่ต้องการบุคลากรที่มีความรู้เฉพาะในการเดินระบบ อุปสรรคเหล่านี้แม้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ชะลอการขยายตัวของระบบบำบัดแบบไร้อากาศในอุตสาหกรรมขนาดย่อม หนึ่งในระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่มีค่าก่อสร้างต่ำและต้องการการดูแลต่ำที่ได้มีผลการดำเนินการที่ประสบความสำเร็จ คือ ระบบ Anaerobic Covered Lagoon เพราะอาศัยดัดแปลงจากระบบบ่อดินธรรมดา และสามารถใช้ปริมาตรที่ว่างผิวบ่อในการเก็บกักก๊าซที่ผลิตขึ้น นอกจากจะช่วยกำจัดมลพิษแล้วการหมักจะทำให้ลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นที่เป็นเหตุรำคาญแก่ชุมชนรอบข้าง และเป็นการตัดวงจรชีวิตของสัตว์พาหะนำโรคต่างๆ เพราะการหมักจะทำลายไข่ของสัตว์เหล่านั้น ฉะนั้นการประเมินทางเศรษฐศาสตร์จะสามารถแบ่งได้เป็นสิ่งที่สามารถประเมินเป็นมูลค่าได้ เช่น ค่าก่อสร้างหรือปรับปรุงระบบ ค่าเดินระบบ เป็นต้น และสิ่งที่ไม่สามารถประเมินเป็นมูลค่าได้ เช่น การลดกลิ่นรบกวนต่อชุมชน

การลดปริมาณพาหะนำโรค และที่สำคัญคือการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและความสามารถในการปฏิบัติตามกฎหมายข้อบังคับมลพิษ ซึ่งยากต่อการคิดเป็นมูลค่า

ด้วยเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการวิจัยนี้ เพื่อให้ทราบถึงการเพิ่มมูลค่าของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันโดยการผลิตพลังงาน เพื่อเป็นต้นแบบของแนวทางการจัดการของเสียจากการผลิตยางแผ่นของชุมชนและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และทำให้อุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันสามารถอยู่คู่กับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยางด้วยระบบบำบัดน้ำเสียระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) และถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR)

2. เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าในการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศในโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้อุตสาหกรรมการผลิตยางอบแห้งในรูปสหกรณ์โรงรมควันยางแผ่นขนาดเล็กของเกษตรกรสามารถจัดการน้ำเสียและกลิ่นเหม็นรบกวนได้ ที่นับวันจะเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องมีการจัดการให้เป็นไปตามมาตรฐานตามกฎหมายอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดแรงกดดันต่อสหกรณ์ และเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ รูปแบบดังกล่าวจะเป็นการจัดการ และใช้ประโยชน์จากของเสียจากการผลิตยางแผ่นของชุมชน เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชนได้อย่างยั่งยืน

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 การสำรวจสหกรณ์โรงรมควั่นยางแผ่น

ทำการสำรวจสหกรณ์โรงรมควั่นยางแผ่นในพื้นที่เพื่อคัดเลือกเป็นตัวแทนในการติดตั้งระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) และถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ขนาดจำลอง (Pilot Scale) รวมถึงให้ข้อมูลกับกรรมการของสหกรณ์เพื่อสร้างความเข้าใจและร่วมกำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยและความช่วยเหลือในด้านสถานที่ติดตั้งระบบจำลอง ซึ่งคณะวิจัยได้คัดเลือก สหกรณ์ยางทอง จำกัด หมู่ 3 ต.ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา เป็นตัวแทนสหกรณ์โรงรมควั่นยางแผ่นในครั้งนี้

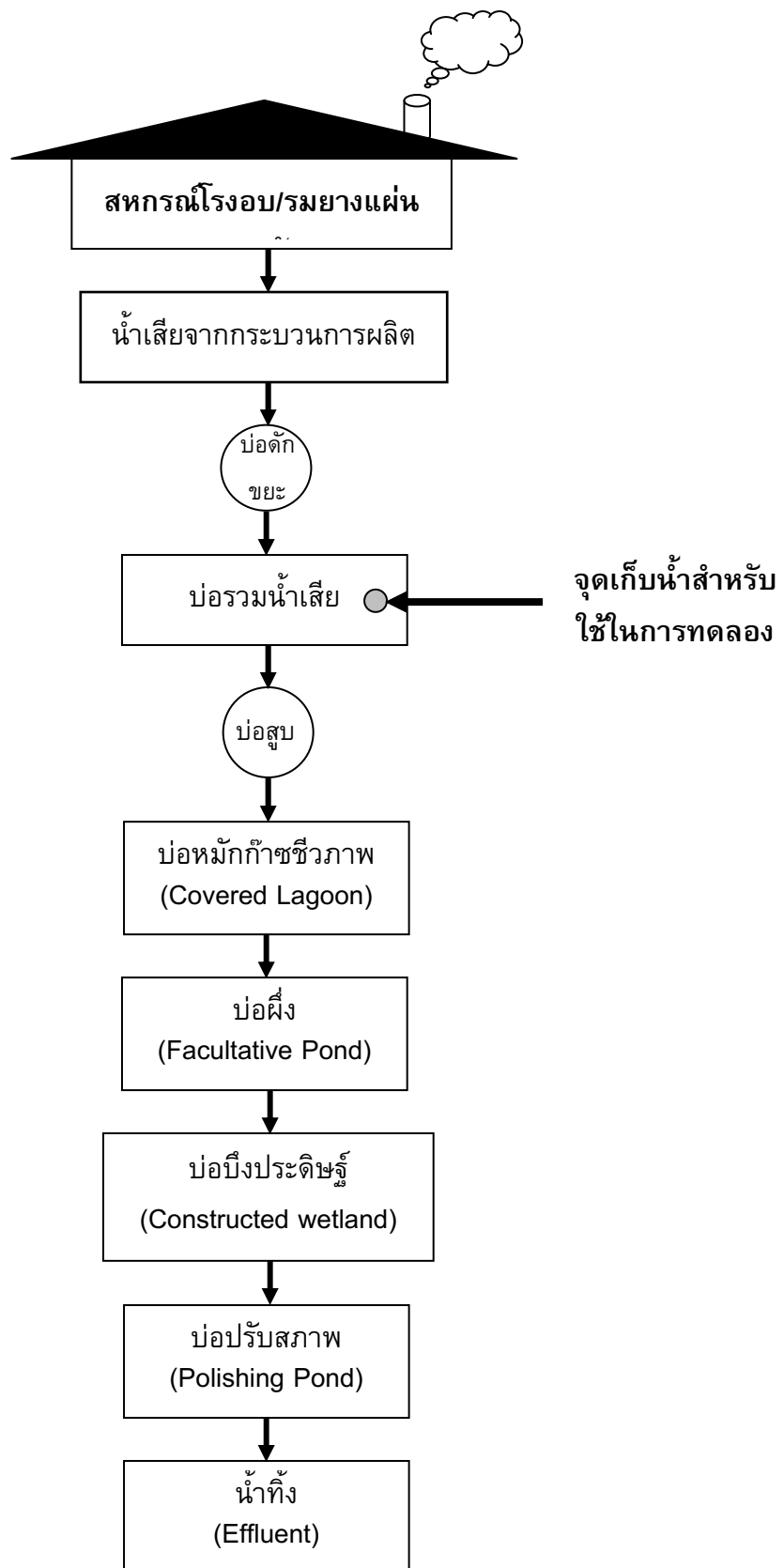
2.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (Grab Sampling) จากบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์ยางทอง จำกัด หมู่ 3 ต.ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา (รูปที่ 2-1 และ 2-2) โดยใช้ปั๊มไดโว่ (Submersible Pump) เป็นเครื่องมือช่วยในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (พฤษภาคม 2550-สิงหาคม 2551)

2) วิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียในห้องปฏิบัติการตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2005) และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540) ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ดังแสดงดังตารางที่ 2-1 การวิเคราะห์ pH และ Temperature กระทำทันทีในขณะที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2-1 ลักษณะของบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางทอง (ก) และ จุดที่ใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบ (ข)



รูปที่ 2-2 ผังระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยุงทอง จำกัด และจุดเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย

Parameters	Method of Analysis
pH	pH meter
Temperature	Thermometer
BOD ₅	5-Day BOD Test
TCOD	Close reflux , Titration Method
SCOD	Filter/Close reflux, Titration Method
Volatile fatty acid (VFA)	Direct Titration Method*
Alkalinity	Direct Titration Method*
Suspended Solids (SS)	Gravimetric Method
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	Gravimetric Method
Total Kjeldahl nitrogen (TKN)	Macro-Kjeldahl Method
Ammonia nitrogen (NH ₄ ⁺ -N)	Titrimetric Method
Total Phosphorus (TP)	Persulfate Digestion, Vanadomolybdophosphoric Acid

ที่มา : APHA, AWWA and WEF (2005)

*สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยและ World Environmental Center (2535)

2.3 การสร้างโรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศจำลอง

ในระหว่างที่ทำการปรับปรุงการออกแบบระบบหมักไร้อากาศที่จะใช้ในการศึกษา ผู้วิจัยได้ดำเนินการขอใช้พื้นที่ต่อทางคณะกรรมการบริหารสหกรณ์เพื่อติดตั้งระบบจำลอง (Pilot Scale) ในบริเวณสหกรณ์ สกย. บ้านยางทอง ซึ่งตั้งอยู่ที่ หมู่ 3 ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา หลังจากนั้นได้รับอนุมัติจึงทำการปรับพื้นที่ และสร้างโรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศจำลอง ดังรูปที่ 2-3





รูปที่ 2-3 โรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศก่อนก่อสร้างโรงเรือน (ก), โรงเรือนสำหรับติดตั้งระบบหมักไร้อากาศ (ข) และตำแหน่งที่ตั้งโรงเรือน (ค) ณ สหกรณ์บ้านยูงทอง ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา

2.4 ระบบหมักไร้อากาศจำลองที่ใช้ในการศึกษา

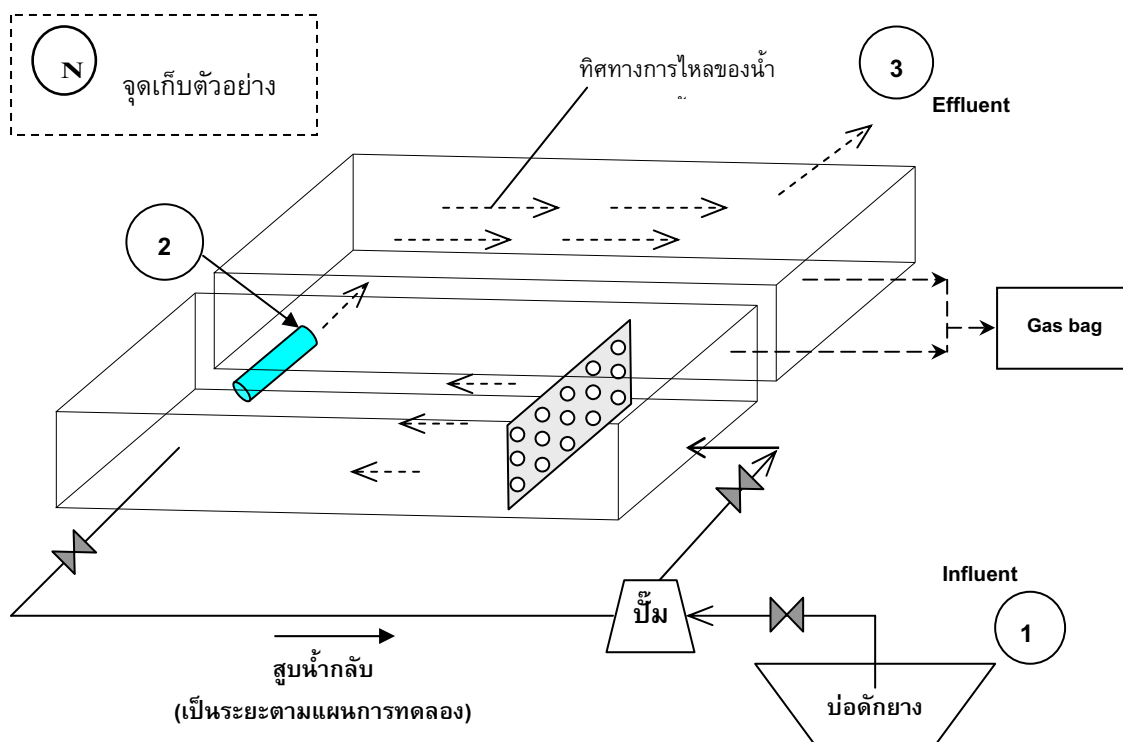
ในการทดลองครั้งนี้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศจำลอง 2 ชนิด ได้แก่ ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) และถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL)

สร้างจำนวน 4 ชุด ระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

1) บ่อ (Ponds) ใน 1 ชุดการทดลองประกอบด้วย ถังพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดกว้าง 65 cm ยาว 106.25 cm สูง 75 cm มีปริมาตร 280 L จำนวน 2 ถัง เชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซี มีปริมาตรรวม 560 L โดยมีปริมาตรใช้งาน (Working Volume) 504 L (รูปที่ 2-4 และ 2-5)

ทั้งนี้ถังพลาสติกที่ 1 หรือถังรับน้ำเสียเข้าระบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยใช้แผ่นกั้นซึ่งเป็นแผ่นพลาสติก (รูปที่ 2-5ก) และมีท่อสำหรับสูบน้ำเสียเข้าระบบทางส่วนล่างของถัง ซึ่งจะต่อกับวาล์วสำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสีย (รูปที่ 2-5ข) สูงจากกันถึง 22.86 cm ซึ่งจะรับน้ำมาจากปั๊มขนาดเล็กที่สูบน้ำเข้าไปตามสภาวะทดลองที่กำหนด และที่ปลายท่อทางด้านในของถังจะเป็นท่อ PVC เจาะรูเพื่อกระจายให้น้ำเสียไหลเข้าไปเพื่อกวนผสมกับตะกอนจุลินทรีย์ โดยถังนี้จะวางลาดเอียงทำมุมกับพื้นประมาณ 5-10 องศา โดยแผ่นกั้นภายในถังที่ 1 จะเจาะเป็นรูพรุน วางขวางทิศทางการไหล เพื่อกระจายน้ำเสียและขวางกั้นไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกไปจากส่วนนี้ โดยส่วนล่างของแผ่นกั้นจะมีช่องว่างสูงประมาณ 1 นิ้ว จากพื้นล่างของถัง เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังไหลกลับมายังส่วนแรกของบ่อ

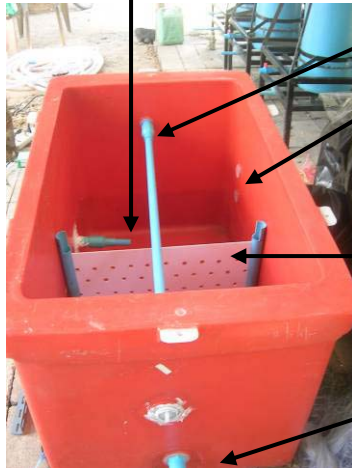


รูปที่ 2-4 แผนผังระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (MCL)

สำหรับช่วงปลายของถังใบที่ 1 จะเชื่อมต่อกับถังใบที่ 2 โดยใช้ท่อ PVC และมีวาล์วสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาตรวจวิเคราะห์ โดยที่ถังใบที่ 2 จะมีท่อสำหรับให้น้ำไหลออกทางด้านข้าง (ทางออก) ซึ่งใช้ในการปรับระดับน้ำในถังทั้งสองใบด้วย ท่อสำหรับรวบรวมก๊าซชีวภาพจะใช้ท่อ PVC ติดตั้งในแนวนานกับความยาวของถังทั้ง 2 ใบ และเจาะรูทางส่วนล่างของท่อ (รูปที่ 2-5ก) เพื่อให้ น้ำสามารถไหลกลับลงสู่ถังได้ และก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นผ่านไปยังถูกเก็บก๊าซเพื่อวัดปริมาตรและนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซ จากนั้นติดตั้งโครงท่อ PVC ขนาดพอดีกับปากถังทั้ง 2 ใบ คลุมด้วยแผ่น PVC สี หนา 0.4 mm โดยชายแผ่นจมใต้ระดับผิวน้ำในถัง เพื่อเก็บรวบรวมก๊าซที่เกิดขึ้น (รูปที่ 2-5ง)

- 2) ถังพักน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าระบบ ใช้ถังพลาสติกขนาด 30 L
- 3) ปั๊มน้ำขนาดเล็กยี่ห้อ SONIC รุ่น AP 2500 จำนวน 1 ตัว สำหรับป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด และทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ
- 4) นาฬิกาตั้งเปิด-ปิดเวลา (Timer) สำหรับทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ
- 5) วาล์วปรับอัตราการไหล ใช้ Ball Valve สำหรับปรับอัตราการไหลของน้ำเสียที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด และปรับอัตราการไหลในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ
- 6) ถังเก็บน้ำทิ้ง (Storage Tank) ใช้ในการรองรับน้ำทิ้งที่ผ่านจากระบบบำบัด

ท่อสูบน้ำนำไปหมุนเวียนกวนผสม



ท่อรวบรวมก๊าซ

ท่อน้ำเชื่อมจาก
ถัง 1 ไป 2

แผ่นกั้น

ท่อน้ำเข้า

วาล์วควบคุมอัตราการไหลน้ำเข้า



ท่อน้ำออก

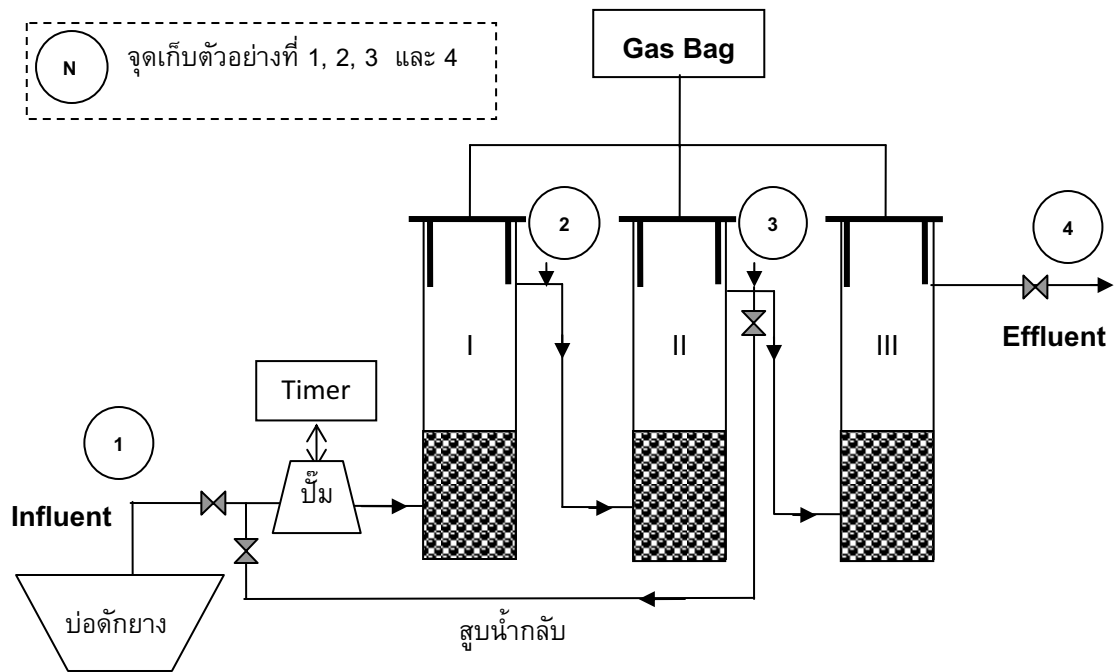
ท่อน้ำเชื่อม
จากถัง 1 ไป 2



รูปที่ 2-5 ระบบบ่อบำบัดย่อยประยุกต์ (MCL)

2.4.2 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) สร้างจำนวน 3 ชุด ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

1) ถังปฏิกรณ์ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 inch สูง 1.2 m มีปริมาตรประมาณ 85 L/ถัง โดยจะนำถังปฏิกรณ์ดังกล่าว มาเรียงต่อกัน 3 ถัง ซึ่งจะมีปริมาตรรวม 255 L และปริมาตรใช้งานจริง 204 L พร้อมมีฐานเหล็กรองรับ ดังรูปที่ 2-6 และ 2-7



รูปที่ 2-6 แผนผังถึงปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกันประกยุคต์



รูปที่ 2-7 ถึงปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกันประกยุคต์

การทำงานของถังปฏิกรณ์แต่ละใบจะมีท่อป้อนน้ำเสียเข้าทางด้านล่าง และมีท่อสำหรับให้น้ำออกทางส่วนบนของถังจากถังใบที่ 1 ไปถังที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และจะมีท่อเชื่อมจากทางออกของถังใบที่ 2 กลับมายังทางเข้าของถังใบที่ 1 สำหรับการสูบน้ำกลับเพื่อทวนผลสม ทางส่วนบนของแต่ละถังจะมีฝาปิดทำด้วยอลูมิเนียมมีวาล์วสำหรับให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไหลผ่านเข้าไปยังถังเก็บก๊าซเพื่อวัดอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบ

- 2) ถังพักน้ำเสียสำหรับป้อนเข้าระบบ ใช้ถังพลาสติกขนาด 30 L
- 3) ปั๊มน้ำขนาดเล็กยี่ห้อ SONIC รุ่น AP 2500 จำนวน 1 ตัว สำหรับป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัด และทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถังที่ 2 เข้าสู่ระบบ
- 4) นาฬิกาตั้งเปิด-ปิดเวลา (Timer) สำหรับทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ
- 5) วาล์วปรับอัตราการไหล ใช้ Ball Value สำหรับปรับอัตราการไหลของน้ำเสียที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด และปรับอัตราการไหลในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ
- 6) ถังเก็บน้ำทิ้ง (Storage Tank) ใช้ในการรองรับน้ำทิ้งที่ผ่านจากระบบบำบัด

2.5 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)

การเริ่มต้นเดินระบบจำลองไร้อากาศ MCL และ MABR ในการทดลองนี้ ใช้มูลสุกรเป็นเชื้อตั้งต้นโดยนำมาจากฟาร์มสุกรในเขตพื้นที่ จังหวัดสงขลา (รูปที่ 2-8) เติมนลงในระบบให้มีค่า MLSS เริ่มต้นประมาณ 25,000 mg/L โดยระบบ MCL จะเติมมูลสุกรลงในถัง (บ่อ) แรกให้ได้ MLSS ปริมาณดังกล่าว และในถังใบที่สองจำนวน 20% ของถังแรก ส่วนระบบ MABR จะเติมทุกถังย่อยแล้วป้อน (Feed) น้ำเสียเข้าระบบทั้งสองให้ได้ตามปริมาตรการใช้งาน 504 L (สำหรับระบบ MCL) และ 204 L (สำหรับระบบ MABR) ปล่อยไว้เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นเดินระบบที่เวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time; HRT) ต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 2-3) ในแต่ละสภาวะจะทำการเดินระบบจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) ซึ่งดูได้จากการตอบสนองของระบบ ได้แก่ ประสิทธิภาพการบำบัด อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ พีเอช และการสูญเสียตะกอนในน้ำทิ้งจากระบบ จึงเริ่มเก็บข้อมูลอย่างละเอียดครบทุกพารามิเตอร์ แล้วจึงเริ่มเปลี่ยนสภาวะการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ต่อไป



รูปที่ 2-8 การนำเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากบ่อหมักมูลสุกรในฟาร์มสุกร (ก) และการเติมหัวเชื้อลงในระบบสำหรับเริ่มเดินระบบ (ข)

2.6 สภาวะการเดินระบบ MCL และ MABR ที่ศึกษา

2.6.1 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R)

โดยสมมติฐานว่าการกวนผสมจะทำให้อัตราการย่อยสลายสูงขึ้น และการกวนผสมด้วยน้ำเสียในระบบด้วยการสูบน้ำย้อนกลับจากส่วนหนึ่งมายังส่วนต้นของระบบบำบัดจะเป็นวิธีที่สามารถลดความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบและทำให้เกิดการสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์อย่างทั่วถึงมากขึ้น การคำนวณร้อยละของการสูบน้ำย้อนกลับน้ำเสีย ในการวิจัยในครั้งนี้คิดเทียบกับระยะเวลาใน 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง สามารถคำนวณสัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ Recycle Period Ratio (R_t) และ อัตราส่วนการสูบน้ำกลับน้ำทิ้ง (Effluent Recycle Ratio; R_v) ได้ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยสัดส่วนระยะเวลาการกวนผสมแสดงในตารางที่ 2-2 และ 2-3

$$\text{Recycle Period Ratio } (R_t) = \frac{\text{เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ/รอบ (ชม.)}}{\text{เวลาต่อรอบ (ชม.)}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Recycle Effluent Ratio } (R_v) = \frac{\text{Recycle Flow Rate (L/hr)} \times \text{ระยะเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (hr/d)}}{\text{Influent Flow Rate (L/d)}} \quad (2)$$

ตารางที่ 2-2 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษาของระบบ MCL

สัดส่วนเวลา การสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R _t)* (%)	สัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R _v)**	Feed (L/d)	ระยะเวลาสูบน้ำเสียเข้าระบบ (ชม.)	สูบน้ำเสียย้อนกลับต่อรอบ*		ระยะเวลาตกตะกอน (ชม.)
				รอบในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)		
				ระยะเวลาสูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)	ระยะเวลาทำปฏิกิริยา (ชม.)	
100	56.4	16.8	2	4	0	2
75	42.3	16.8	2	3	1	2
50	28.2	16.8	2	2	2	2
25	14.1	16.8	2	1	3	2
0***	0	16.8	2	0	0	2

หมายเหตุ: * 1 วัน (24 ชม.) แบ่งสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับออกเป็น 5 รอบ รอบละ 4 ชม. ไม่รวม ระยะเวลาการสูบน้ำเสียเข้าระบบ และระยะเวลาการตกตะกอน

** คำนวณจาก Recycle Flow Rate = 47.3 L/hr และ Influent Flow Rate = 16.8 L/d

*** เดินระบบหลังยางผลัดใบ

ตารางที่ 2-3 สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_r) ต่อรอบการเดินระบบที่ใช้ใน การศึกษาของระบบ MABR

ระบบ	สัดส่วนเวลา การสูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (R _I)* (%)	สัดส่วนการ สูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (R _V)**	Feed (L/d)	ระยะเวลา สูบน้ำเสีย เข้าระบบ (ชม.)	สูบน้ำเสียย้อนกลับต่อรอบ*		ระยะเวลา ตกตะกอน (ชม.)
					รอบในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)		
					ระยะเวลา สูบน้ำเสีย ย้อนกลับ (ชม.)	ระยะเวลา ทำปฏิกิริยา (ชม.)	
MABR10	100	12.6	20.4	2	4	0	2
	50	6.3	20.4	2	2	2	2
	0***	0	20.4	2	0	0	2
MABR5	100	6.3	40.8	2	4	0	2
	50	3.1	40.8	2	2	2	2
	0***	0	40.8	2	0	0	2
MABR2.5	100	3.1	81.6	2	4	0	2
	50	1.6	81.6	2	2	2	2
	0***	0	81.6	2	0	0	2

หมายเหตุ: * 1 วัน (24 ชม.) แบ่งสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับออกเป็น 5 รอบ รอบละ 4 ชม. ไม่รวม

ระยะเวลาการ สูบน้ำเสียเข้าระบบ และระยะเวลาการตกตะกอน

** คำนวณจาก Recycle Flow Rate = 12.9 L/hr และ Influent Flow Rate ของแต่ละ HRT

*** เดินระบบหลังยางผลัดใบ

2.6.2 สภาวะการเดินระบบ MCL

ในการทดลองนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ MCL ที่กำจัตมลสารในน้ำเสียจากโรงอบ/รมยางแผ่นรมควันที่ HRT 30 วัน ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำในการออกแบบระบบประเภทนี้ โดยปรับสภาวะการเดินระบบที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (Recycle Period Ratio; R_r) 5 ค่า คือ สูบน้ำย้อนกลับ 100% (สูบน้ำย้อนกลับตลอดเวลา; $R_r=100\%$), สูบน้ำย้อนกลับ 75% ($R_r=75\%$), สูบน้ำย้อนกลับ 50% ($R_r=50\%$), สูบน้ำย้อนกลับ 25% ($R_r=25\%$) และ ไม่มีการสูบน้ำย้อนกลับ ($R_r=0\%$) (ตารางที่ 2-4) ซึ่งในแต่ละการทดลองนั้นจะเดินระบบที่สภาวะนั้นๆ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) ซึ่งดูได้จากประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด (TCOD) และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) มีค่าคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10%) ทั้งนี้เพื่อหาอัตราการสูบน้ำย้อนกลับที่เหมาะสมที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวในเชิงเปรียบเทียบกับระบบบำบัดของสหกรณ์

2.6.3 สภาวะการเดินระบบ MABR

สภาวะการทำงานของระบบได้ออกแบบสภาวะการทดลองเดินระบบ MABR เพื่อหาจุดที่ได้ผลดีสูงสุด (optimal condition) จาก 3 ระยะเวลาพักเก็บน้ำ (HRT) ได้แก่ 10, 5, และ 2.5 วัน โดยการทดลองจะประกอบไปด้วยระบบ MABR 3 ระบบ แต่ละระบบจะเดินที่ HRT ค่าหนึ่ง และจะมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการสูบน้ำย้อนกลับ ได้แก่ สูบน้ำเสียย้อนกลับตลอดเวลา 100% ($R_f=100\%$) สูบน้ำเสียย้อนกลับ 50% ($R_f=50\%$) และ ไม่สูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_f=0\%$) ดังนั้น สภาวะการทำงานของระบบ MABR ทั้งหมดแบ่งเป็น 9 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะเดินระบบที่สภาวะนั้นๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งดูได้จากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และความเข้มข้นของ VFA มีค่าคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10%) แล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนอัตราการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สภาวะการทำงานของระบบ MCL และ MABR ที่ทำการศึกษา

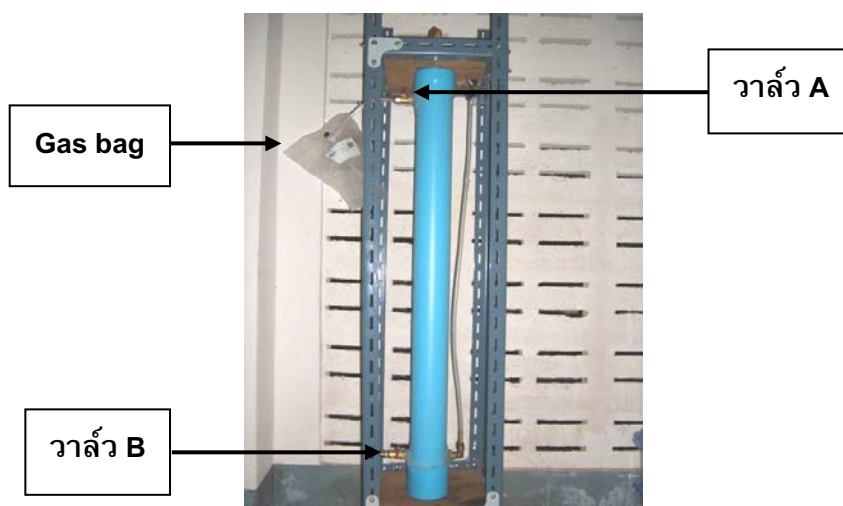
ชุดการทดลอง	HRT (d)	Recycle period ratio (R _t) (%)	Feed (L/d)	TCOD (mg/L)	OLR (kgCOD/ m ³ ·d)
MCL System					
MCL	30	100	16.80	3,459	0.12
		75			
		50			
		25			
		0*		5,590	0.19
MABR System					
MABR10		100		3,100	0.31
	10	50	20.40	3,863	0.39
		0*		5,590	0.56
MABR5		100		3,100	0.26
	5	50	40.80	3,863	0.33
		0*		5,590	0.48
MABR2.5		100		3,100	0.31
	2.5	50	81.60	3,863	0.39
		0*		5,590	0.56

หมายเหตุ; * เดินระบบหลังยางผลัดใบ

2.7 การศึกษาก๊าซชีวภาพ

1) วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น โดยใช้ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ (รูปที่ 2-3) ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm สูง 100 cm มีปริมาตร 4.55 L อุปกรณ์นี้ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ โดยใช้สายยางเชื่อมต่อกับวาล์วระหว่างถุงเก็บก๊าซชีวภาพที่ต้องการวัดปริมาตรกับวาล์ว A ด้านบนของท่อพีวีซี แล้วเปิดวาล์วทั้งสองดังกล่าวเพื่อให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านสายยางเข้าไปแทนที่น้ำทำให้น้ำไหลออกจากท่อพีวีซีทางวาล์ว B ด้านล่าง และนำน้ำที่ไหลออกมาไปวัดปริมาตรเพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทำการวัดเป็นประจำทุกวัน

2) เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพใช้ถุงเก็บก๊าซ (Gas bag) จากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซในระบบ MABR และ MCL และทำการศึกษาสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ใช้ Detector ชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD)



รูปที่ 2-9 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสารของระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และ MCL ทุกชุดการทดลอง ในรูปของร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารของทั้ง 2 ระบบ

2.9 ประเมินความคุ้มค่าในการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในสหกรณ์ โรงอบ/รมยางแผ่น

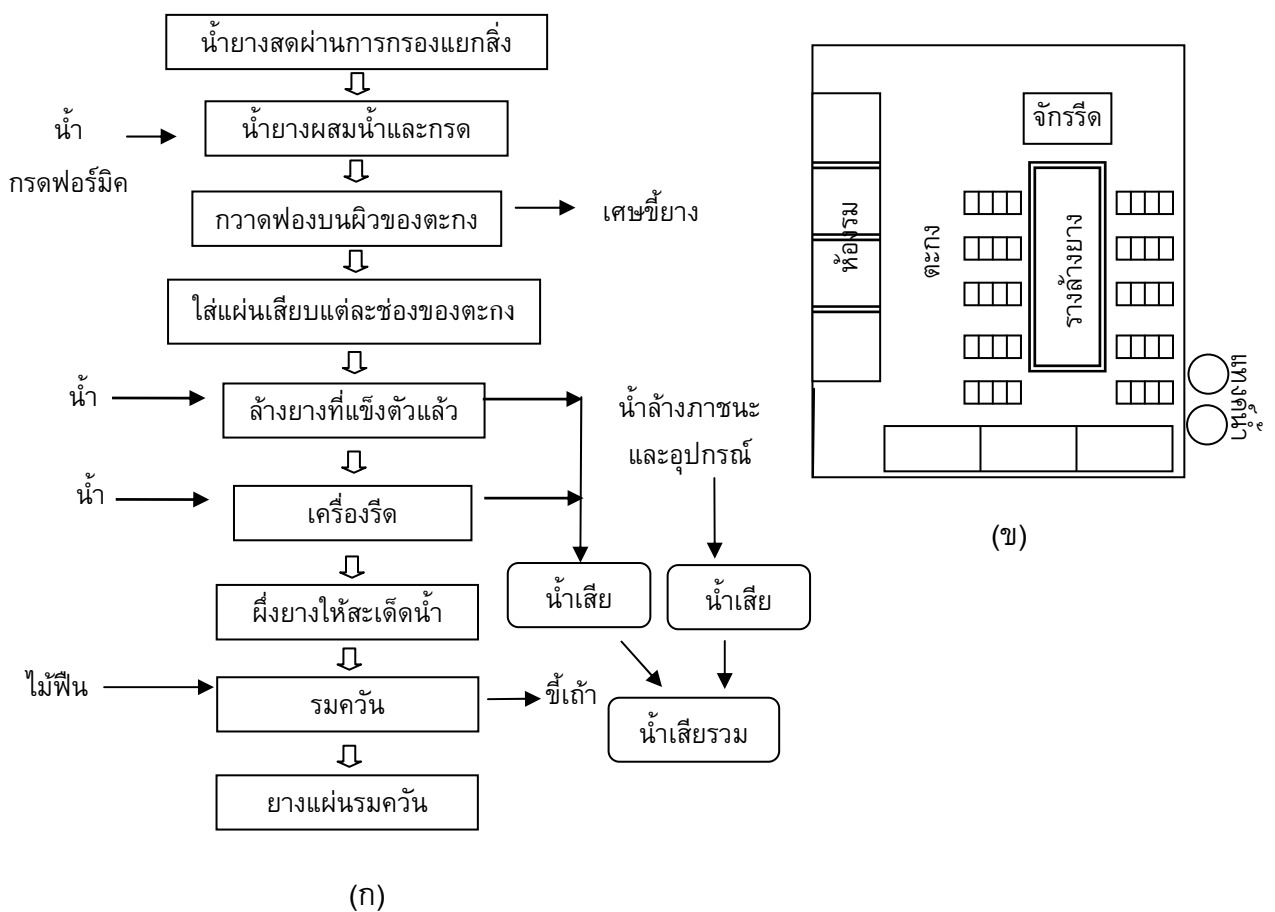
- 1) ประเมินความคุ้มค่าของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียไร้อากาศในรูปของค่าใช้จ่าย เปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซหุงต้มจากการอบ/รมยางแผ่นของ สกย. ในปัจจุบัน
- 2) ประเมินความคุ้มค่าและมูลค่าการก่อสร้างระบบบำบัดไร้อากาศเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจของสหกรณ์ สกย. อื่นๆ ที่สนใจในการดำเนินการก่อสร้างระบบในการจัดการน้ำเสียและเพื่อใช้ผลิตพลังงานทดแทน

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 การสำรวจและคัดเลือกสหกรณ์ สกย. ที่จะติดตั้งระบบ

การดำเนินกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง (รูปที่ 3-1) จะเริ่มจากการนำน้ำยางสดที่รับซื้อมาผ่านการกรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกออก แล้วนำน้ำยางนั้นมาผสมน้ำกับกรดในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ยางแข็งตัว หลังจากนั้นทำการกวนให้เข้ากัน คนงานจะทำการกวาดฟองยางออกก่อนแล้วจึงทำการใส่แผ่นเสียบแต่ละช่องของตะกุง หลังจากนั้นประมาณ 4 ชม. เมื่อยางแข็งตัวจะยกยางมาล้างกรดและสิ่งสกปรกออกแล้วจึงนำมารีดเป็นแผ่น ซึ่งในขั้นตอนการรีดแผ่นยางจะเปิดน้ำเพื่อใช้หล่อลื่นลูกจักรรีดด้วย เมื่อรีดเสร็จจึงนำมาผึ่งไว้ให้แห้ง 1 คืน จากนั้นนำเข้ารมประมาณ 3-4 วันเพื่อให้ยางสุก ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือน้ำเสียจากจุดต่างๆ ในขั้นตอนการผลิตและการล้างภาชนะและอุปกรณ์หลังผลิตเสร็จ และเศษขี้ยางจากการกวาดฟองยางรวมถึงขี้เถ้าจากเตารมยาง



รูปที่ 3-1 กระบวนการและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ และแผนผังในสหกรณ์ (ข)

คณะผู้วิจัยได้เดินทางเข้าเยี่ยมชมสหกรณ์ในพื้นที่ (รูปที่ 3-2) เพื่อคัดเลือกสหกรณ์ที่เหมาะสมและมีความพร้อมในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง ซึ่งจะพิจารณาคัดเลือกจากความสนใจที่จะมีส่วนร่วมในการศึกษาของกรรมการสหกรณ์ และความพร้อมในด้านสถานที่สำหรับจัดวางระบบ รวมทั้งความร่วมมือจากพนักงานของสหกรณ์ที่จะช่วยดูแลระบบเพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสียหรือเสียหายในระหว่างดำเนินการวิจัย นอกจากนี้ที่ตั้งของสหกรณ์ควรมีไม่ห่างไกลจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เพื่อให้สามารถเดินทางไปเก็บข้อมูลและตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ได้อย่างสะดวก ผู้วิจัยได้คัดเลือก สกย. บ้านยุงทอง ซึ่งตั้งอยู่ หมู่ 3 ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ สอดคล้องกับความต้องการของโครงการ โดยทางสหกรณ์ได้เคยเข้าร่วมโครงการการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียจากกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2549 จึงทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานมีประสบการณ์ช่วยการเดินระบบดังกล่าวในระดับหนึ่ง และกรรมการสหกรณ์มีความเข้าใจถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบบำบัดที่เหมาะสมสำหรับสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเป็นอย่างดีโดยพร้อมให้ความสนับสนุนด้านสถานที่และที่ตั้งอยู่ไม่ห่างจากมหาวิทยาลัยจนเกินไปโดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 15 นาทีโดยรถยนต์



รูปที่ 3-2 การสำรวจและคัดเลือกสหกรณ์ที่จะติดตั้งระบบบำบัด

3.2 การศึกษาลักษณะน้ำเสียจากสหกรณ์ สกย. ที่คัดเลือก

ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ยุงทองได้ถูกปรับปรุงจากงบประมาณจากกรมควบคุมมลพิษในโครงการ “การปรับปรุงและเพิ่มศักยภาพระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมชุมชนยางแผ่นรมควัน” เมื่อปี พ.ศ. 2549 โดยใช้ระบบบ่อหมักไร้อากาศร่วมกับบ่อฝั่มและระบบบึงประดิษฐ์โดยมีผังของบริเวณโรงงานดังแสดงในรูปที่ 2-2

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของสหกรณ์ จะผ่านบ่อดักเศษขยะและเศษยาง แล้วจึงผ่านเข้าสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพซึ่งมี HRT เท่ากับ 26 วัน โดยบ่อรวมน้ำเสียมีปริมาตรประมาณ 51 m^3 อัตราการก่อกำน้ำเสียเฉลี่ยจากสหกรณ์ยุงทองมีประมาณ $9.28 \text{ m}^3/\text{d}$ จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง บ้านยุงทอง ตลอดจนการทดลองระหว่างเดินระบบ MCL และ MABR ซึ่งเป็นการเก็บจ้วง (Grab Sampling) จำนวน 33 ครั้ง

(ตั้งแต่เดือน ม.ค. 50 - ส.ค. 51) พบว่า น้ำเสียมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 5.57 ± 0.34 ส่วนความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของ TCOD และ BOD_5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,710 \pm 900$ และ $2,608 \pm 705$ mg/L ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นสัดส่วน $BOD_5 : TCOD$ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยน้ำเสียมีค่าสัดส่วนอยู่ระหว่าง 0.76-0.50 แสดงว่าน้ำเสียมีสารประกอบที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ และนอกจากนี้จะเห็นว่ามีความเข้มข้นของ VFA เฉลี่ย $1,128 \pm 492$ mg/L as CH_3COOH เนื่องจากบ่อที่เก็บตัวอย่างน้ำเสีย (บ่อรวมน้ำเสีย) เกิดการหมักหมมของน้ำเสียอีกทั้งมีการใช้กรดฟอร์มิก ($HCOOH$) ในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ความเข้มข้น VFA มีค่าค่อนข้างสูงแต่กรดฟอร์มิกนี้สามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นของก๊าซไข่เน่า (H_2S) ที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณข้างเคียง แต่ในน้ำเสียยังพบซัลเฟต (SO_4^{2-}) อยู่บ้างซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ ลักษณะน้ำเสียทางเคมีสรุปได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	ช่วงค่า	$\bar{X} \pm SD$
Temperature ($^{\circ}C$)	24.40-32.20	28.19 ± 1.83
pH	5.09-6.58	5.57 ± 0.34
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	200-1,350	845 ± 274
VFA (mg/L as CH_3COOH)	140-2,130	$1,128 \pm 492$
BOD_5 (mg/L)	1,362-3,554	$2,608 \pm 705$
TCOD (mg/L)	1,782-6,811	$3,710 \pm 900$
SCOD (mg/L)	846-4,798	$2,520 \pm 922$
SS (mg/L)	123-558	313 ± 103
TKN (mg/L)	62-195	128 ± 48
NH_4^+-N (mg/L)	41-165	101 ± 33
SO_4^{2-} (mg/L)	38-179	106 ± 53
TP (mg/L)	33-115	77 ± 25
NO_3^- (mg/L)	0.08-0.44	0.24 ± 0.17

3.3 สมรรถนะของระบบบำบัด MCL และ MABR

ในการทดลองในครั้งนี้แบ่งการศึกษออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) และถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลสารที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่างๆ ภายใต้สภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 2-3)

3.3.1 การเริ่มต้นเดินระบบ

การเริ่มต้นเดินระบบ (Start up) ได้กระทำหลังจากสหกรณ์เปิดทำการในฤดูเปิดหน้ากรีดยางซึ่งจะเป็นช่วงที่มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต นำมูลสุกรเหลวเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น (Starter) จากบ่อรวบรวมน้ำเสียของฟาร์มสุกรในเขตพื้นที่ จังหวัดสงขลา เติมน้ำลงในถังปฏิกิริยา สำหรับระบบ MCL ได้เติมมูลสุกรลงในบ่อแรกปริมาณ 177 L เพื่อให้ได้ค่า MLSS ประมาณ 25,000 mg/L และเติมในบ่อที่สอง 35.4 L (20% ของบ่อแรก) ส่วนในระบบ MABR จะเติมในทุกๆ ถังปฏิกิริยา ถึงถังละ 55 L เพื่อให้ได้ค่า MLSS ประมาณ 25,000 mg/L แล้วจึงป้อนน้ำเสียเข้าระบบให้ได้ตามปริมาตรการใช้งานของแต่ละระบบ โดยระบบ MCL มีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 504 L และระบบ MABR 204 L และปล่อยไว้ 2 วันเพื่อให้จุลินทรีย์ปรับตัว จากนั้นเดินระบบที่สภาวะ HRT ต่างๆ (ตารางที่ 2-3) ในระยะแรกของการเริ่มต้นเดินระบบเกิดการสูญเสียของตะกอนจากระบบในปริมาณมาก ตะกอนที่ตกจมยากและมีน้ำหนักเบาถูกชะล้างออกจากระบบ ส่วนตะกอนที่มีคุณสมบัติในการตกตะกอนดีจะถูกกักเก็บไว้ในระบบ โดยสังเกตว่าระบบทั้งสองจะใช้ระยะเวลาประมาณ 2-3 เดือน ในการการปรับสภาพจากมูลสุกรเป็นกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศ สังเกตได้จากการทำงานของระบบที่ค่อนข้างคงที่ จากนั้นเริ่มทำการทดลองในทุกๆ ระบบตามสภาวะต่างๆ

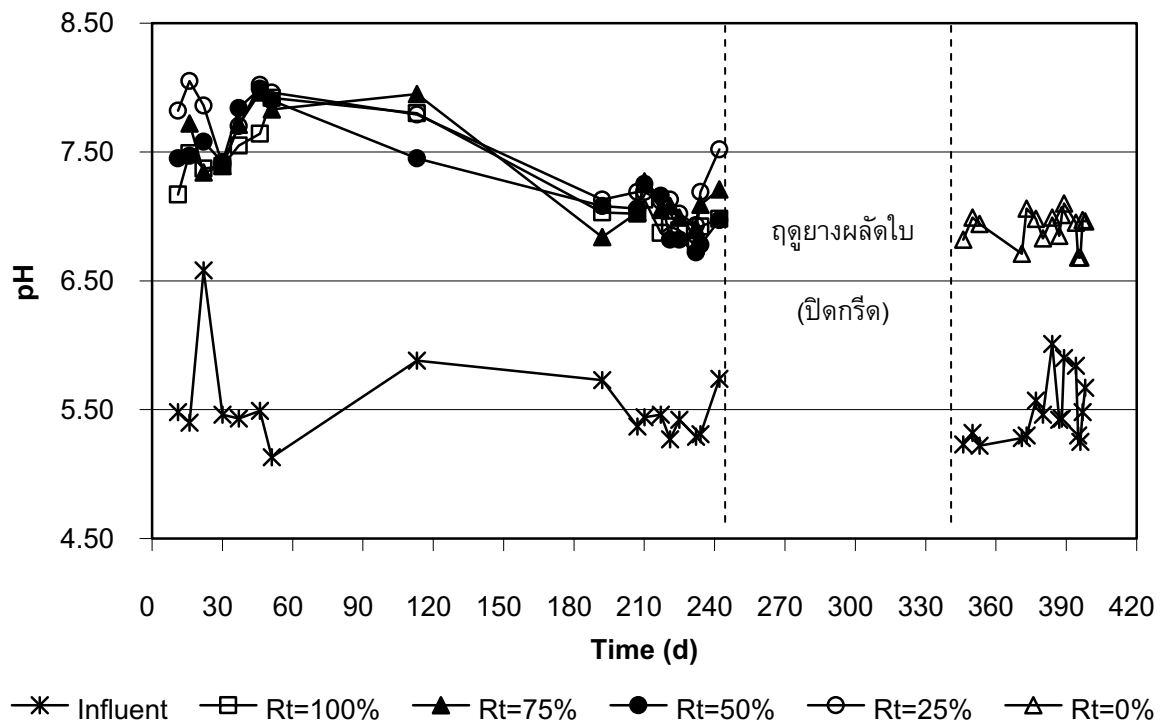
3.3.2 ผลการเดินระบบบ่อหมักย่อยประยุทธ์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ภายใต้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่าง ๆ

(1) พีเอช (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพต่าง (Alkalinity)

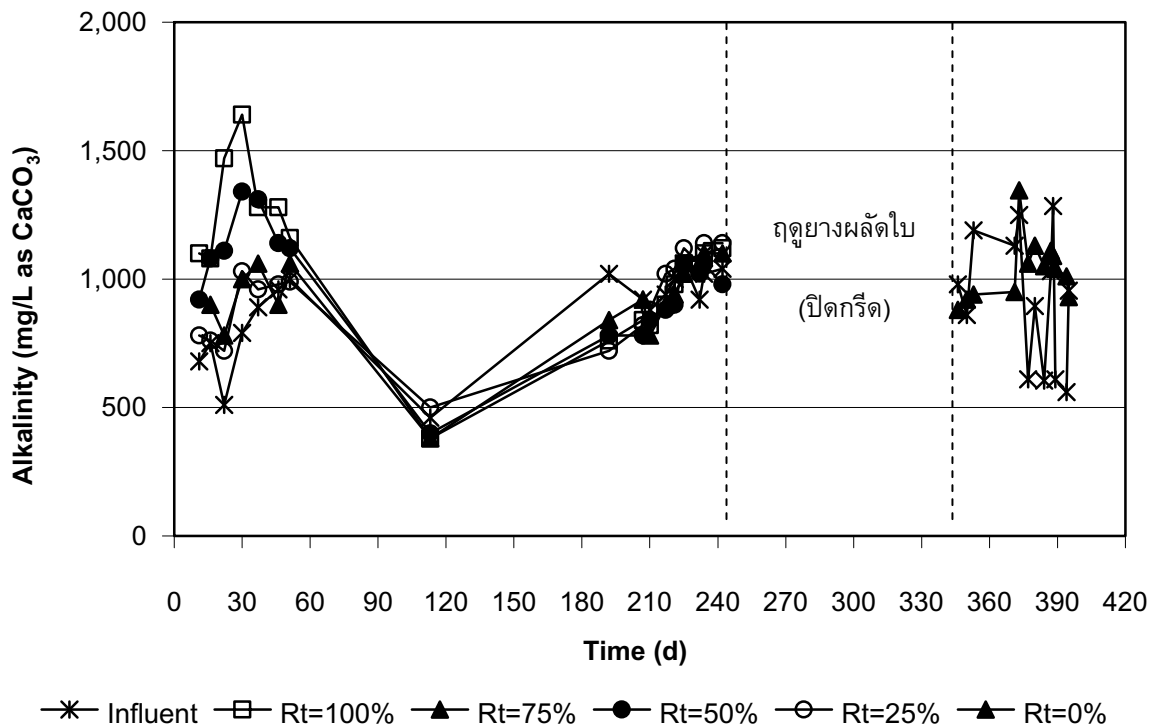
ในการทำงานของระบบไร้อากาศ ระดับ pH ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) และสภาพต่าง (Alkalinity) ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระบบการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมากต่อปฏิกิริยาชีวเคมีในขั้นตอนการผลิตกรดและมีเทนให้สามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

น้ำเสียก่อนเข้าระบบ MCL มี pH เฉลี่ยเท่ากับ 5.57 ± 0.34 (ตารางที่ 3-1) ในการเดินระบบที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ เท่ากับ 100% 75% 50% 25% และ 0% ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 389 วัน มีช่วงของข้อมูลขาดหายไป 3 ช่วง (รูปที่ 3-3) ได้แก่ ช่วงแรก ระหว่างวันที่ 51-112 ขาดหายไปเนื่องจากระบบเกิดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขซ่อมแซมระบบ ช่วงที่ 2 วันที่ 114-191 เป็นช่วงฤดูฝนส่งผลให้น้ำเสียก่อนเข้าระบบเกิดการเจือจางและไม่มีน้ำยางสดเข้าทำการผลิต ผู้วิจัยจึงหยุดเดินระบบจนกระทั่งฤดูฝนผ่านพ้นไป และช่วงที่ 3 วันที่ 243-345 เป็นช่วงยางผลัดใบหรือฤดูการปิดกรีด ทำให้ไม่มีน้ำเสียเข้าระบบผู้วิจัยจึงทำการหยุดระบบอีกครั้งจนกระทั่งเปิดฤดูการกรีดยาง หลังจากนั้นได้ทำการเดินระบบเก็บข้อมูลตามปกติ พบว่า ที่สภาวะคงตัว (Stable Condition)

pH ในน้ำทิ้งที่ทุก R_t มีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบเสมอ มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ (Rittmann and McCarty, 2001) แสดงว่าน้ำเสียเข้าระบบมีความจุบัฟเฟอร์ (buffer capacity) และ Alkalinity ในปริมาณที่เพียงพอโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 845 ± 274 mg/L as CaCO_3 เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้วพบว่า Alkalinity เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่ได้รับไบคาร์บอเนต ที่เกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sawyer *et al.*, 2003) ที่อยู่ในก๊าซชีวภาพ และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนในทางน้ำอย่างพาราเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ from) สามารถทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ทำให้ Alkalinity ของน้ำเสียในระบบเพิ่มขึ้น (Dalis *et al.*, 1996) โดยมีค่า Alkalinity เฉลี่ยอยู่ที่ $1,063 \pm 39$ mg/L as CaCO_3 (รูปที่ 3-4) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควันให้มีค่าเป็นกลางก่อนเข้าระบบบำบัดแบบไร้อากาศ



รูปที่ 3-3 pH น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ



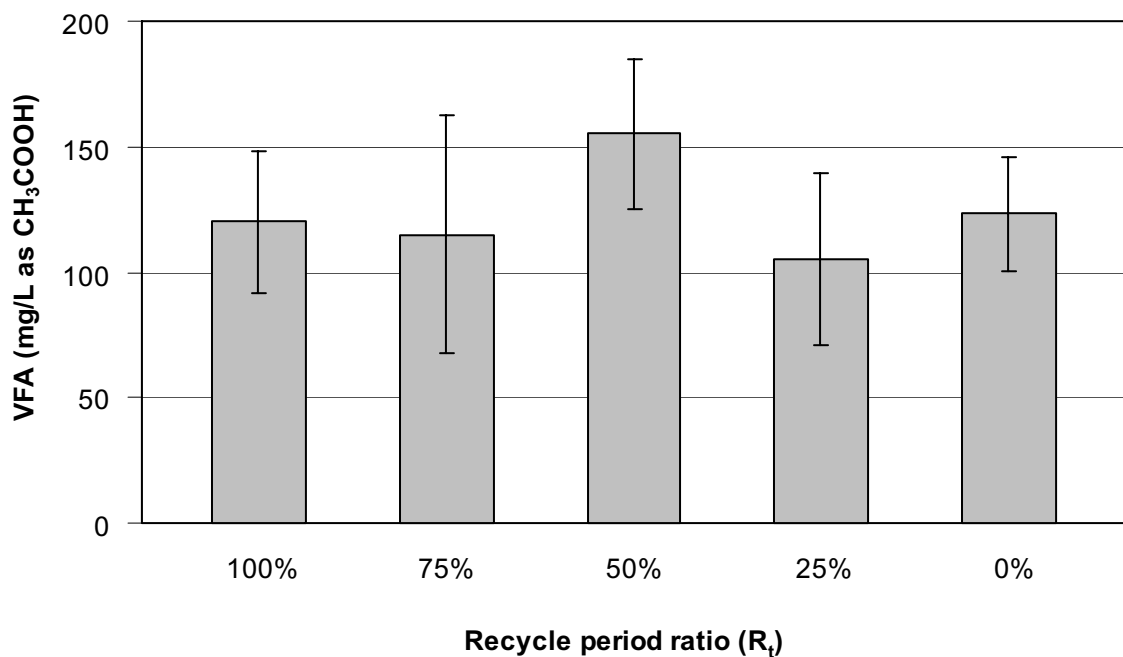
รูปที่ 3-4 Alkalinity น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ

VFA ของน้ำเสียเข้าระบบ MCL (ตารางที่ 3-1) สามารถแสดงถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบว่าเกิดความสมดุลในการทำงานระหว่างจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน โดยถ้าระบบมีปริมาณ VFA สะสมอยู่มากจะเป็นอันตรายต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน จนอาจทำให้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพล้มเหลว โดยค่า VFA ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH และไม่ควรสูงกว่า 2,000 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) จากผลการทดลองน้ำเสียเข้าระบบ MCL มีความเข้มข้น VFA เฉลี่ยเท่ากับ $1,128 \pm 492$ mg/L as CH_3COOH ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดการหมักแบบไร้อากาศขึ้นในบ่อรวบรวมน้ำเสีย/ถังเศษยางที่ใช้เป็นแหล่งป้อนน้ำเสียเข้าระบบ นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการที่น้ำเสียมีส่วนผสมของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันด้วย จึงทำให้น้ำเสียมี VFA สูง

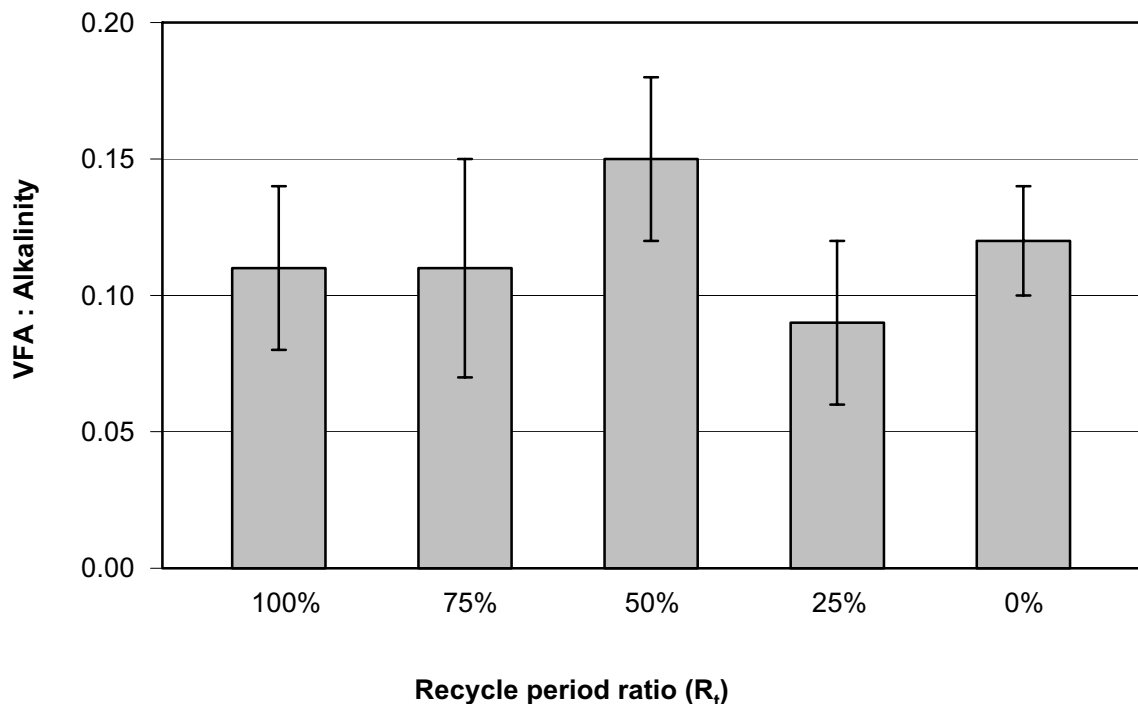
เมื่อเดินระบบ MCL ที่ $R_t=100\%$ 75% 50% 25% และ 0% พบว่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัวที่ $R_t=50\%$ มีความเข้มข้น VFA สูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 155 ± 30 mg/L as CH_3COOH (รูปที่ 3-5) ซึ่งสอดคล้องกับค่า pH ที่ $R_t=50\%$ มีค่าต่ำที่สุดแต่จะเห็นว่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า

ระบบสามารถรักษาระดับ VFA ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานในสภาวะไร้อากาศได้ดีตลอดการทดลอง

อัตราส่วน VFA:Alkalinity มีความสำคัญต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศโดยเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความจุบัฟเฟอร์ของระบบ น้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า VFA:Alkalinity ระหว่าง 1.39 ± 0.31 และเมื่อเดินระบบการทดลองที่ระดับ R ต่างๆ พบว่าที่สภาวะคงตัว VFA:Alkalinity ในน้ำทิ้งของ R ที่ 100% 75% 50% 25% และ 0% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ± 0.03 , 0.11 ± 0.04 , 0.15 ± 0.03 , 0.09 ± 0.03 และ 0.12 ± 0.02 ตามลำดับ และพบว่า ที่ R=50% มีค่า VFA:Alkalinity สูงสุด (รูปที่ 3-6) ซึ่งสอดคล้องกับพีเอชในระบบที่ลดลง (รูปที่ 3-4) อย่างไรก็ตามที่ทุก R มีอัตราส่วน VFA:Alkalinity ในน้ำทิ้งต่ำกว่า 0.4 ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบมีเสถียรภาพการทำงานดี (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 และ กรมควบคุมมลพิษ, 2546) เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบสามารถปรับตัวทำงานกับน้ำเสียได้ดี และสามารถที่จะรักษาระดับ VFA และ Alkalinity ได้อย่างสม่ำเสมอเพราะระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง



รูปที่ 3-5 VFA น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R) ระดับต่างๆ



รูปที่ 3-6 VFA:Alkalinity น้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ

(2) การกำจัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD_5)

ผลการกำจัดความสกปรกของน้ำเสียในรูปของ BOD_5 ที่สภาวะคงตัว ที่ R_t ระดับต่างๆ (ตารางที่ 3-2) พบว่าที่ $R_t=25\%$ มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 สูงสุด โดยมีความเข้มข้น BOD_5 ของน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ $2,685 \pm 789$ mg/L เมื่อผ่านการบำบัดพบว่ามีค่า BOD_5 ในน้ำทิ้งเท่ากับ 64 ± 23 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสูงถึง 97.64% และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 ของระบบ MCL ที่แต่ละ R_t พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 สูงกว่า 95% ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดนี้ยังมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 ที่กฎหมายควบคุม (BOD_5 ไม่มากกว่า 20 mg/L)

เมื่อคิดอัตราส่วนระหว่าง BOD_5 :TCOD ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ โดยถ้าอัตราส่วน BOD_5 :TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงกว่าน้ำทิ้งแสดงว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงขณะที่มลสารรวมได้ถูกย่อยสลายได้ในสัดส่วนที่ต่ำกว่า จากการทดลองน้ำเสียมี BOD_5 :TCOD เฉลี่ยเท่ากับ 0.77 ± 0.08 และเมื่อเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่า น้ำทิ้งมี BOD_5 :TCOD ต่ำกว่าน้ำเสียตลอดการทดลองโดยมีเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 ± 0.10 , 0.56 ± 0.06 , 0.56 ± 0.23 , 0.51 ± 0.18 และ 0.44 ± 0.24 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียมีสารประกอบที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ และจุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบที่ย่อยสลาย

ง่ายเหล่านี้ในการเจริญเติบโตได้ดี ส่วนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากยังคงอยู่ในน้ำเสียซึ่งจะปรากฏอยู่ในค่า TCOD ดังนั้นประสิทธิภาพในการบำบัด BOD₅ จึงสูงกว่าการบำบัด TCOD

ตารางที่ 3-2 BOD₅ ของน้ำเสียและทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_i) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R _t (%)	BOD ₅ (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	1,782-3,245	2,685±789	63-135	91±38	96.00 ^a
75			50-84	64±18	97.29 ^a
50			52-395	229±172	89.59 ^a
25			38-78	64±23	97.64 ^a
0*	1,548-3,554	2,437±1,022	24-124	84±44	96.21 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

(3) การกำจัดชีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดี ได้มีการวิเคราะห์ชีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand; TCOD) และชีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand; SCOD) ของน้ำเสียเข้าระบบ น้ำทิ้งจากระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลองที่ R_i เท่ากับ 100% 75% 50% 25% (ดังตารางที่ 3-3) และเมื่อเติมน้ำจากระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่า ที่ R_i=75% ระบบ MCL มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD สูงสุดโดยมีความเข้มข้นน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 114±33 และ 49±21 mg/L (รูปที่ 3-7 และ 3-9) ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD สูงถึง 96.42% และ 98.23% (รูปที่ 3-8 และ 3-10) ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_i=0%) พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่าที่ R_i=75% โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ที่ 97.15% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการสูบน้ำย้อนกลับน้ำทิ้งแม้จะทำให้เกิดการกวนผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์แต่อาจรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์และส่งผลให้ของแข็งแขวนลอยและตะกอนในระบบเกิดการฟุ้งกระจายแขวนลอยออกมากับน้ำทิ้งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ต่ำกว่าได้ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการกำจัด SCOD ที่ R_i=75% นั้นยังสูงกว่าที่ R_i=0%

ตารางที่ 3-3 TCOD และ SCOD ของน้ำเสีย น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R _t (%)	TCOD (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
100	2,592-4,185	3,459±806	112-205	159±46	94.99 ^a
75			82-147	114±33	96.42 ^a
50			155-217	186±44	95.25 ^a
25			122-127	125±3	96.26 ^a
0*	4,858-6,811	5,590±1,064	131-172	154±20	97.15 ^a
	SCOD (mg/L)				
R _t (%)	Influent		Effluent		Removal (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
100	2,208-3,165	2,724±283	28-90	66±34	97.65 ^b
75			28-70	49±21	98.23 ^b
50			142-271	194±68	92.39 ^a
25			57-80	69±11	97.40 ^b
0*	1,650-3,207	2,538±801	40-175	109±67	95.90 ^{ab}

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

แต่หากพิจารณาการกำจัด TCOD ในแต่ละถังปฏิกรณ์ พบว่า ถังใบแรกมีการกำจัด TCOD ไปแล้วกว่า 70% และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดบ่อที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแสดงว่าบ่อที่ 2 อาจทำหน้าที่เป็นหน่วยของการตกตะกอนของ SS นอกจากนี้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับไม่ทำให้เกิดความแตกต่างในการบำบัดดังแสดงในตารางที่ 3-4

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ทุก R_t มีค่าสูงกว่า 95% ประการแรกเป็นเพราะน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ไม่สูงนักและเป็นสารที่ย่อยสลายไม่ยากทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นไปได้ดี ประกอบกับโครงสร้างของระบบ MCL ออกแบบให้มี 2 ถัง และมี HRT นานถึง 30 วัน ซึ่งสังเกตได้จากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในถังที่ 1 สูงถึงร้อยละ 71.1±2.6 76.7± 9.7 67.1±10.3 88.9±5.2 และ 81.2±3.0 ของ $R_t=100\%$ 75% 50% 25% และ 0% ตามลำดับ และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากถังที่ 2 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ MCL สูงขึ้นอีกทำให้โดยรวมแล้วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบ่อ

หมักไร้อากาศของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด (สกย. ยุงทอง) พบว่า ระบบ MCL ที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูงกว่าระบบของ สกย. ยุงทอง ที่มีประสิทธิภาพการในกำจัด TCOD เฉลี่ยเพียง 68.37% (ตารางที่ 3-5) เนื่องมาจากระบบของ สกย. ยุงทอง มี HRT ต่ำกว่า (26 วัน) ซึ่งต่ำกว่าระบบ MCL ที่ใช้ในการศึกษา 4 วัน หรือ 13% อย่างไรก็ตาม น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากการทดลองยังคงมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (TCOD ไม่ควรเกิน 120 mg/L) ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 ซึ่งต้องมีบ่อรองรับสำหรับบำบัดอีกเล็กน้อยเท่านั้น

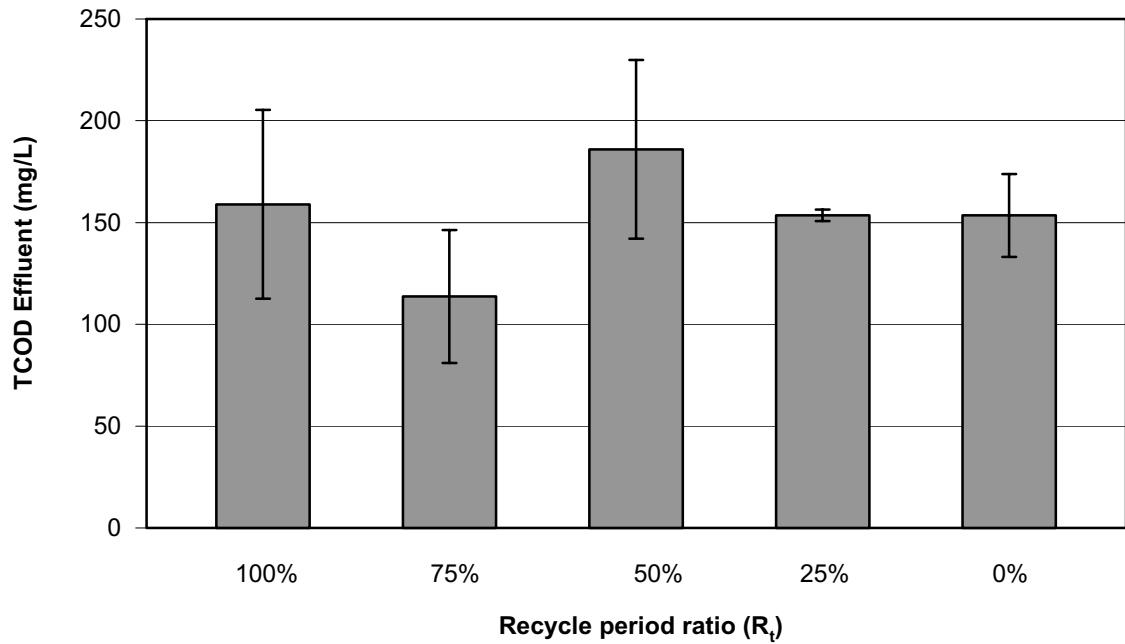
ตารางที่ 3-4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่าง ๆ ที่สภาวะคงตัว

R (%)	TCOD Removal (%)	
	Pond-1	Pond-2 (Effluent)
100	77.08±2.59	95.00±2.66
75	76.73±9.74	96.42±1.91
50	77.51±25.56	95.25±7.55
25	88.89±5.24	96.26±0.86
0*	81.15±2.98	97.15±0.83

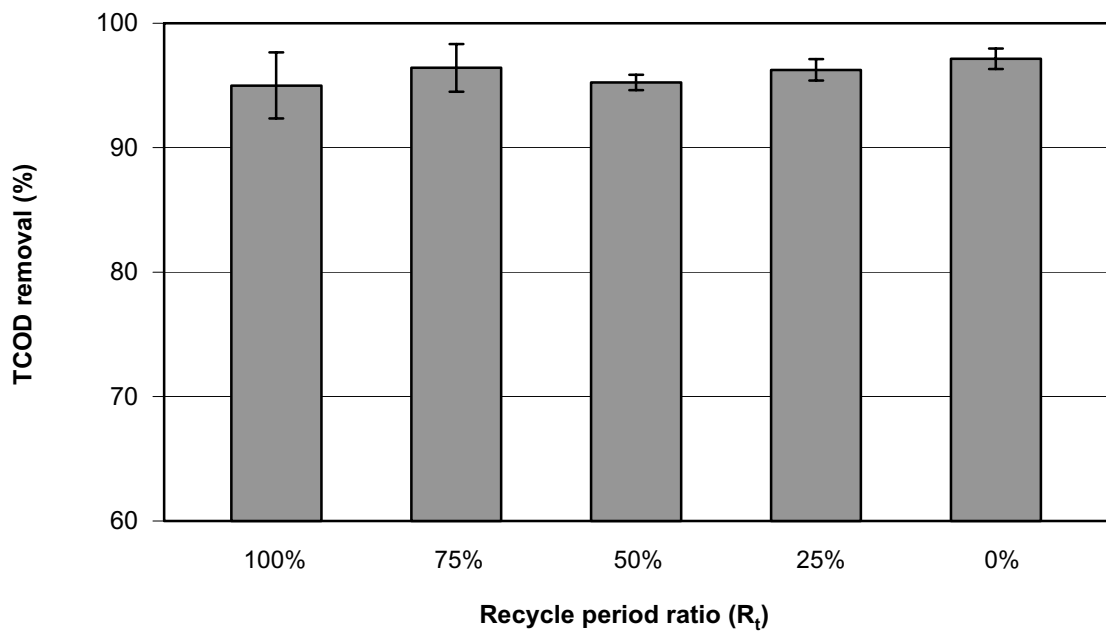
หมายเหตุ: * เติกระบบหลังยางผลัดใบ

ตารางที่ 3-5 ลักษณะน้ำเสีย และน้ำทิ้งทางเคมีจากการบำบัดน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ยุงทอง จำกัด (เดือนมกราคม-มีนาคม 2551)

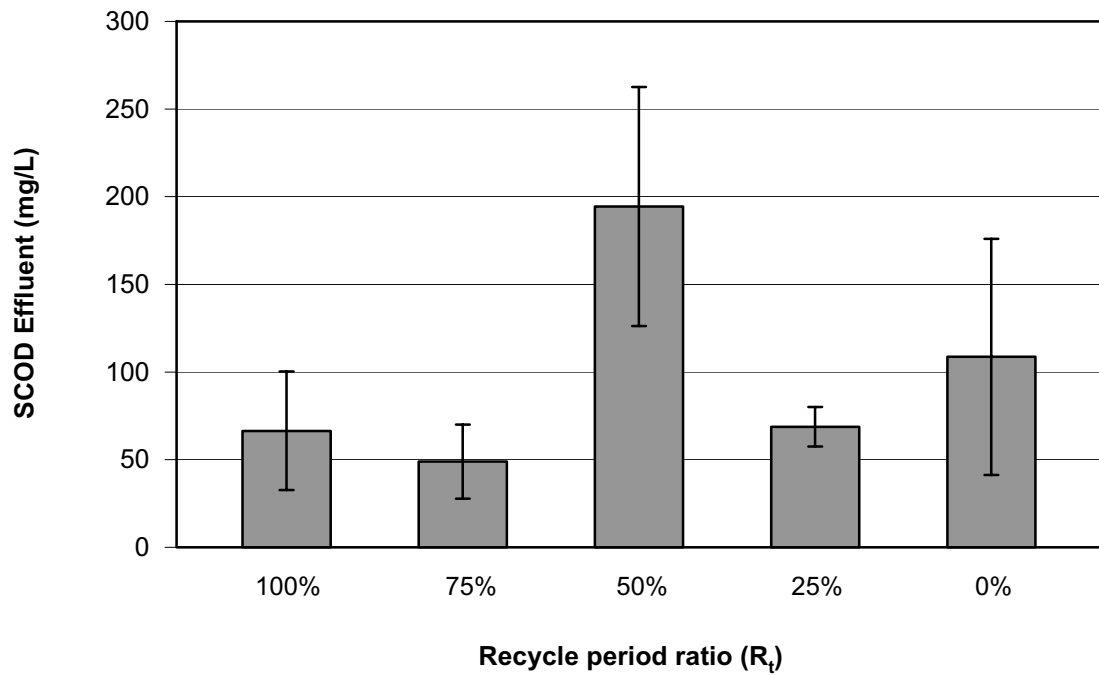
Parameter	Influent		Effluent		Removal (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
Temperature	25.00-34.20	29.00±3.79	24.80-31.50	27.90±2.97	-
pH	5.29-6.46	5.72±0.57	6.53-7.03	6.84±0.19	-
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	670-1,570	1,116±362	700-1,750	1,286±376	-
VFA (mg/L as CH ₃ COOH)	200-1,260	834±395	180-540	302±148	-
TCOD (mg/L)	2,592-4,500	3,488±694	800-1,478	1,042±261	68.37
SCOD (mg/L)	242-3,440	2,202±1,199	420-890	670±184	74.95
SS (mg/L)	325-770	552±202	175-460	326±107	33.42



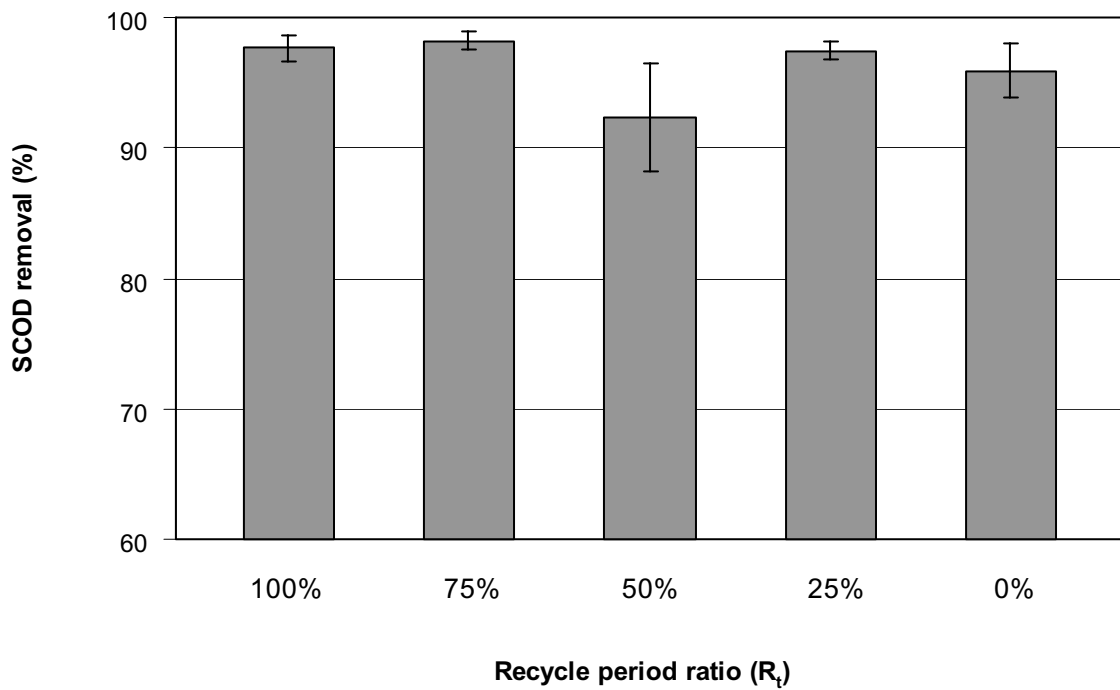
รูปที่ 3-7 TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 3-9 SCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่คงตัว



รูปที่ 3-10 ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

(4) การกำจัดแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ความเข้มข้น SS ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยที่ระดับ R_t ต่างๆ แสดงในตารางที่ 3-6 และจากการทดลองที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ R_t เท่ากับ 100% 75% 50% 25% พบว่าที่ $R_t=75\%$ มีความเข้มข้น SS ในน้ำทิ้งเฉลี่ยเท่ากับ 69 ± 27 mg/L (รูปที่ 3-11) คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุดเฉลี่ย 86.06% โดยมีความแตกต่างทางสถิติกับที่ R_t อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3-6) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS ที่ทุก R_t มีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากระบบ MCL ถูกออกแบบโดยแบ่งออกเป็น 2 บ่อ อีกทั้งภายในบ่อแรกมีแผ่นกั้นสามารถดักและตกตะกอน SS ได้ดี ก่อนที่น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากบ่อที่ 1 จะบำบัดต่อและตกตะกอนในบ่อที่ 2 อีกครั้ง

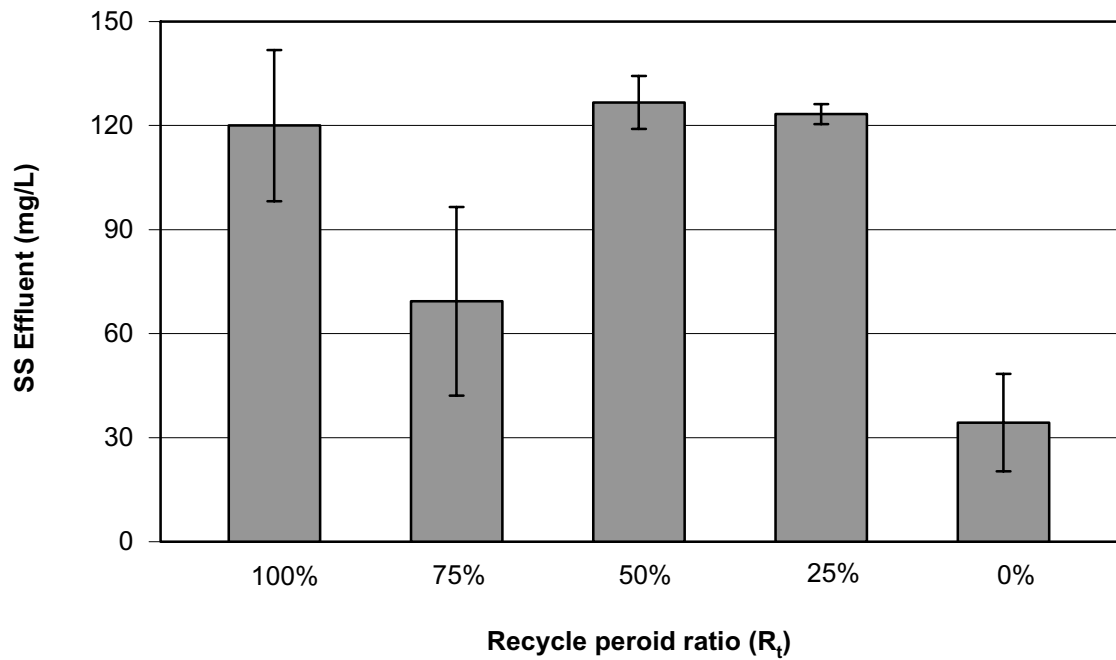
เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_t=0\%$) พบว่าที่ $R_t=100\%$ ถึง 25% ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด SS ต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาทางสถิติพบว่า การกำจัด SS ที่ $R_t=100\%$ 50% และ 25% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ $R_t=75\%$ และ 0% ก็ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าทั้งสองกลุ่มนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-6 เนื่องจากการสูบน้ำเสียย้อนกลับทำให้เกิดการกวนผสมน้ำเสีย ส่งผลให้ SS และตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเกิดการฟุ้งกระจาย แขนงลอยออกมาพร้อมกับน้ำทิ้ง โดยที่ $R_t=0\%$ มีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 89.47% โดยมีความเข้มข้น SS ในน้ำทิ้งจากระบบเท่ากับ 34 ± 14 mg/L ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (SS ไม่ควรเกิน 50 mg/L) ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539

ตารางที่ 3-6 SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่ภาวะคงตัว

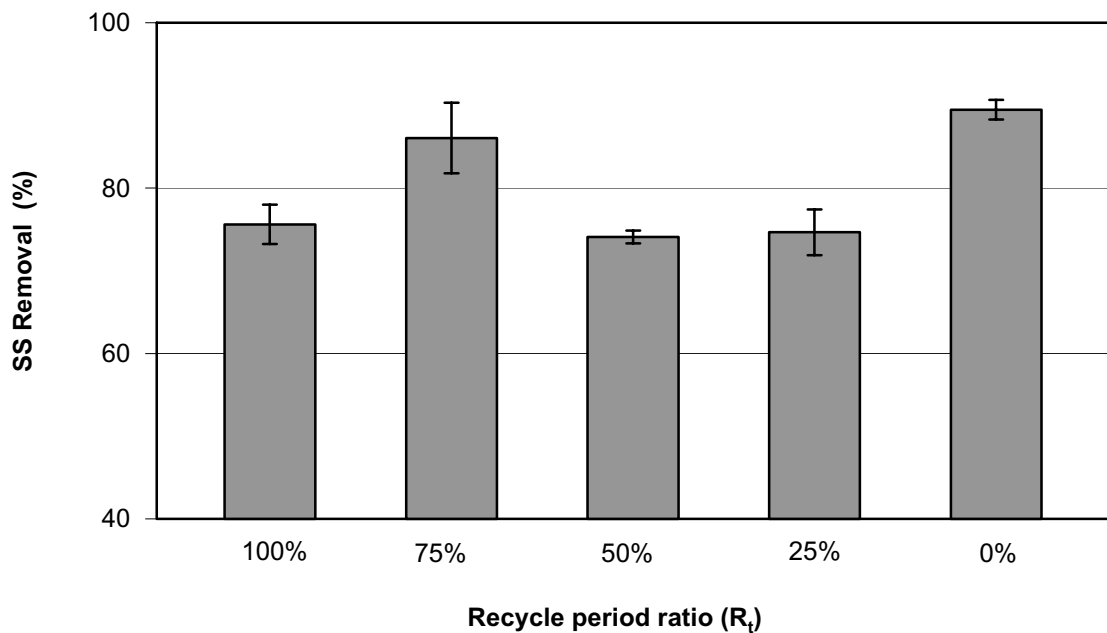
R _t (%)	SS (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	544-540	490±44	105-145	120±22	75.62 ^a
75			48-100	69±27	86.06 ^b
50			120-135	127±8	74.10 ^a
25			120-125	123±3	74.66 ^a
0*	227-420	319±97	21-49	34±14	89.47 ^b

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ



รูปที่ 3-11 SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 3-12 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

5) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดเจตาห์ลไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen; $\text{NH}_4^+\text{-N}$)

5.1) การกำจัดเจตาห์ลไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น (TKN)

จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอาหาร (Macronutrient) สำหรับสร้างเซลล์ สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้ง่ายโดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการ Ammonification โดยทั่วไปอัตราส่วน TCOD:TKN ในระบบบำบัดไร้อากาศควรมีอย่างน้อยเท่ากับ 100:1.1 (McCarty, 1964) และจากผลการทดลองปริมาณ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154 ± 45 mg/L แต่เมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนที่ระบบต้องการคิดเป็นอัตราส่วน TCOD:TKN ได้เฉลี่ยประมาณ 100:3.4 ซึ่งยังคงมากกว่าค่าที่แนะนำไว้ จึงไม่จำเป็นการเติมสารเพิ่มไนโตรเจนให้กับระบบ และความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งที่สัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับที่ระดับต่างๆ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแสดงดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 TKN และ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	HRT (d)	R (%)	TKN (mg/L)		$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L)	
			$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)
MCL	30	100	103 ± 7	43.14	90 ± 17	28.67
		70	102 ± 4	42.76	89 ± 23	32.42
		50	96 ± 5	31.91	74 ± 21	44.56
		25	102 ± 4	41.99	91 ± 12	24.93
		0*	102 ± 8	45.29	92 ± 15	19.67

หมายเหตุ: *เดินระบบหลังยางผลัดใบ

ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากผลการศึกษาที่สภาวะคงตัว พบว่า น้ำทิ้งที่ R_t ทุกระดับ ความเข้มข้นในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TKN และ $\text{NH}_3\text{-N}$ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยปริมาณ TKN ในน้ำทิ้งมีค่าความเข้มข้นลดลงจากน้ำเสียเข้าระบบไม่มากนัก เพราะไนโตรเจนไม่สามารถถูกบำบัดด้วยวิธีการกำจัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศได้เพียงอย่างเดียว แต่ต้องอาศัยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศร่วมด้วย (Nitrification-Denitrification) ทั้งนี้ TKN บางส่วนที่หายไปจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหารเพื่อการสร้างเซลล์ใหม่

5.2) การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

ที่สภาวะคงตัวความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในน้ำเสียเฉลี่ยเท่ากับ $100 \pm 45 \text{ mg/L}$ และน้ำทิ้งจากระบบ MCL ของการทดลองที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_f) ระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3-6 โดยที่น้ำทิ้งจาก R_f ทุกระดับ มีความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงถึงมีการย่อยสลายโปรตีนและสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็น $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ซึ่งจะทำให้ค่าสภาพต่างสูงขึ้นตามไปด้วย (รูปที่ 3-5) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในระบบ (เท่ากับในน้ำทิ้ง) ที่ช่วงนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบ เพราะ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ จะเริ่มเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่ความเข้มข้น 700 มก./ล. และถ้าหากมีความเข้มข้นเกินกว่า 1,500 มก./ล. จะเป็นพิษต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 2004) อนึ่งแอมโมเนียบางส่วนอาจตกตะกอนร่วมกับแร่ธาตุอื่นเช่น ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม เป็นผลึกของสารเคมีได้ (Struvite Precipitation)

(6) การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP) เมื่อเทียบกับ TCOD ในน้ำเสียที่ระบบบำบัดแบบไร้อากาศต้องการอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน TCOD:TP เท่ากับ 100:0.2 (Sanders and Bloodgood, 1965) และจากผลการศึกษาดลอดการทดลองนี้ปริมาณ TP ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงพอ อยู่ที่ TCOD:TP ในช่วง 100 ต่อ 1.77-2.40 ดังนั้นน้ำเสียจากสหกรณ์ยางแผ่นรมควันจึงไม่มีความจำเป็นต้องเติมสารอาหารกลุ่มฟอสฟอรัสแก่ระบบ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเข้มข้นของ TP ระหว่างที่มีและไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_f=0\%$) พบว่า ที่ $R_f=0\%$ มีความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งต่ำที่สุด และคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TP ได้เฉลี่ยเท่ากับ 41.66% (ตารางที่ 3-8) อนึ่งการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไร้อากาศนั้นสามารถเกิดได้จากการที่จุลินทรีย์ใช้ฟอสฟอรัสสำหรับสร้างเซลล์ ซึ่งความต้องการของจุลินทรีย์ในส่วนนี้จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และฟอสฟอรัสบางส่วนอาจตกตะกอนร่วมกับแร่ธาตุอื่นเช่น แอมโมเนียและแมกนีเซียม เป็นผลึกของสารเคมีได้ (Struvite Precipitation) อนึ่งระบบการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ (Biological Phosphorus Removal) โดยทั่วไปนั้นไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพแบบไร้อากาศได้เพียงอย่างเดียว แต่ต้องอาศัยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศร่วมด้วย

ตารางที่ 3-8 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R _t (%)	TP (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	81-101	88±11	54-66	61±6	30.04 ^a
75			42-66	57±14	34.40 ^a
50			44-66	58±12	34.02 ^a
25			48-66	56±10	36.73 ^a
0*	79-115	99±18	52-59	56±4	41.66 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

(7) การกำจัดซัลเฟต (Sulfate)

การกำจัดซัลเฟตทางชีวภาพแบบไร้อากาศจะอาศัยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มซัลเฟตรีดิวซ์ซิง (Sulfate Reducing Bacteria; SRB) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์ SO_4^{2-} กลายเป็น H_2S ซึ่งการทดลองนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัด SO_4^{2-} ของระบบ MABR โดยความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ในน้ำเสียเข้าและน้ำทิ้งจากระบบที่ $R_t=100\%$ 75% 50% 25% และ 0% มีความเข้มข้นดังแสดงในตารางที่ 3-9 โดยเมื่อเติมน้ำในระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ R_t ระดับต่างๆ จนเข้าสู่สภาวะคงตัวพบว่า น้ำทิ้งจากระบบมีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} น้อยมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 50 mg/L ตลอดการทดลอง เนื่องจากน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควันนี้มีความเข้มข้น SO_4^{2-} ต่ำกว่า 200 mg/L ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลขุ่นที่มี SO_4^{2-} เฉลี่ยสูงถึง 5,537±1,005 mg/L เนื่องจากการใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ในกระบวนการจับตัวของเนื้อมาย (Saritpongteeraka and Chaiprapat, 2008) ส่วนน้ำเสียจากระบบการผลิตยางอบ/รมยาง ของ สกย. ใช้กรดฟอสฟอริก (CH_3COOH) จับตัวเนื้อมายทำให้น้ำเสียประเภทนี้มีความเข้มข้นของซัลเฟตต่ำ

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด SO_4^{2-} พบว่า น้ำทิ้งจากระบบ MCL ในทุก R_t มีประสิทธิภาพการบำบัด SO_4^{2-} ต่ำกว่า 30% โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงว่ามีอัตราการเกิดการรีดิวซ์ SO_4^{2-} กลายเป็น H_2S ได้ไม่มากนักเนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} เริ่มต้นต่ำอยู่แล้ว โดยถ้าหากความเข้มข้นซัลไฟด์ซึ่งมาจากการรีดิวซ์ซัลเฟตมีค่ามากกว่า 200 mg/L จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนในระบบบำบัด (เกรียงศักดิ์ อุทุมสินโรจน์, 2545) ที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

และการผลิตก๊าซชีวภาพลดต่ำลงจนถึงล้มเหลวได้ ดังนั้นการที่น้ำเสียมีซัลเฟตต่ำและไม่ได้เกิดซัลด์มากจึงเป็นผลดีต่อการบำบัดด้วยระบบแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 3-9 ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสียและน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ภายใต้สภาวะคงตัว

R _t (%)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	76-170	118±47	45-54	48±5	55.75 ^a
75			32-40	35±4	68.45 ^{ab}
50			36-44	41±4	60.62 ^{ab}
25			31-44	35±8	68.25 ^{ab}
0*	98-197	152±47	21-44	33±12	78.62 ^b

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจับกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังขังผลิตไบโ

(8) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

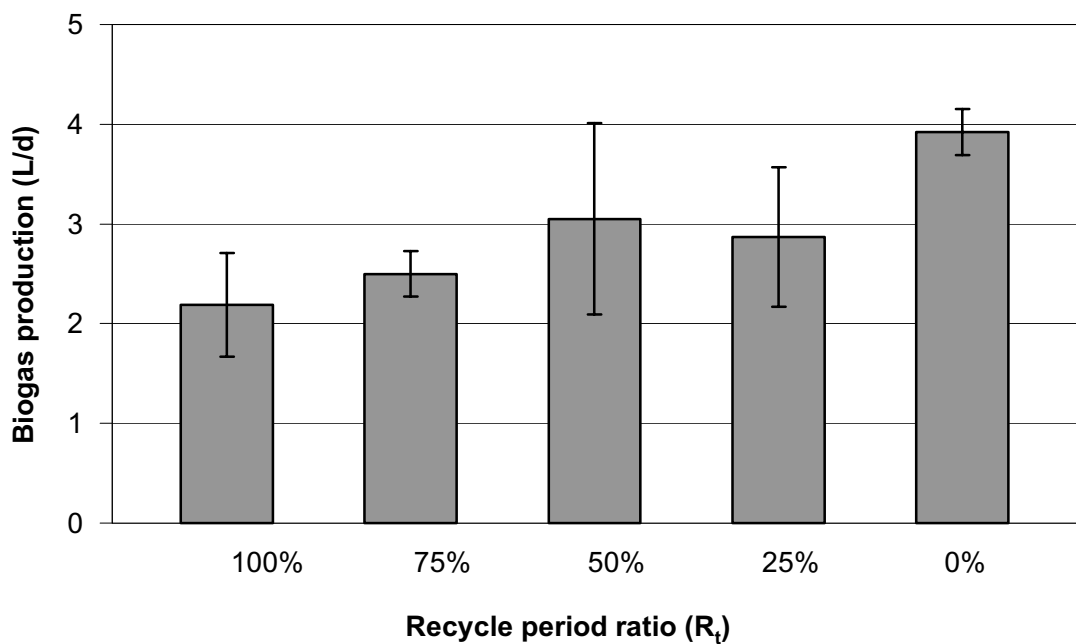
การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ MCL ได้ใช้หลักการแทนที่น้ำ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ร่วมกัน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตกรดและกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MCL แสดงในตารางที่ 3-10 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่สภาวะคงตัวที่ $R_t=100\%$ ถึง 25% พบว่า ที่ $R_t=50\%$ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.05 ± 0.96 L/d เมื่อพิจารณาที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ R_t สูงสุด (100%) พบว่า มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.19 ± 0.52 L/d ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับแรกที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นเติมน้ำในระบบจุลินทรีย์ในระบบอาจกำลังปรับสภาพอยู่ และอาจเป็นเพราะการกวนผสมอาจรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ไร้อากาศ ทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3-13 อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_t=0\%$) พบว่าระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุด (ตารางที่ 3-3) โดยเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ MCL ทางสถิติ พบว่า ที่ $R_t=100\%$ 25% 0% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ที่ $R_t=75\%$ และ 50% ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับ $R_t=100\%$ และ 25%

ตารางที่ 3-10 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	อัตราการ ป้อนน้ำเสีย (L/d)	TCOD น้ำเสียเฉลี่ย (mg/L)	TCOD น้ำทิ้ง (mg/L)	TCOD Removal (%)	ปริมาตรก๊าซ เฉลี่ยที่เกิดขึ้น (L/d)	CH ₄ (%)	อัตราการผลิต มีเทน (L _{CH4} /gTCOD _{removed})
100	16.80	2,592-4,185	159±46	94.99 ^a	2.19±0.52 ^a	67.21	0.028±0.008
75			114±33	96.42 ^a	2.50±0.23 ^{ab}	68.91	0.033±0.005
50			186±44	95.25 ^a	3.05±0.96 ^{ab}	70.00	0.043±0.009
25			125±3	96.26 ^a	2.87±0.70 ^b	67.74	0.042±0.012
0*		4,858-6,811	154±20	97.15 ^a	3.92±0.23 ^c	70.56	0.038±0.073

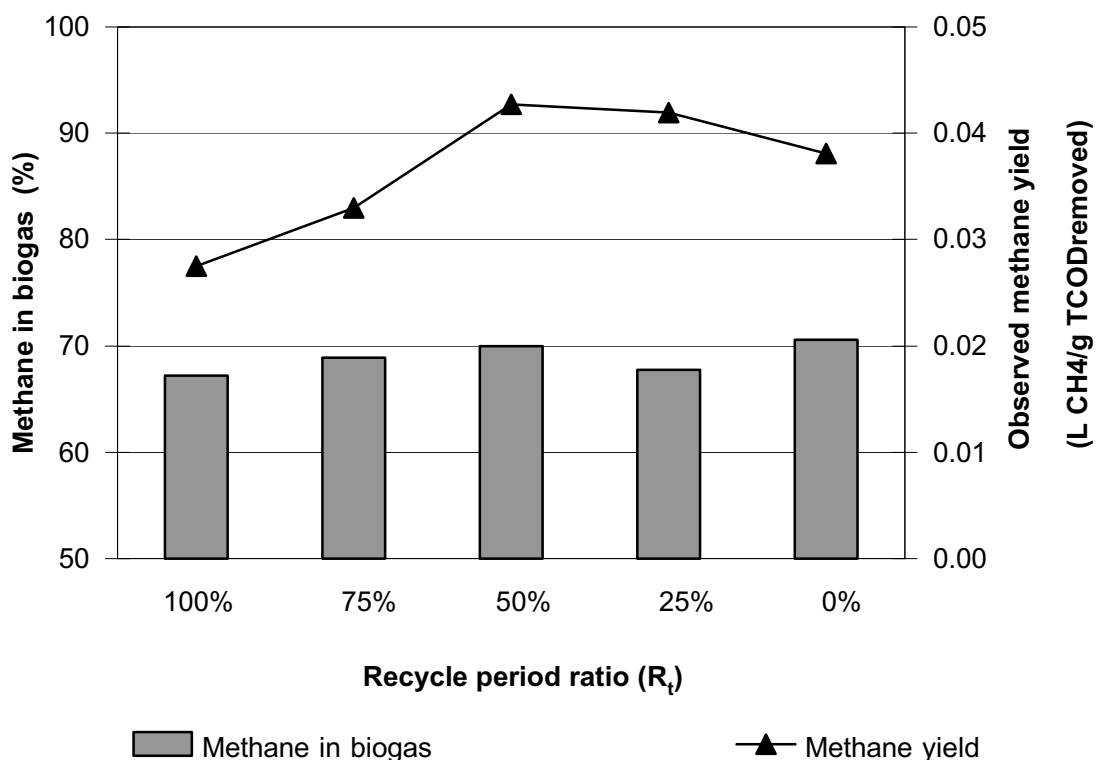
หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังขุดลอก



รูปที่ 3-13 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของระบบ MCL ที่อัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

นอกจากนี้จากการศึกษาองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ พบว่าการบำบัดน้ำเสียของระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียน้อยกลับ $R_t=100\%$ 75% 50% 25% และ 0% ที่สภาวะคงตัวได้ก๊าซชีวภาพที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเท่ากับ 67.21% 68.91% 70.00% 67.74% และ 70.56% ตามลำดับ (ตารางที่ 3-10) คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด COD เฉลี่ยประมาณ $0.04 \pm 0.01 \text{ L}_{\text{CH}_4}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ (รูปที่ 3-14) ซึ่งสอดคล้องกับการกำจัด TCOD ที่มีค่าใกล้เคียงกันทุก R_t ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด COD มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3-10) และเมื่อคำนวณตามอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Observed Methane Yield) พบว่า ระบบมีอัตราการผลิตมีเทนต่อ COD ที่ถูกกำจัดต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีในทุกชุดการทดลอง ($0.35 \text{ L}_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ที่สภาวะมาตรฐาน 0°C ความดัน 1 atm) (Tchobanoglous and Burton, 1991) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในรูป TCOC ที่ถูกกำจัดโดยระบบไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด อาจมีบางส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพทันทีซึ่งอาจอยู่ในรูปของ SS ตกตะกอนสะสมในถังปฏิกรณ์ และบางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูง แต่การผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์บางส่วนเท่านั้นจึงเป็นสาเหตุให้อัตราการผลิตมีเทนมีค่าน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี



รูปที่ 3-14 สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ $\text{TCOD}_{\text{removed}}$ ของระบบ MCL ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนระยะเวลาการสูบน้ำย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ

3.3.3 ผลการเดินระบบถึงปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor; MABR) ภายใต้สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่าง ๆ

(1) พีเอช (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

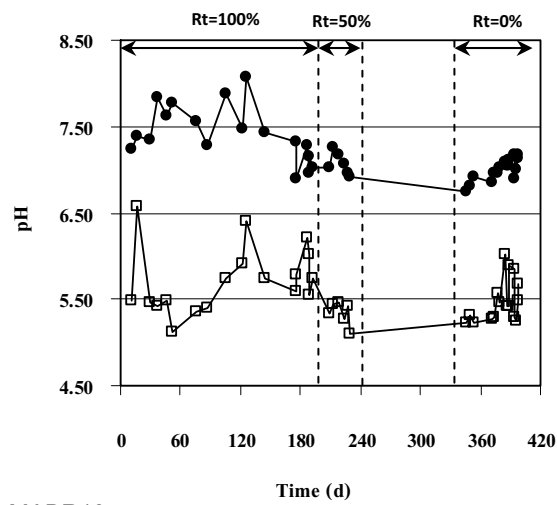
ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบอยู่ในช่วง 5.09-6.58 และผลการทดลองจากการเดินระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ พบว่า ระบบ MABR10 (HRT 10d), MABR5 (HRT 5d) และ MABR2.5 (HRT 2.5d) ที่ $R_t=100\%$ มีค่า pH ของน้ำทิ้งสูงสุดเมื่อเทียบกับที่ $R_t=50\%$ และ 0% (ตารางที่ 3-11 และ รูปที่ 3-15) เนื่องจากที่ R_t สูงมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบตลอดช่วงระยะเวลาในการกวนผสม 20 ชม.ต่อวัน ทำให้มีการหมุนเวียนนำค่าสภาพต่างกลับมาใช้ในระบบ ค่า pH จึงสูงขึ้นด้วย (ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ, 2546) ส่วนที่ $R_t=50\%$ จะเห็นว่าค่า pH ของน้ำทิ้งจากทุก HRT ลดลง เทียบกับที่ $R_t=100\%$ เนื่องจากใช้ระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับน้อยกว่า และมีการหมุนเวียนสภาพต่างกลับมาใช้ในระบบน้อยกว่า นอกจากนี้ในรูปที่ 3-15 จะสังเกตได้ว่าค่า pH ในน้ำทิ้งลดลงเมื่อ HRT ลดลง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ขณะที่จุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นแต่ในสัดส่วนที่ต่ำกว่า จนทำให้ระดับ VFA ปรับมาอยู่ในสภาวะสมดุลจุดใหม่ อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นของ VFA จากระบบ MABR ของทุกสภาวะทดลองที่สภาวะคงตัว มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 50-500 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) อีกทั้งค่า pH ของน้ำทิ้งระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ อยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 2004) เช่นกัน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากการทดลองชุดต่างๆ มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลง สอดคล้องกับ pH ของน้ำทิ้งในการทดลองชุดต่างๆ ที่มีแนวโน้มลดลงซึ่งเกิดจากผลของการสะสมของ VFA เนื่องจากที่ R_t สูงมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบด้วยระยะเวลาที่สูงกว่าที่ R_t ต่ำจึงเป็นการชักนำน้ำเสียมาสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์และนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่ถึงปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายกลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้เกิดการย่อยสลายใหม่อีกครั้งทำให้ VFA ในน้ำทิ้งลดลง เมื่อพิจารณา Alkalinity ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ พบว่า ตลอดการทดลองระบบมีความจุบัฟเฟอร์สูง มากพอซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมระหว่าง 1,000-5,000 mg/L as CaCO_3 (Metcalf and Eddy, 2004) ที่จะต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH ในระบบได้ดีของทุกชุดการทดลอง (รูปที่ 3-16) ซึ่งทำให้อัตราส่วนของ VFA:Alkalinity ของทุกชุดการทดลองต่ำกว่า 0.4 (รูปที่ 3-16) (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546) โดยค่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ นั้นแสดงให้เห็นว่ามูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นมีความสามารถปรับตัวทำงานกับน้ำเสียได้ดีทำให้ระบบมีเสถียรภาพ

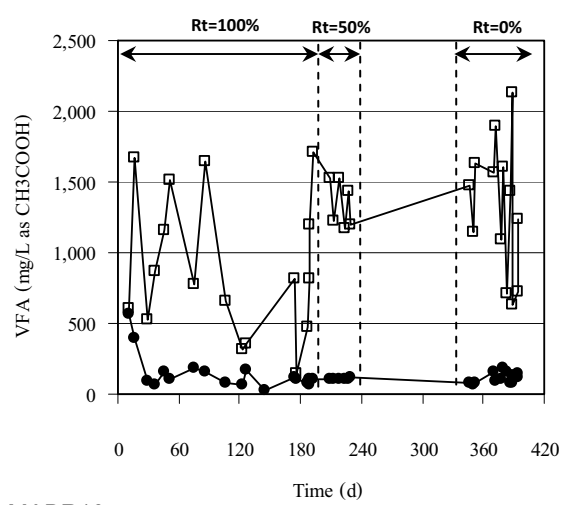
ตารางที่ 3-11 pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R _t (%)	Parameter			
			pH	VFA	Alkalinity	VFA:Alkalinity
MABR-10	10	100	7.11±0.15	85±19	905±115	0.10±0.03
		50	6.98±0.08	90±20	1,160±80	0.09±0.01
		0*	7.06±0.13	118±26	1,003±105	0.12±0.04
MABR-5	5	100	7.09±0.14	107±12	930±53	0.10±0.02
		50	6.95±0.05	113±23	1,207±186	0.10±0.03
		0*	6.99±0.17	91±19	983±14	0.09±0.02
MABR-2.5	2.5	100	7.13±0.29	80±16	905±109	0.09±0.01
		50	7.01±0.06	127±31	1,240±72	0.11±0.03
		0*	6.91±0.19	125±37	986±51	0.13±0.04

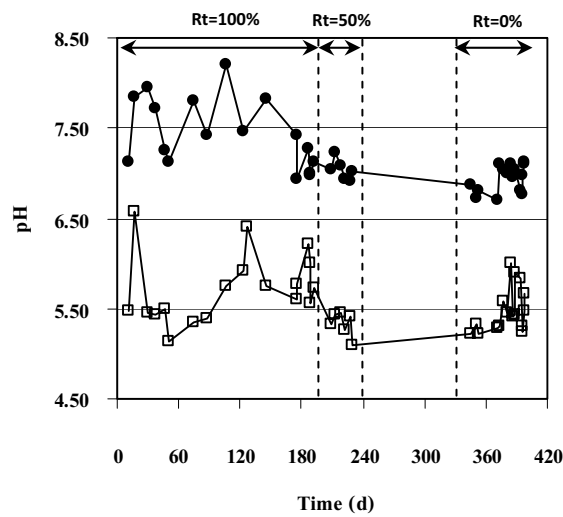
หมายเหตุ: * เติมน้ำในระบบหลังยางผลิตไบโ



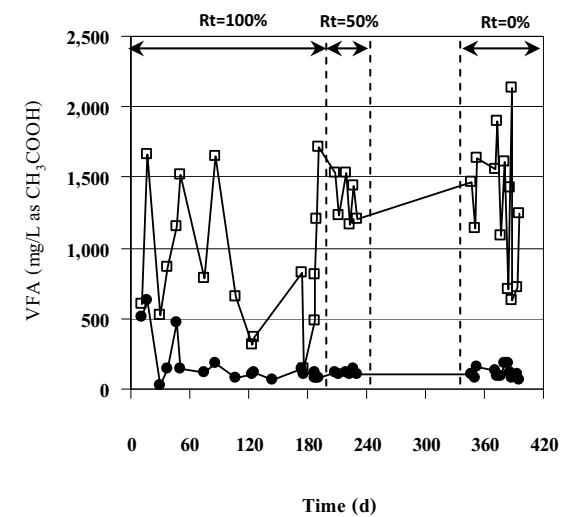
MABR10



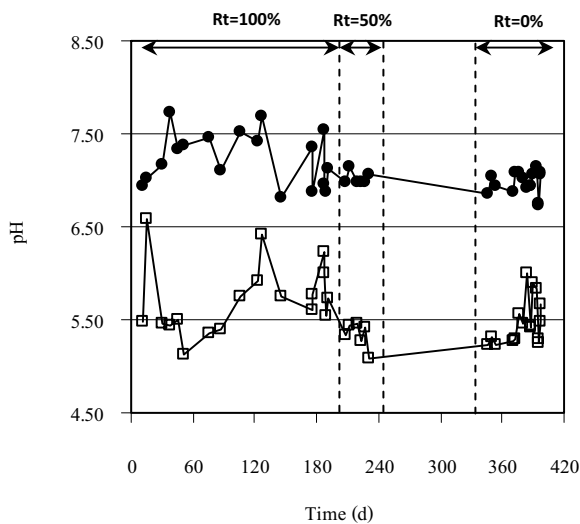
MABR10



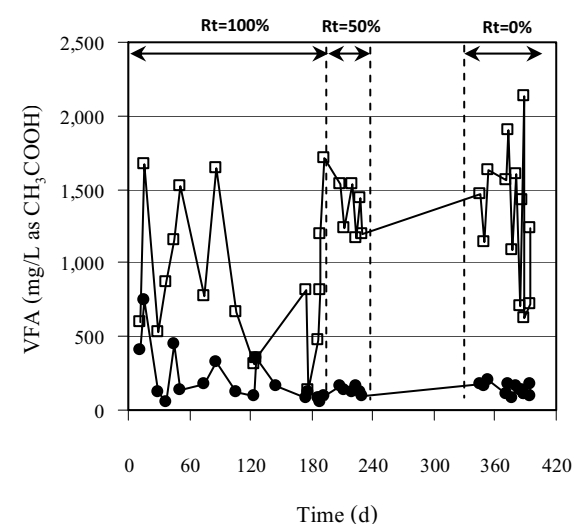
MABR5



MABR5



MABR2.5

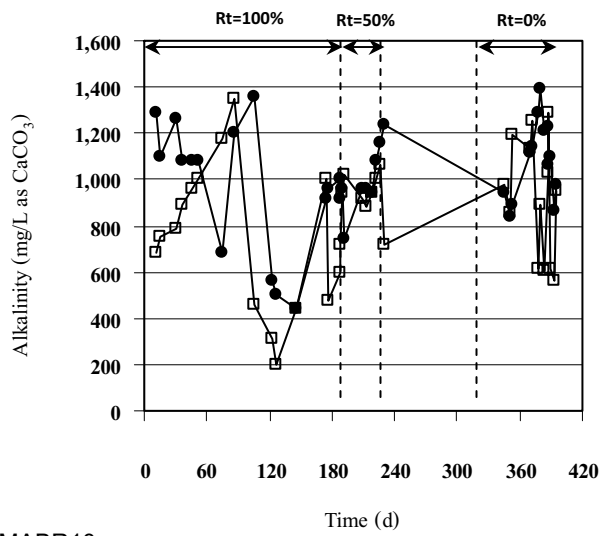


MABR2.5

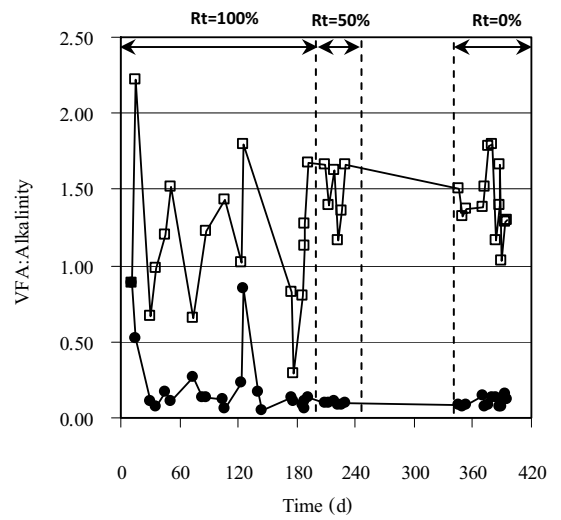
—□— Influent

—●— Effluent

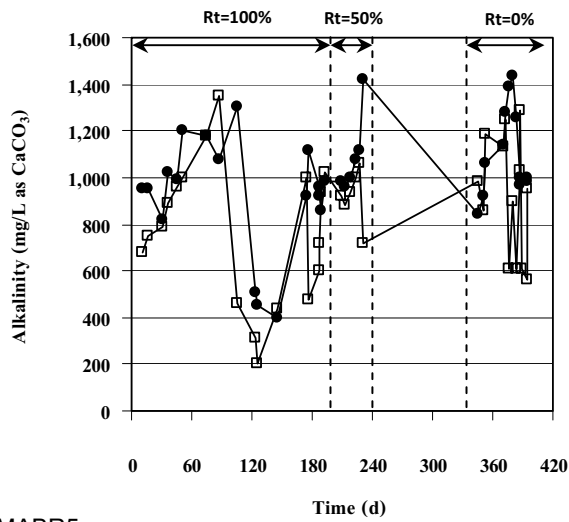
รูปที่ 3-15 pH และ VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ตลอดระยะเวลาการทดลอง



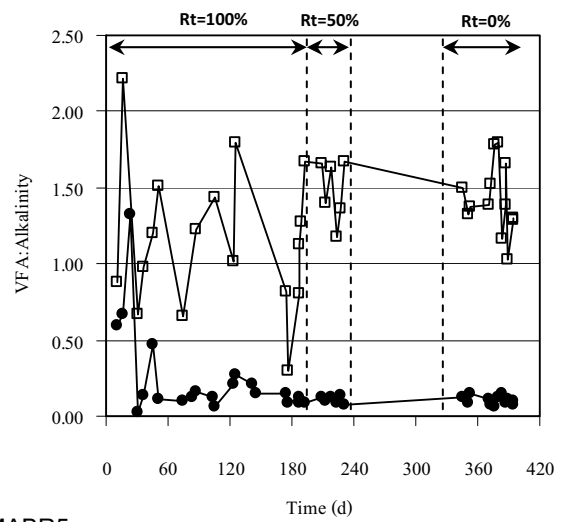
MABR10



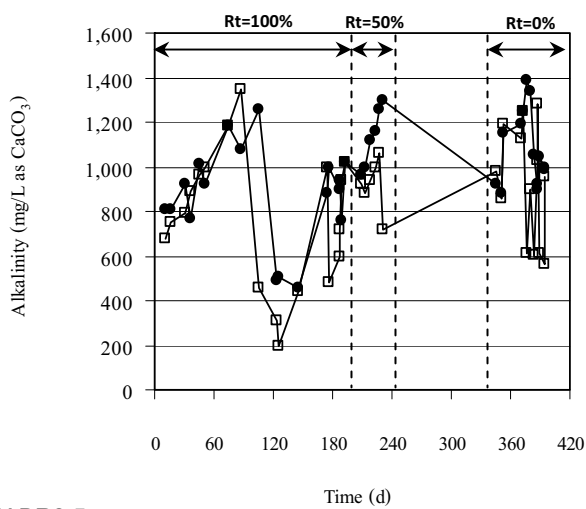
MABR10



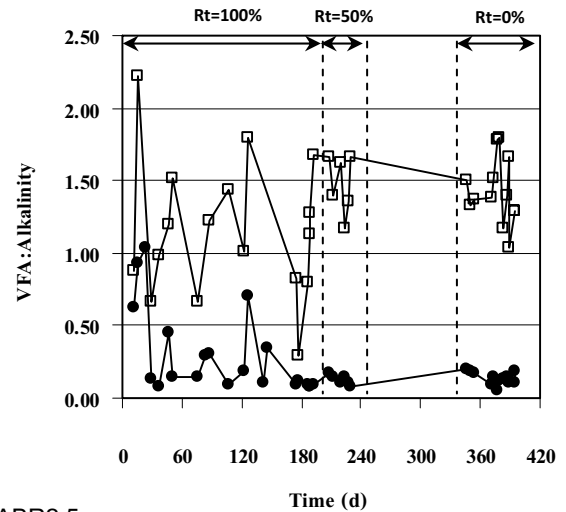
MABR5



MABR5



MABR2.5



MABR2.5

□ Influent

● Effluent

รูปที่ 3-16 Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ตลอด
ระยะเวลาการทดลอง

(2) การกำจัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD₅)

ความเข้มข้นของ BOD₅ และอัตราส่วน BOD₅:TCOD น้ำเสียเข้าระบบ ที่ R_t ระดับต่างๆ (100% 50% และ 0%) แสดงดังตารางที่ 3-12 และเมื่อเดินระบบบำบัดที่ R ต่างๆ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่าน้ำเสียมีสารประกอบอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี ซึ่งสังเกตได้จากอัตราส่วน BOD₅:TCOD ของน้ำทิ้งทั้ง 3 ระบบค่าน้อยกว่าน้ำเสียที่เข้าระบบที่ทุกสภาวะการทดลอง แสดงว่าในน้ำเสียมีสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียสำหรับการเจริญเติบโตส่งผลให้ BOD₅ ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำ และมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเกิดขึ้นสูงกว่าการบำบัดชีโอดีทั้งหมดโดยที่ทุกสภาวะการทำงาน ของระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ สูงกว่า 90% ดังแสดงในตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-12 BOD₅ และ BOD₅:TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ในชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R _t (%)	BOD ₅ :TCOD	BOD ₅ (mg/L)	
				Range	$\bar{X} \pm SD$
MABR10	10	100	0.79	1,362-3,044	2,432±930
		50		2,229-3,157	2,821±515
		0*		1,547-3,554	2,523±852
MABR5	5	100	0.74	1,362-3,044	2,432±930
		50		2,229-3,157	2,821±515
		0*		1,547-3,554	2,523±852
MABR2.5	2.5	100	0.56	1,362-3,044	2,432±930
		50		2,229-3,157	2,821±515
		0*		1,547-3,554	2,523±852

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

* เดินระบบหลังยางผลัดใบ

ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ ลดลงเมื่อ R_t ลดลงโดยที่ระบบ MABR10 ที่ทุก R_t มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด ซึ่งมีค่าสูงกว่า 96% เนื่องจากมี HRT ยาวนาน เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัด BOD₅ พบว่า ที่ทั้ง 3 HRT ระบบ MABR มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงแม้ว่า ที่ HRT ในการบำบัดต่ำถึง 2.5 วัน โดยระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัด BOD₅ มากกว่า 91% อย่างไรก็ตามน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดนี้ยังมีค่าสูงยังไม่ผ่านค่ามาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 (BOD₅ ไม่มากกว่า 20 มก./ล.)

ตารางที่ 3-13 BOD₅, BOD₅:TCOD ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัด BOD₅ ของทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R _t (%)	BOD ₅ :TCOD	BOD ₅ (mg/L)		Removal (%)
				Range	$\bar{X} \pm SD$	
MABR10	10	100	0.71	66-119	85±29	96.24 ^a
		50	0.69	43-149	83±57	97.74 ^a
		0*	0.45	44-60	51±8	97.74 ^a
MABR5	5	100	0.73	45-90	63±24	97.28 ^a
		50	0.67	51-222	123±89	95.67 ^a
		0*	0.55	41-153	91±53	96.74 ^a
MABR2.5	2.5	100	0.64	80-102	95±13	96.23 ^{ab}
		50	0.66	77-160	126±43	95.65 ^b
		0*	0.53	92-210	167±56	91.46 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยเปรียบเทียบกันในแต่ละกลุ่มของ HRT

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

(3) การกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

ความเข้มข้น TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองเท่ากับ 3,710±900 mg/L พบว่าช่วงแรกของการเดินระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องจากระบบอยู่ในช่วงการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้เข้ากับน้ำเสีย และหลังจากวันที่ 145 ของการทดลองที่สภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงกว่า 90% (ตารางที่ 3-14, รูปที่ 3-17) โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) จะเห็นว่าประสิทธิภาพการกำจัด COD ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลง เนื่องจากที่ R_t สูงจะมีอัตราการการกวนผสมที่สูง อาจเป็นการรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์จนทำงานได้ในอัตราที่ต่ำลง และอาจทำให้ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของน้ำในถังแรกลดลง และกระจายเพิ่มความเข้มข้นไปสู่ถังต่อไป ลดการเคลื่อนไหวยของน้ำเสียในระบบในรูปแบบ plug flow ลง นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่ามีตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนจึงหลุดออกมากับน้ำทิ้งสูงกว่าเมื่อ R_t มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งที่แสดงในรูปที่ 3-18 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอัตราส่วนการสูบกลับน้ำทิ้งต่อสมรรถภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor; ABR) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลซึ่งพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนการรีไซเคิลจาก 0 เป็น 0.3 และ 0.5 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จะลดลง (Saritpongteeraka and Chaiprapat, 2008) เมื่อพิจารณาผลของ HRT พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ลดต่ำลง เพราะตะกอนจุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียสั้นลงเมื่อ HRT ต่ำลง ขณะที่ปริมาณสารอินทรีย์ที่

ป้อนเข้าสู่ระบบหรือ OLR เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพลดลง จึงทำให้เหลือ COD ตกค้างในรูปของ VFA สูงขึ้น

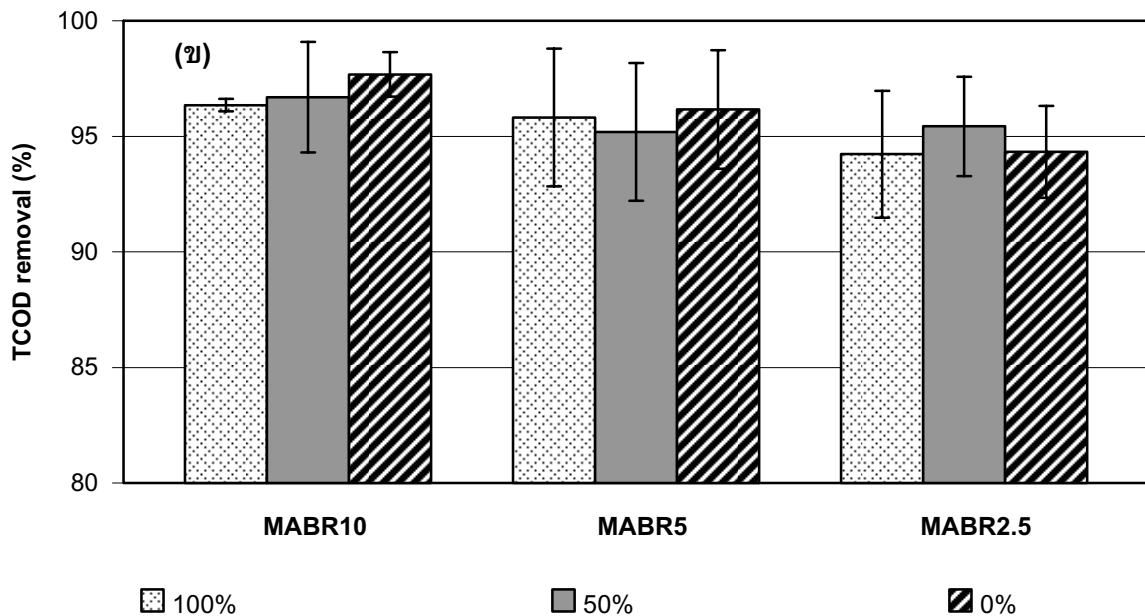
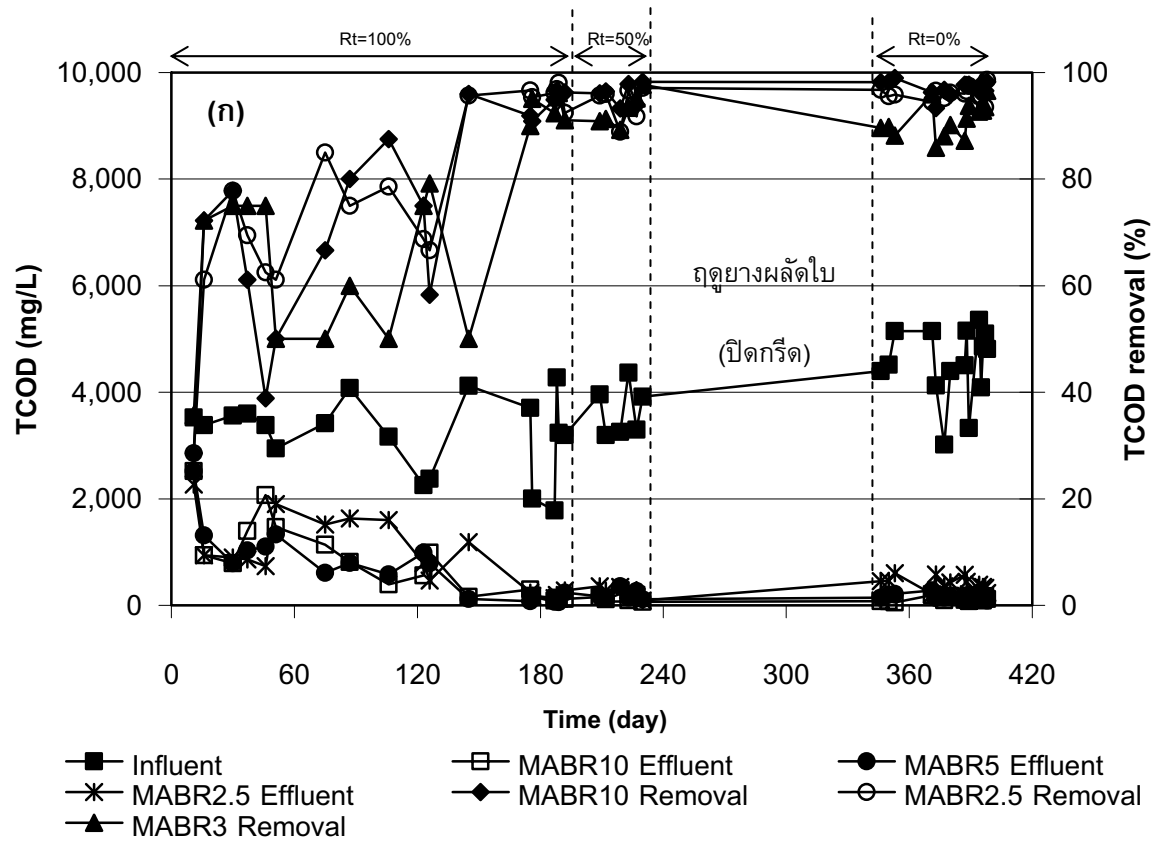
เมื่อพิจารณาการบำบัดแยกในแต่ละถัง Reactor-1 Reactor-2 และ Reactor-3 พบว่า การกำจัด TCOD เกิดขึ้นสูงที่สุดในถังแรก และเมื่อ R_t ลดลง ประสิทธิภาพการบำบัดของถังแรกมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากผลของการเจือจางจากน้ำเสียมีค่าน้อยลงเมื่อ R_t ต่ำลง สำหรับถังที่สองและถังที่สามสามารถกำจัด TCOD รวมกันเพิ่มได้เพียงประมาณ 10% เท่านั้น แต่จะสังเกตได้ว่าที่ HRT=2.5 วัน (MABR2.5) $R_t=0\%$ ถังแรกจะรับภาระบรรทุกสูงมากโดยไม่มีการเจือจางทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงเหลือเพียง 45.9% ซึ่งอาจเกิดการแยกเฟสของการบำบัดโดยในถังใบแรกจะเข้าใกล้สภาวะเป็นถังผลิตกรด (Acidogenic Reactor) มากขึ้น และกรดไขมันระเหยง่ายที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพในถังถัดๆ มา กรณีนี้ถังที่สองและสามจะทำหน้าที่หนักขึ้น โดยทั้งสองถังนี้จะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่อีกครั้งและเกิดการตกตะกอน (ซึ่งเป็นการออกแบบที่สามารถทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD รวมของระบบเพิ่มสูงขึ้น) แต่ยังคงพบว่าระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วันนี้ยังสามารถที่จะบำบัด TCOD ได้เทียบเท่ากับที่ HRT สูงกว่าได้ โดยจะเห็นได้จากประสิทธิภาพรวมจากน้ำทิ้งที่ออกจาก reactor-3 ดังแสดงในตารางที่ 3-14 ดังนั้นสำหรับการนำไปใช้จริงของระบบนี้จึงสามารถเลือก HRT ต่ำซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบกว่า

ตารางที่ 3-14 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกิริยา

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TCOD Removal (%)		
			Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3 (Effluent)
MABR-10	10	100	81.9±19.7	93.2±3.6	95.9±0.9 ^a
		50	85.9±18.3	94.6±3.8	96.7±2.4 ^a
		0*	82.4±14.2	95.9±0.5	97.7±1.0 ^a
MABR-5	5	100	88.7±7.9	93.5±3.5	97.1±1.0 ^a
		50	84.7±20.4	94.1±4.7	95.3±3.1 ^a
		0*	67.8±8.6	94.1±1.5	97.3±1.2 ^a
MABR -2.5	2.5	100	89.8±5.9	93.3±1.6	94.7±2.0 ^a
		50	84.3±10.9	94.6±2.4	95.4±2.2 ^a
		0*	45.9±10.1	79.0±4.4	94.3±2.0 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเปรียบเทียบกันในแต่ละกลุ่มของ HRT

*เดินระบบหลังยางผลัดใบ



รูปที่ 3-17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR (ก) ที่ระยะเวลาการทดลองต่างๆ (ข) ภายใต้สภาวะคงตัวที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ต่างๆ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดตลอดระยะเวลาการทดลองพบว่า ระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันโดยไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่น้ำทิ้งจากระบบทั้ง 3 ยังคงมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน คือ TCOD ไม่ควรเกิน 120 มก./ล. ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 ซึ่งต้องอาศัยการบำบัดต่ออีกเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้ระบบบ่อเดิมที่มีอยู่ของสหกรณ์รองรับได้

(4) การกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS)

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t ต่างๆ มีค่าเฉลี่ยดังแสดงในตาราง 3-15 และจากการเปรียบเทียบการเดินระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองที่สภาวะคงตัวพบว่า ที่ $R_t = 100\%$ มีประสิทธิภาพในการกำจัด SS ต่ำสุดที่ทุก HRT โดยมีความเข้มข้น SS ในน้ำทิ้งเฉลี่ยอยู่ที่ 100 ± 51 , 88 ± 61 , และ 146 ± 60 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS ที่ $54.00 \pm 3.43\%$, $58.53 \pm 15.70\%$ และ $72.85 \pm 11.21\%$ ของระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ตามลำดับ (รูปที่ 3-18 และ 3-19) เนื่องจากที่ R_t สูง มีอัตราการกวนผสมที่สูง อาจทำให้สารแขวนลอยและตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนในระบบต่ำลง ตะกอนบางส่วนจึงหลุดออกมา กับน้ำทิ้งแม้ว่ามี HRT สูงก็ตาม โดยจะเห็นได้ว่าตลอดการทดลองความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากทั้ง 3 ระบบ (รูปที่ 3-18) ยังมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 (SS ไม่มากกว่า 50 mg/L) และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR10 ที่ R_t ระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ระบบ MABR5 และ MABR2.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

(5) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน

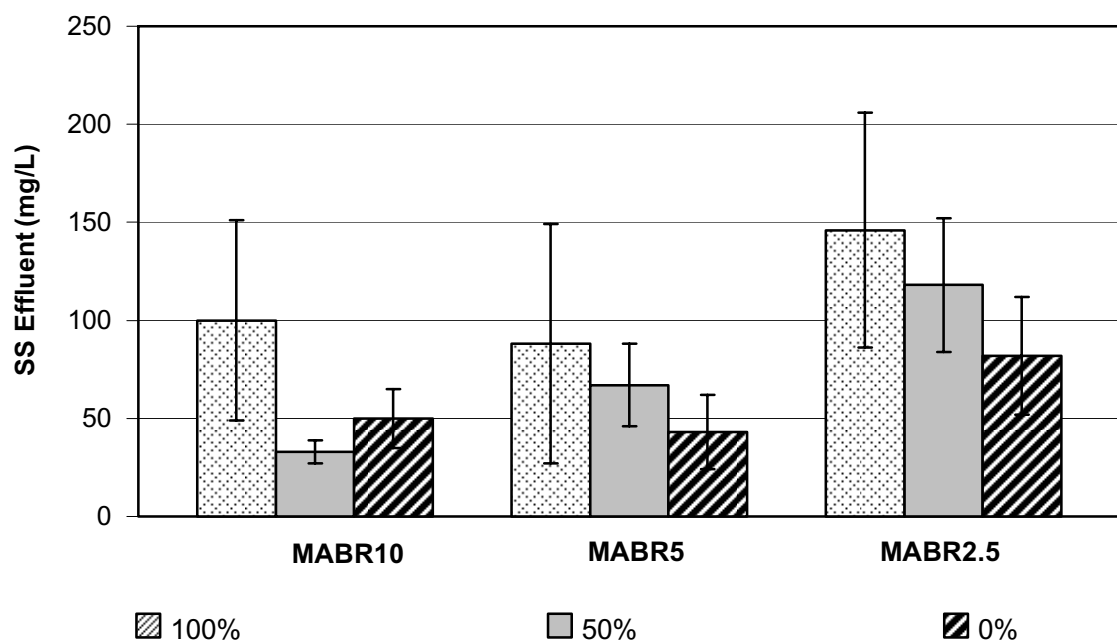
5.1) การกำจัดเจตาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen:TKN)
ไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณไนโตรเจน (TKN) เมื่อเทียบกับ TCOD ในน้ำเสียของระบบแบบไร้อากาศที่จุลินทรีย์ต้องการอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน TCOD:TKN เท่ากับ 100:1.1 (McCarty, 1964) ซึ่งจากผลการทดลองคำนวณอัตราส่วน TCOD:TKN จากน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงกว่า 100:1.1 โดยที่ $R_t = 100\%$, 50% และ 0% มีอัตราส่วน TCOD:TKN เท่ากับ 100:2.50 100:3.28 และ 100:3.01 ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการเติมสารเพิ่มไนโตรเจนให้กับระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ สำหรับความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองที่ R_t เท่ากับ 100%, 50% และ 0% มีค่าเท่ากับ 73 ± 19 , 130 ± 23 และ 157 ± 58 mg/L ตามลำดับ และความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งจากทั้ง 3 ระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-15 SS ของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด SS ของชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

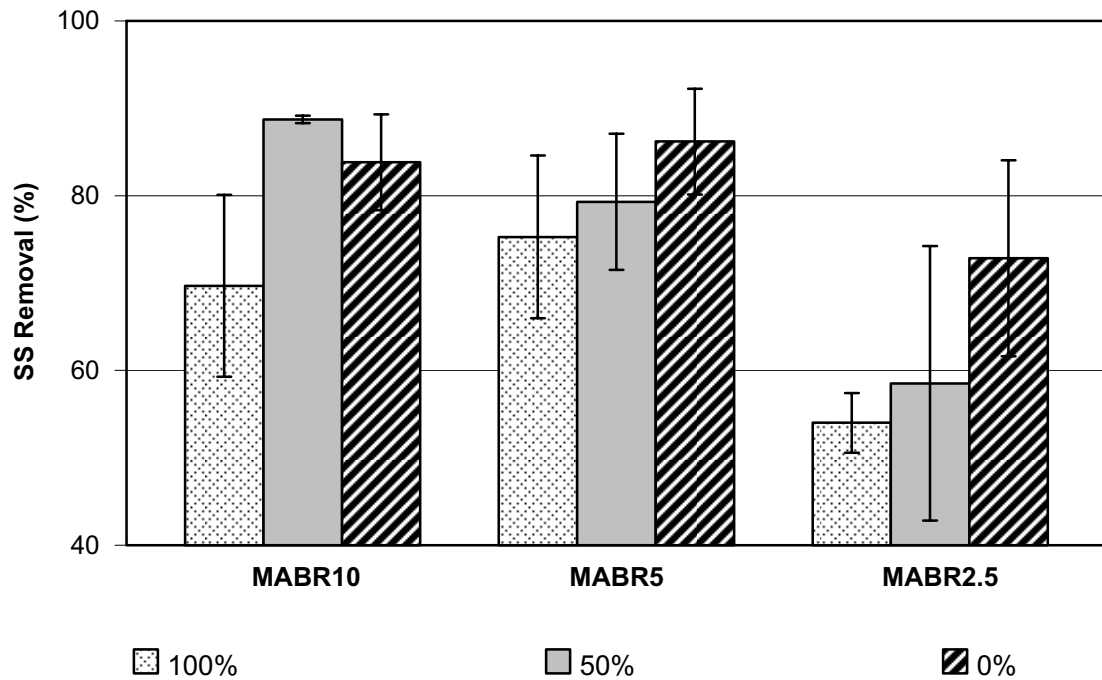
Treatment	HRT (d)	R_t (%)	SS (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal (%)
			Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
MABR10	10	100	180-450	319±129	30-150	100±51	69.68 ^a
		50	270-340	295±39	30-40	33±6	88.74 ^b
		0*	226-420	323±80	38-72	50±15	83.83 ^b
MABR5	5	100	180-450	319±129	30-145	88±61	75.28 ^a
		50	270-340	295±39	50-220	142±86	49.15 ^a
		0*	226-420	323±80	24-60	43±19	86.10 ^a
MABR2.5	2.5	100	180-450	319±129	90-210	146±60	54.00 ^a
		50	270-340	295±39	80-145	118±34	58.53 ^a
		0*	226-420	323±80	46-113	82±30	72.85 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังการบำบัด



รูปที่ 3-18 SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบกลับน้ำทิ้ง (R_t) ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 3-19 ประสิทธิภาพการกำจัด SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบกลับ น้ำทิ้งต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 3-16 TKN และ NH_4^+-N ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพจากระบบ MABR ในชุดการทดลอง ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TKN (mg/L)		$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)***	
			$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)
MABR10	10	100	56±20	41.11 ^a	71±9	21.69
		50	98±18	37.64 ^a	81±38	29.94
		0*	100±14	30.34 ^a	107±7	**
MABR5	5	100	62±34	37.70 ^a	62±15	32.41
		50	118±6	19.88 ^a	111±2	**
		0*	101±3	46.85 ^a	93±16	**
MABR2.5	2.5	100	57±27	23.62 ^a	60±6	31.85
		50	123±15	19.84 ^a	85±52	**
		0*	96±33	38.28 ^a	107±7	**

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

***ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ

** น้ำทิ้งมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ของการทดลองที่ R_t เท่ากับ 100% มีค่าเท่ากับ 56 ± 20 62 ± 34 และ 57 ± 27 mg/L มีค่าต่ำกว่าที่ R_t 50% และ 0% โดย TKN ในน้ำทิ้งลดลงจากน้ำเสียเข้าระบบไม่มากนักเนื่องจาก TKN ไม่ได้ถูกบำบัดออกจากระบบ แต่ถูกใช้โดยจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ใหม่ และ TKN ส่วนที่เป็น organic-N ถูกเปลี่ยนไปเป็น $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ โดยกระบวนการ Ammonification ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ในน้ำทิ้งที่สูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ (ตารางที่ 3-16) โดยในทางทฤษฎีแล้วการบำบัดไนโตรเจนไม่สามารถกระทำได้โดยอาศัยกระบวนการชีววิทยาแบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ควบคู่กับกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศร่วมด้วย

5.2) การกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen: $\text{NH}_4^+ - \text{N}$)

$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 3 ระบบที่ R_t เท่ากับ 100% 50% และ 0% มีค่าเท่ากับ 93 ± 26 112 ± 13 และ 88 ± 50 mg/L ตามลำดับ และความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ในน้ำทิ้งจากทั้ง 3 ระบบแสดงดังตารางที่ 3-15 จากการเดินระบบการทดลองระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 จนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่า ความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ในน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบเนื่องจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนได้เป็นแอมโมเนียไนโตรเจนออกมา กับน้ำทิ้ง ซึ่งยังส่งผลให้ค่าสภาพต่างสูงขึ้นตามไปด้วย (รูปที่ 3-17) อย่างไรก็ตามความเข้มข้น $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ในน้ำทิ้งของทั้ง 3 ระบบ (HRT) ที่ทุก R_t มีค่าต่ำกว่า 150 mg/L ซึ่งไม่มีผลกระทบ (toxicity) ต่อระบบบำบัดนี้เนื่องจากความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ จะเริ่มเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่ความเข้มข้น 700 mg/L (Koster and Lettinga, 1988) และมีความเป็นพิษกับระบบไร้อากาศต้องเกินกว่า 1,500 mg/L (Metcalf and Eddy, 2004)

(6) การกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) เมื่อเทียบกับ TCOD ในน้ำเสียของระบบแบบไร้อากาศที่จุลินทรีย์ต้องการอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน TCOD:TP เท่ากับ 100:0.2 (Sanders and Bioodgood, 1965) และจากผลการทดลองตลอดการทดลองนี้ปริมาณ TP ในน้ำเสียเข้าระบบที่ $R_t=100\%$ 50% และ 0% มีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าว TCOD:TP ของน้ำเสียที่สภาวะการทดลอง $R_t=100\%$ 50% และ 0% มีค่าเท่ากับ 100:1.44, 100:1.97 และ 100:1.90 ตามลำดับ จึงไม่จำเป็นต้องเติมฟอสฟอรัสให้กับระบบ สำหรับความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียและน้ำทิ้งในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3-17 ซึ่งจะเห็นว่า สภาวะที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_t=0\%$) ของทุกระบบการทดลอง (MABR10 MABR5 และ MABR2.5) มีประสิทธิภาพการบำบัด TP สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.33% 44.44% และ 46.44% อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการบำบัด TP ของ

ทุกระบบและทุกสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับยังคงมีค่าไม่สูงเนื่องจากความต้องการฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์เป็นเพียงเล็กน้อยจากระบบไร้อากาศ อีกทั้ง TP ไม่สามารถถูกบำบัดด้วยวิธีการกำจัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศได้เพียงอย่างเดียว แต่ต้องอาศัยวิธีการบำบัดทางชีวภาพแบบเติมอากาศร่วมด้วย ทั้งนี้ TP บางส่วนที่หายไปจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นสารอาหารเพื่อการสร้างเซลล์ใหม่ หรืออาจเกิดการทำปฏิกิริยาเคมีกับไนโตรเจนและแมกนีเซียมเป็นผลึกเคมีก็ได้ ซึ่งทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่ในเซลล์จุลินทรีย์และในผลึกเคมีนี้จะอยู่ในรูปตะกอนในระบบ ดังนั้นหากระบบมีการตกตะกอนได้ดีซึ่งเกิดขึ้นที่ R_t ต่ำ ก็จะทำให้มีการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีด้วย

ตารางที่ 3-17 TP น้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TP (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal (%)
			Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
MABR10	10	100	32-59	46±13	22-45	30±13	34.78
		50	54-101	78±24	62-72	66±5	15.38
		0*	79-115	99±18	62-70	66±4	33.33
MABR5	5	100	32-59	46±13	72-92	79±11	**
		50	54-101	78±24	67-71	69±2	11.53
		0*	79-115	99±18	52-58	55±3	44.44
MABR2.5	2.5	100	32-59	46±13	69-98	80±16	**
		50	54-101	78±24	69-77	73±4	6.41
		0*	79-115	99±18	45-58	53±7	46.46

หมายเหตุ: ** น้ำทิ้งมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

(7) การกำจัดซัลเฟต (Sulfate)

ผลการกำจัดซัลเฟตของระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่ $R_t=100\%$ 50% และ 0% พบว่าความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ในน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 3 มีค่าเฉลี่ย 112 ± 40 43 ± 5 และ 123 ± 47 mg/L ตามลำดับ และที่สภาวะคงตัว (Stable Condition) พบว่า น้ำทิ้งจากระบบทั้ง 3 มีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 3-18) เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} ต่ำเพราะกระบวนการผลิตยางอบ/รมยาง ของ สกย. ใช้กรดฟอมิก (CH_3COOH) จับตัวเนื้อยาง ต่างจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ใช้กรดซัลฟูริกในการผลิตยางสกิมซึ่งน้ำเสียจะมีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} เฉลี่ยสูงถึง $5,537 \pm 1,005$ mg/L (Saritpongteeraka and Chaiprapat, 2008)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด SO_4^{2-} พบว่า น้ำทิ้งจากระบบ MABR10 MABR5 และ MABR2.5 ในทุก R_i มีประสิทธิภาพการบำบัด SO_4^{2-} ไม่สูงนัก เนื่องจากน้ำเสียมีความเข้มข้นของ SO_4^{2-} เริ่มต้นอยู่ในช่วงต่ำอยู่แล้วตามหลัก kinetics จึงทำให้การบำบัดเป็นไปได้ยาก โดยหากระบบมีความเข้มข้นซัลไฟด์ (H_2S ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปของ SO_4^{2-} ในขั้นตอนการบำบัดแบบไร้อากาศ) มากกว่า 200 mg/L จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงจนถึงล้มเหลวได้ แต่จากผลการทดลองชี้ว่า SO_4^{2-} มิใช่ปัญหาของการบำบัดน้ำเสียจากสหรณผลิตยางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 3-18 SO_4^{2-} น้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_i (%)	SO_4^{2-} (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal (%)
			Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	
MABR10	10	100	72-152	112±40	29-47	37±9	61.70 ^b
		50	38-47	43±5	26-36	31±5	28.38 ^a
		0*	98-179	152±47	18-44	31±13	79.70 ^b
MABR5	5	100	72-152	112±40	35-67	48±17	48.8a ^b
		50	38-47	43±5	25-36	32±6	27.68 ^a
		0*	98-179	152±47	20-51	40±18	74.30 ^b
MABR2.5	2.5	100	72-152	112±40	35-56	49±11	52.00 ^a
		50	38-47	43±5	34-64	46±16	21.20 ^a
		0*	98-179	152±47	42-102	74±31	49.80 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

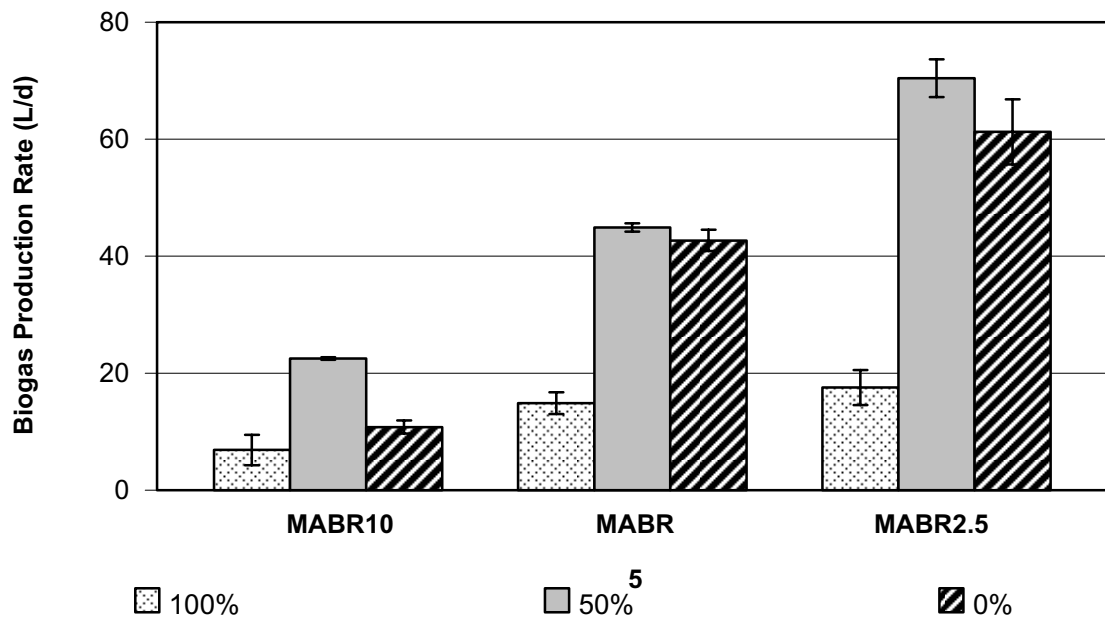
* เติมน้ำในระบบหลังยางผลัดใบ

(8) อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย MABR จากการทดลองทั้ง 3 HRT แสดงในรูปที่ 3-20 ซึ่งพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่สภาวะคงตัวของ MABR ทุกระบบ (MABR10, MABR5 และ MABR2.5) ที่ $R_i=50\%$ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 10.54 ± 0.54 22.52 ± 0.20 และ 10.79 ± 1.14 L/d ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ MABR5 และ MABR2.5 (HRT ลดลง และ OLR สูงขึ้น) จะเห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA และการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นด้วย และที่ $R_i=100\%$ ของทุก HRT ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำสุด เนื่องจากมีการกำจัด COD ต่ำกว่าที่ $R_i=50\%$ และ 0% โดยที่ $R_i=100\%$ มีการกำจัด COD

เฉลี่ยเท่ากับ 2.6 g/L ขณะที่ $R_f=50\%$ และ 0% มีการกำจัด COD เฉลี่ยเท่ากับ 3.4 g/L และ 4.0 g/L ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากทั้ง 3 ระบบ พบว่า ส่วนใหญ่ที่ $R_f=100\%$ และ 0% ของระบบ MABR10 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าที่ $R_f=50\%$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3-19

นอกจากนี้จากการศึกษาองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพจากระบบ MABR พบว่าที่ HRT 5 วัน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งมีองค์ประกอบของมีเทนสูงกว่าที่ HRT 10 และ 2.5 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 68.9%, 69.3% และ 72.8% ที่ $R=100\%$ 50% และ 0% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ R ต่างๆ พบว่า องค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ $R=0\%$ มีค่าสูงสุดในทุก HRT (10 5 และ 2.5 วัน) โดยมีค่าเท่ากับ 63.7%, 72.8% และ 71.1% ที่ HRT 10 5 และ 2.5 วัน ตามลำดับ คิดเป็นอัตราผลิตมีเทนต่อการกำจัด COD เฉลี่ย 0.12 0.24 และ 0.15 $L_{\text{methane}}/\text{gTCOD}_{\text{removed}}$ (รูปที่ 3-21) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ระบบที่ $R=100\%$ ของทุกชุดการทดลองมีการกำจัด COD ต่ำที่สุด ส่งผลให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและมีเทนต่อการกำจัด COD (Observed Methane Yield) น้อยที่สุดเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ และยังพบว่า อัตราการเกิดมีเทนต่อ COD ที่ถูกกำจัดต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีในทุกชุดการทดลอง ($0.35 L_{\text{methane}}/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ ที่สภาวะมาตรฐาน 0°C ความดัน 1 atm) (Tchobanoglous and Burton, 1991) อาจเป็นเพราะสารอินทรีย์ในระบบไม่ได้ถูกย่อยและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด มีบางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ และอยู่ในรูปของ SS ที่ตกตะกอนอยู่ในถังปฏิกริยา ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูง เป็นสาเหตุให้อัตราการผลิตมีเทนมีค่าน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี



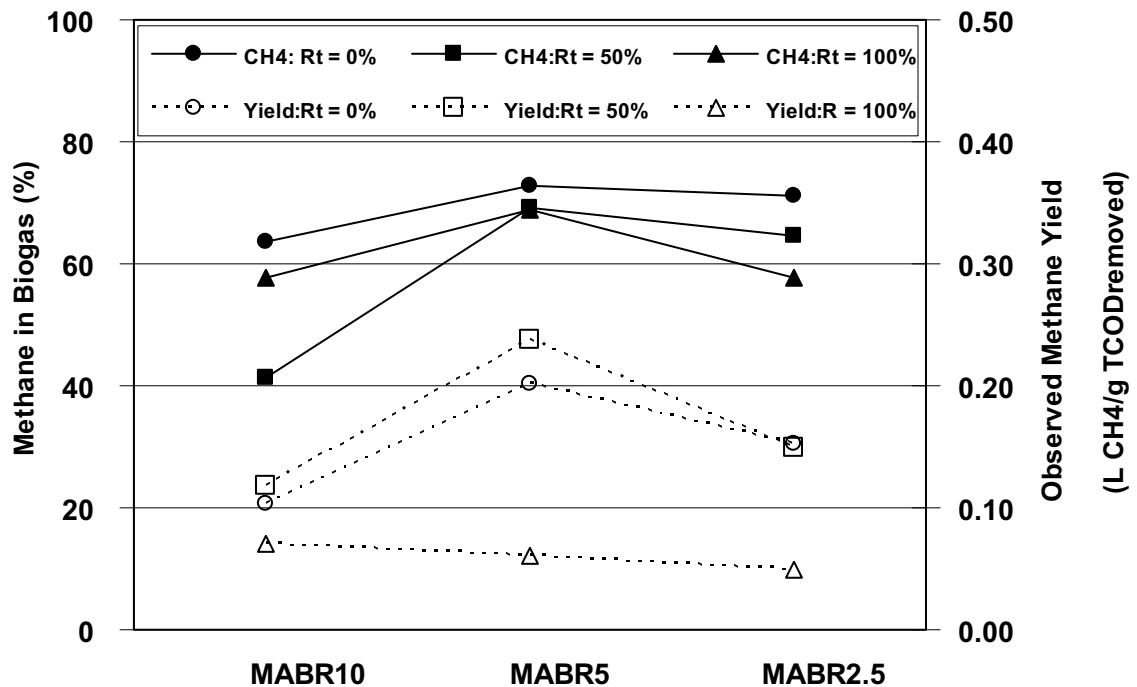
รูปที่ 3-20 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของระบบ MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 3-19 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย MABR ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	Q (L/d)	TCOD น้ำเสียเฉลี่ย (mg/L)	TCOD Removal (%)	Biogas Production Average (L/d)	CH ₄ (%)	Observed Methane Yield (L-CH ₄ /gTCOD _{removed})
MABR-10	10	100	20.4	3,100	95.9±0.9 ^a	6.9±3.09 ^a	57.7	0.07±0.05
		50		3,863	96.7±2.4 ^a	22.5±0.21 ^b	41.3	0.12±0.001
		0*		5,590	97.7±1.0 ^a	70.8±1.37 ^c	63.8	0.10±0.04
MABR-5	5	100	40.8	3,100	97.1±1.0 ^a	14.9±1.86 ^a	68.9	0.08±0.02 ^a
		50		3,863	95.3±3.1 ^a	44.9±0.69 ^b	69.3	0.24±0.03 ^b
		0*		5,590	97.3±1.2 ^a	42.7±0.93 ^b	72.8	0.20±0.05 ^c
MABR-2.5	2.5	100	81.6	3,100	94.7±2.0 ^a	17.5±3.24 ^a	57.8	0.05±0.02 ^a
		50		3,863	95.4±2.2 ^a	70.5±3.23 ^c	64.5	0.15±0.01 ^{ab}
		0*		5,590	94.3±2.0 ^a	61.3±5.10 ^b	71.1	0.15±0.04 ^b

หมายเหตุ: อักษรที่ยกกำลังหลังค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น a แตกต่างจาก b และ ab ไม่แตกต่างกับ a และ b ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

* เติมน้ำในระบบหลังขังน้ำเสีย



รูปที่ 3-21 องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อ $\text{TCOD}_{\text{removed}}$ ของระบบ MABR ที่สภาวะคงตัว

3.4 ผลการติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบ MCL และ MABR

การติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบหลังจากหยุดเดินระบบประมาณ 3 เดือน เพื่อให้สอดคล้องกับการหยุดการดำเนินงานของสหกรณ์ในช่วงที่ไม่มีการกรีดยางซึ่งไม่มีวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต และไม่มีน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง โดยได้เดินระบบทั้งสอง (MABR และ MCL) ทุก R_t แล้วยกเว้น $R_t=0\%$ ก่อนที่จะถึงช่วงฤดูกาลปิดกรีดยางพอดี และหลังจากที่สหกรณ์เริ่มกลับมาทำการผลิตใหม่ผู้วิจัยจึงเริ่มเดินระบบที่ $R_t=0\%$ โดยสมมติฐานที่ว่า หากผลการเดินระบบที่ $R_t=0\%$ มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ R_t อื่น ก็เชื่อว่าการเดินระบบที่ $R_t=0\%$ นี้ก็จะสอดคล้องกับแผนการวิจัยที่จะเลือก R_t ที่ดีที่สุดมาเดินระบบหลังจากหยุดเดินระบบ และผลการทดลองในเชิงประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ (performance) ของระบบที่สภาวะ $R_t=0\%$ ก็จะได้จากการเดินระบบหลังจากหยุดกรีดยางได้ในคราวเดียวกันนี้ ซึ่งผลการเดินระบบพบว่า เป็นไปตามที่คาดคือที่สภาวะ $R_t=0\%$ ระบบสามารถทำงานได้ดีกว่าหรือเทียบเท่ากับที่ R_t อื่นๆ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองระยะหลังหยุดระบบจึงเป็นข้อมูลชุดเดียวกันกับ $R_t=0\%$ ของการทดลองระยะแรก

เมื่อเปรียบเทียบดูผลการฟื้นตัวของทั้ง 2 ระบบ พบว่า ระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลอง คือ MABR10, MABR5 และ MABR2.5 ใช้ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเป็นเวลา 68

วัน โดยจุลินทรีย์ในระบบสามารถตอบสนองต่อน้ำเสียได้ดีโดยที่สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ยสูงถึง 97.7%, 96.2% และ 94.3% ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 10.8, 42.7 และ 61.3 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.15 $L_{CH_4}/gTCOD_{removed}$ โดยมีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 63.8%, 72.8% และ 71.1% ตามลำดับ ส่วนการฟื้นตัวของระบบ MCL จุลินทรีย์สามารถตอบสนองการทำงานได้ดี สังเกตได้จากระบบเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 3.9 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 $L_{CH_4}/gTCOD_{removed}$ โดยมีองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 70.6% สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ พบว่า ระบบ MCL มีการฟื้นตัวช้ากว่าระบบ MABR เนื่องจากมี HRT ของระบบนานกว่าจึงอาจต้องใช้เวลาเพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบได้ปรับตัวทำงานในน้ำเสียในสภาวะปกติ โดยที่สภาวะคงตัวระบบ MCL มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 97.1%

ดังนั้นจะเห็นว่า แม้ระบบหยุดการทำงานแล้วกลับมาเดินระบบใหม่อีกครั้งหลังฤดูเปิดกรีดยาง จุลินทรีย์ในระบบสามารถตอบสนองการทำงานได้ดี ซึ่งพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% และได้ก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่สูง

3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่น สกย. ยุงทอง กับระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และ MCL

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่น สกย. ยุงทอง คือระบบบ่อในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 ประกอบด้วยบ่อบำบัดขั้นต้น บ่อหมักไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ และบ่อฝุ้ง กับระบบไร้อากาศแบบแผ่นคลุม (Anaerobic Covered Lagoon; AnCL) ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบัน และระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และ MCL ที่ $R_t=0\%$ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ TCOD ของระบบ MCL มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบ่อในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 ระบบ AnCL ของ สกย.ยุงทอง และระบบ MABR (ตารางที่ 3-20) ซึ่งแสดงว่าระบบบำบัดไร้อากาศที่ใช้การทดลองสามารถบำบัดน้ำเสียจากการผลิตยางอบ/รมยางแผ่นได้ดี มีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD สูง

ตารางที่ 3-20 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นร่อน
ออกแบบปี พ.ศ. 2538 กับระบบบำบัดน้ำเสีย MABR และระบบ MCL

พารามิเตอร์	ประสิทธิภาพของระบบบำบัด (%)			
	ระบบบ่อในรุ่น ออกแบบปี พ.ศ. 2538*	ระบบ AnCL ของ สกย. ยุงทอง ปัจจุบัน (HRT 26 วัน)	ระบบ MCL (HRT 30 วัน)	ระบบ MABR (HRT 2.5 วัน)
TCOD	76.61	91.35	97.15	94.30
SCOD	-	91.06	95.90	92.81
BOD	57.51	91.68	96.21	91.46
SS	**	66.92	89.47	72.85
CH _{4(g)}	-	-	70.56	71.10

หมายเหตุ * คือ ประสิทธิภาพการกำจัด COD สกย. ยุงทอง ก่อนปรับปรุง (สายัณห์ สดุดี และคณะ, 2548)

- คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

** คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจาก SS น้ำทิ้งมีค่ามากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

3.6 การประเมินความคุ้มค่าในรูปของค่าใช้จ่ายของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน

3.6.1 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศกับระบบเติมอากาศ

การประเมินค่าใช้จ่ายจากการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้อากาศจากระบบบำบัด
น้ำเสียไร้อากาศที่ได้จากการศึกษา คือ ระบบ MCL และ MABR ซึ่งนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน
ก๊าซหุงต้ม (ในกรณีซื้อก๊าซหุงต้มมาใช้ในการรมควันยางแผ่น) โดยคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของ
ก๊าซมีเทนที่ได้จากตัวแทนการศึกษาของระบบไร้อากาศ MABR ที่ HRT 2.5 วัน ที่สัดส่วน
ระยะเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ $R_t=0\%$ แสดงวิธีการคำนวณได้ดังนี้

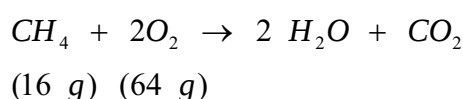
ก๊าซชีวภาพถูกกักไว้ใน Dome หรือถูกเก็บก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิที่ 30°C ดังนั้น

$$v = \frac{nRT}{p}$$

$$= \frac{(1 \text{ mole})(0.082057 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mole} \cdot \text{k})(273.15 + 30 \text{ k})}{1 \text{ atm}}$$

$$= 24.87 \text{ L} / \text{mole}$$

COD ของ CH₄ = 64 g/mole;



$$\begin{aligned}\therefore \frac{24.87 \text{ L / mole}}{64 \text{ g / mole}} &= 0.389 \frac{L_{CH_4}}{gCOD_{removed}} \\ &= 0.389 \frac{m^3}{kg \text{ COD}}\end{aligned}$$

และจากผลการศึกษาจากระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน พบว่า

- 1) ไม่มีความจำเป็นต้องเติมด่าง (Alkali) ให้กับระบบ
- 2) ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD เฉลี่ย 94.3%
- 3) ได้ก๊าซชีวภาพที่มีเทนเป็นองค์ประกอบ 71%
- 4) ไม่ต้องมีการใช้พลังงานในการปรับปรุงอุณหภูมิ ใช้อุณหภูมิบรรยากาศ

- หาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน โดยใช้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพตามทฤษฎี ที่ความเข้มข้นน้ำเสียมี TCOD = 3,710 mg/L โดยเฉลี่ย (จากการเก็บข้อมูล)

$$\text{ที่อุณหภูมิ } 30^{\circ}\text{C} \text{ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนตามทฤษฎี} = 0.389 \frac{m^3}{kg \text{ COD}}$$

$$\begin{aligned}CH_4 \text{ Production} &= \left(0.389 \frac{m^3}{kgCOD}\right) \left(3,710 \frac{g}{m^3}\right) \left(10 \frac{m^3}{d}\right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}}\right) \times 0.92 \\ &= 13.28 \frac{m^3}{d}\end{aligned}$$

ในสภาพจริงสมมติให้เกิดขึ้น = 90% ของที่ได้ทางทฤษฎี

$$\therefore \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น} = 13.28 \times 0.9 = 11.52 \frac{m^3}{d}$$

เมื่อคำนวณปริมาณมีเทน ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่า

$$\text{จำนวนโมลของมีเทน} = \frac{11.52 \frac{m^3}{d}}{24.87 \frac{L}{mole} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}} \right|} = 463 \frac{mole}{d}$$

$$\therefore \text{มวลของมีเทน} = 463 \frac{mole}{d} \times 16 \frac{gCH_4}{mole} = 7,408 \frac{gCH_4}{d}$$

$$\text{จากข้อมูลค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน} = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

ดังนั้น พลังงานที่ได้จากมีเทน

$$\begin{aligned} &= 7,408 \frac{\text{g}}{\text{d}} \times 50 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \\ &= 370,400 \frac{\text{kJ}}{\text{d}} \end{aligned}$$

- หาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน โดยใช้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลอง ที่ความเข้มข้นน้ำเสียมี TCOD = 3,710 mg/L โดยเฉลี่ย (จากการเก็บข้อมูล)

$$\text{ที่อุณหภูมิ } 30^{\circ}\text{C} \text{ อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจากการทดลอง} = 0.15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg COD}}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ Production} &= \left(0.15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg COD}} \right) \left(3,710 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \left(10 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \left| \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right| \times 0.92 \\ &= 5.12 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \end{aligned}$$

$$\text{จากข้อมูลก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ} = 71\%$$

$$\therefore \text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ MABR} = 5.12 \times 0.71 = 3.584 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

เมื่อคำนวณปริมาณมีเทน ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่า

$$\text{จำนวนโมลของมีเทน} = \frac{3.584 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24.87 \frac{\text{L}}{\text{mole}} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}} \right|} = 144.11 \frac{\text{mole}}{\text{d}}$$

$$\therefore \text{มวลของมีเทน} = 144.11 \frac{\text{mole}}{\text{d}} \times 16 \frac{\text{gCH}_4}{\text{mole}} = 2,306 \frac{\text{gCH}_4}{\text{d}}$$

$$\text{จากข้อมูลค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน} = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

ดังนั้น พลังงานที่ได้จากมีเทน

$$= 2,306 \frac{\text{g}}{\text{d}} \times 50 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

$$= 115,300 \frac{kJ}{d}$$

ผลจากการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 3.58-11.52 m³/d มีพลังงานที่ได้จากมีเทนเท่ากับ 115,300-372,800 kJ/d ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพวัดได้ที่ได้จะมีค่าแปรผันตามกับความเข้มข้นของ TCOD ของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัด ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการทดลองในการศึกษาครั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากอุปกรณ์สำหรับกักเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบที่ศึกษาเกิดการรั่วซึมเป็นระยะซึ่งผู้วิจัยได้ทำการซ่อมแซมอยู่ค่อนข้างบ่อย

เมื่อคิดเปรียบเทียบกับก๊าซหุงต้ม

ก๊าซหุงต้มประกอบด้วยก๊าซโพรเพน 70% และ บิวเทน 30%

โดยโพรเพน (C₃H₈) มีค่าพลังงานความร้อน = $46.35 \frac{kJ}{g}$

และบิวเทน (C₄H₁₀) มีค่าพลังงานความร้อน = $45.75 \frac{kJ}{g}$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ก๊าซหุงต้มมีพลังงาน} &= (46.35 \times 0.7) + (45.75 \times 0.3) \\ &= 32.445 + 13.725 \\ &= 46.17 \frac{kJ}{g} \end{aligned}$$

จากการสำรวจในเดือน พฤศจิกายน 2551 จากร้านขายก๊าซหุงต้มในเขต อ.หาดใหญ่ มีราคาประมาณ 20 บาท/กก.เทียบเท่ากับ

$$\frac{46.17 \frac{kJ}{g} \left| \frac{10^3 g}{1 kg} \right|}{20 \frac{bath}{kg}} = 2,308.5 \frac{kJ}{bath}$$

ดังนั้น มูลค่าของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสีย สกย. แบบไร้อากาศ มีมูลค่าเท่ากับ

$$\frac{370,400 \frac{kJ}{d}}{2,308.5 \frac{kJ}{bath}} = 160.45 \frac{bath}{d}$$

หาก 1 ปี ผลิตเฉลี่ย 200 วัน ในลักษณะเดียวกับสภาวะที่ใช้ในการคำนวณก๊าซชีวภาพ จะมีมูลค่าเท่ากับ 32,090 บาทต่อปี ส่วนปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นถือว่าน้อยมากและสามารถถ่ายออกจากระบบได้ นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของสหกรณ์กองทุนสวนยางชุมทอง ในเรื่องการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับอบรบ/ยางแผ่นของสหกรณ์ทราบว่า ก๊าซชีวภาพจากระบบที่ทางสหกรณ์ได้จัดสร้างแล้วนั้นสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียงพอสำหรับการรมควันยางในห้องรมประมาณ 1-1.5 ห้อง โดยสหกรณ์จะใช้ไม้พืชมยางแผ่นในวันแรกเพราะต้องการความร้อนสูงเพื่อไล่ไอน้ำในช่วงแรก และจากนั้นในสองวันถัดมาจึงใช้ก๊าซชีวภาพรมโดยเสริมด้วยฟืนเพียง 1 ท่อน (เพื่อให้มีควัน) ซึ่งการใช้ก๊าซชีวภาพนี้จะใช้ได้นานประมาณ 3 วัน ก๊าซจึงหมดและต้องรออีกประมาณ 1 วัน (ในภาวะการผลิตยางสม่ำเสมอทุกวัน) ก๊าซจึงเต็มบอลลูนเก็บก๊าซและเริ่มใช้ใหม่ได้ จากการประเมินจะสามารถประหยัดไม้ฟืนได้ประมาณ 700 กิโลกรัมต่อรอบต่อห้อง ดังนั้นจะประหยัดไม้ฟืนได้ 700-1,000 กก. ต่อรอบ หากไม้ฟืนราคา 70 สตางค์/กก. จะคิดเป็นเงินได้ประมาณ 490-700 บาทต่อรอบ และหากใน 1 เดือนรมได้ 10 รอบ จะทำให้ประหยัดได้ 4,900-7,000 บาทต่อเดือน ใน 1 ปีทำการผลิตยางประมาณ 9 เดือน จะทำให้สามารถประหยัดค่าไม้ฟืนได้ประมาณ 44,100-63,000 บาทต่อปี

อย่างไรก็ตามการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศก๊าซชีวภาพยังช่วยลดค่าใช้จ่ายแล้วยังเป็นการลดการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ที่ก่อผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า โดยการเผาไหม้เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งการเปลี่ยนก๊าซมีเทนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้สามารถช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อนด้วยอีกวิธีหนึ่ง และยังสามารถตัดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวนต่อบริเวณชุมชนโดยรอบได้อีกด้วย ซึ่งประโยชน์ในส่วนนี้เป็นมูลค่าทางอ้อมของเทคโนโลยีนี้ นอกเหนือจากตัวเงินที่ประเมินได้เปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ดังแสดง

ระบบเติมอากาศ

ประสิทธิภาพในการบำบัด คิดที่อัตราเดียวกับระบบก๊าซชีวภาพ = 94.3%

- $g \text{ O}_2 / g \text{ COD}_{\text{removed}} = 1.2$
- ประสิทธิภาพการเติมอากาศ = $1.0 \text{ kg O}_2 / \text{kWh}$
- ค่าไฟฟ้า = 3 bath/kWh
- ตะกอนที่เกิดขึ้น = $0.3 \text{ gTSS/gCOD}_{\text{removed}}$

a) อัตราความต้องการอากาศ $\text{O}_2 \text{ requirement}$

$$= \left(3,810 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \left(10 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) (0.943) \left(1.2 \frac{\text{g O}_2}{\text{g COD}} \right) \left| \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right|$$

$$= 43.11 \frac{kg \ O_2}{d}$$

b) ค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ

$$= \frac{43.11 \frac{kg \ O_2}{d}}{1.0 \frac{kg \ O_2}{kWh}} \times 3 \frac{bath}{kWh} = 129.34 \frac{bath}{d}$$

เพื่อรักษาจุลินทรีย์ในระบบต้องเติมอากาศทุกวัน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ (ค่าไฟฟ้า)

$$= 129.34 \times 200 \text{ วัน}$$

$$= 25,868 \text{ บาท/ปี}$$

c) ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น

$$= \left(3,810 \frac{g}{m^3} \right) \left(10 \frac{m^3}{d} \right) \left| \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} \right| \left(0.3 \frac{g \text{ TSS}}{g \text{ COD}} \right)$$

$$= 11.43 \frac{kg \text{ TSS}}{d}$$

$$\text{ใน 1 ปี จะเกิดตะกอน} = 11.43 \times 200$$

$$= 2,286 \frac{kg \text{ TSS}}{\text{Year}}$$

ดังนั้น จะเห็นว่าการเติมอากาศต้องมีค่าใช้จ่ายเป็นค่าไฟฟ้าถึง 25,868 บาท/ปี และตะกอนที่เกิดขึ้นในบ่อจะทับถมกันประมาณ 2.3 ตันใน 1 ปี ซึ่งทำให้บ่อตื้นเขินและต้องมีค่าใช้จ่ายในการขุดลอกบ่อเป็นครั้งคราว เช่น 2 ปี/ครั้ง ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายอีกเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีค่าบำรุงรักษาเครื่องเติมอากาศ เช่น 1 ปี/ครั้ง หรือเมื่อชำรุด (จากการสำรวจและสอบถามพบว่าเครื่องตีอากาศชำรุดบ่อยครั้ง) หากเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้คำนวณเป็นเงินได้จากระบบบำบัดแบบก๊าซชีวภาพกับระบบเติมอากาศแล้ว จะเห็นว่าระบบก๊าซชีวภาพสามารถประหยัดให้แก่สหกรณ์ สกย. ได้ประมาณ

$$32,090 + 25,868 = 57,958 \text{ บาท/ปี}$$

และยังมีผลประโยชน์อื่นด้วย ดังนี้

- 1) ลดปัญหาเรื่องกลิ่น และพาหะนำโรค
- 2) ได้พลังงานจากชีวมวลและช่วยลดภาวะโลกร้อน
- 3) ตะกอนสามารถถ่ายออกได้จากถังบำบัดและสามารถนำไปทำปุ๋ยได้
- 4) ระบบเติมอากาศเกิดขึ้นมากและสะสมในบ่อบำบัดทำให้ดินแข็งต้องมักขุดลอก
- 5) ค่าบำรุงรักษาเครื่องตีอากาศ ที่อาจเสียบ่อยครั้งเนื่องจากเศษยางเข้าไปเกาะติด

3.6.2 การประเมินราคาก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศขนาด Full Scale สำหรับการประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นเพื่อประยุกต์ระบบถังย่อยแบบกะต่อเนื่องเป็นซีรียส์ และระบบบ่อไร้อากาศแบบแผ่นคลุมไปใช้บำบัดน้ำเสียสหกรณ์โรงอบ/รมยาง โดยแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้ดังนี้

3.6.2.1 การก่อสร้างถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor : MABR)

1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการคำนวณการก่อสร้างระบบ ดังแสดง

- | | | |
|-------------------------------------|---|---|
| 1.1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น | = | 10 m ³ /d |
| 1.2 ปริมาณน้ำยางที่นำมารีดแผ่น | = | 6,000 kg |
| 1.3 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อตันน้ำยาง | = | 10/6 |
| | = | 1.67 m ³ /ton |
| 1.4 การออกแบบที่การผลิตสูงสุด | = | 6,700 kg/d |
| ดังนั้น ปริมาณการออกแบบ | = | 1.67 m ³ /ton.d x 6.7 ton |
| | = | 11.19 m ³ /d หรือปริมาณ 11.2 m ³ /d |

2. คำนวณหาปริมาตรของระบบ

จากข้อมูลการทดลองการเดินระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ เลือกใช้ข้อมูล HRT 2.5 วัน และสัดส่วนการสูบย้อนกลับที่ระดับ 0% (ไม่มีการสูบย้อนกลับ)

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

เมื่อ

$$HRT = \text{ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกรณ์, (d)}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \text{ปริมาตรของถังปฏิกริยา (m}^3\text{)} \\
 Q &= \text{อัตราการไหลของน้ำเสีย (m}^3\text{/d)}
 \end{aligned}$$

จากสมการข้างต้น คำนวณหาปริมาตรถังปฏิกริยา (V) เมื่อ HRT 2.5 วัน และอัตราการไหลของน้ำเสีย 11.2 m³/d จะได้

$$2.5 \text{ d} = \frac{V}{11.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$V = 2.5 \text{ d} \times 11.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$V = 28 \text{ m}^3 \Rightarrow 38 \text{ m}^3 \text{ (เพื่อปริมาณของ Head space)}$$

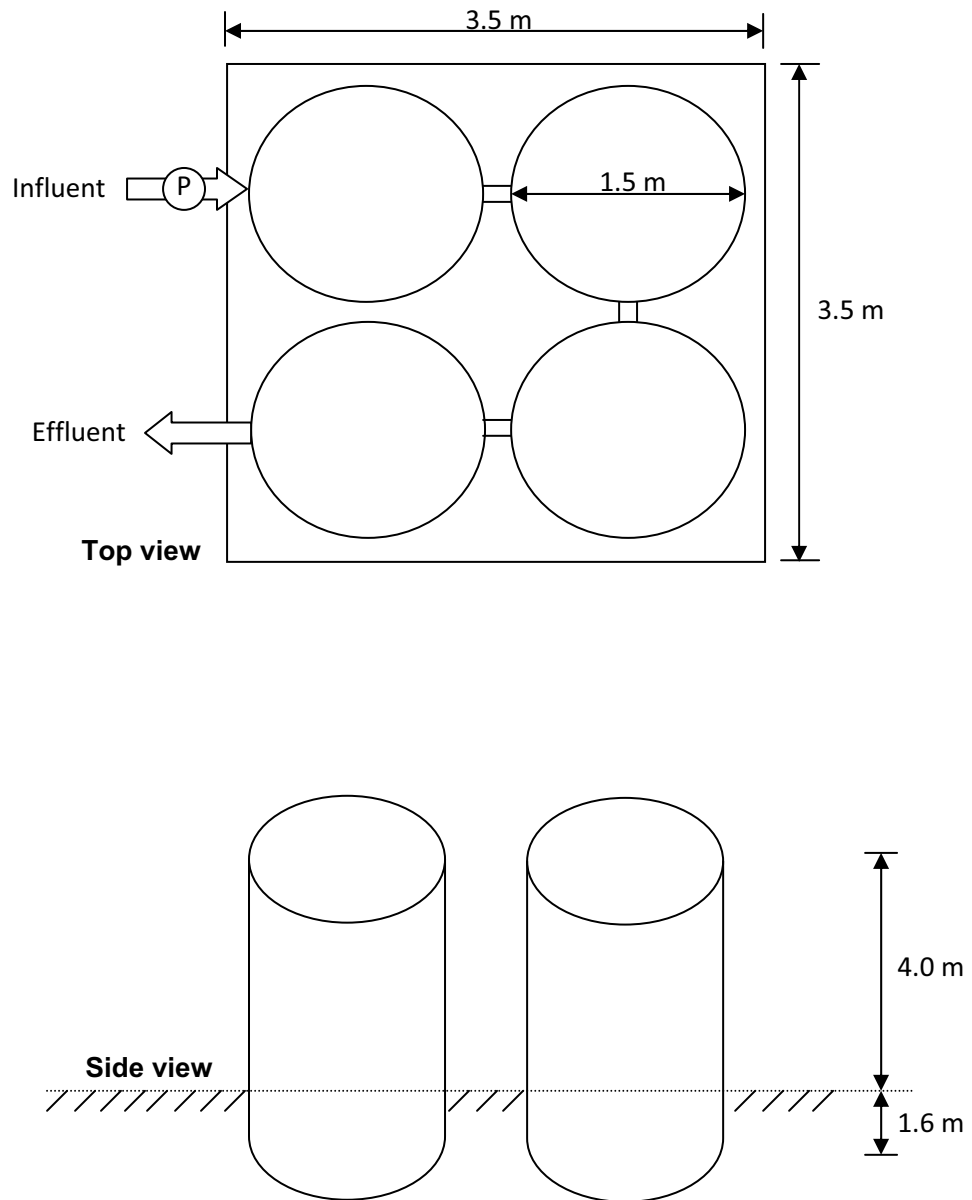
$$V = \frac{38 \text{ m}^3}{4} = 9.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

ดังนั้น ปริมาตรของถังปฏิกริยา MABR ขนาด 9.5 m³ จำนวน 4 ถัง มีปริมาตรรวม 38 m³ ดังแสดงในรูปที่ 3-22

- ประเมินราคาค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายเพื่อความเป็นไปได้เบื้องต้นในการสร้างระบบ MABR

ตารางที่ 3-21 การประเมินราคาค่าก่อสร้างระบบ MABR ระดับ Full scale

รายการการก่อสร้างระบบ	ราคา (บาท)
1. ค่าถังปฏิกริยา ใช้วงขอบซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m สูง 0.4 m จำนวน 14 ใบ/ถัง รวมทั้งหมด 56 ใบ x 500 บาท	28,000
2. ค่าขนย้ายวงขอบซีเมนต์ จำนวน 56 x 150 บาท	8,400
3. ค่าฐานรากซีเมนต์เท่ากับ 3.5 m x 3.5 m x 0.25 m (5,000 บาท/m ³)	15,312.50
4. ค่าแรงยกเชื่อมต่อแนวท่อ จำนวน 56 ใบ x 150 บาท	8,400
5. ค่างานฉาบผิวกันซึม 105.51 m ² ใช้ 110 m ² x 150 บาท/m ²	16,500
6. งานขุดดิน	7,000
7. ค่าจ้างแรงงาน (20% ของราคาค่าก่อสร้างทั้งหมดจากข้อ 1-6)	16,722.5
8. ค่าเครื่องสูบน้ำ ขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง	5,790
9. ค่าสร้างถุเก็บก๊าซชีวภาพ (ขนาด 5 m x 7 m x 1.5 m) เป็นเงิน 106 m ² x 150 บาท/m ²	15,900
รวม	122,025



รูปที่ 3-22 Diagram ระบบ MABR ระดับ Full scale

3.6.2.2 การก่อสร้างระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester : MCL)

1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการคำนวณการก่อสร้างระบบ ดังแสดง

1.1 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น	=	10 m ³ /d
1.2 ปริมาณน้ำยางที่นำมารีดแผ่น	=	6,000 kg
1.3 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อตันน้ำยาง	=	10/6
	=	1.67 m ³ /ton
1.4 การออกแบบที่การผลิตสูงสุด	=	6,700 kg/d
ดังนั้น ปริมาณการออกแบบ	=	1.67 m ³ /ton.d x 6.7 ton
	=	11.19 m ³ /d ใช้ปริมาณ 11.2 m ³ /d

2. ค้นหาปริมาตรของระบบ

จากข้อมูลการทดลองการเดินระบบบ่อไร้อากาศแบบแผ่นคลุม เลือกใช้ข้อมูลที่ HRT 30 วัน และสัดส่วนการสูบย้อนกลับที่ระดับ 0% (ไม่มีการสูบย้อนกลับ) จากสูตรคำนวณจะได้

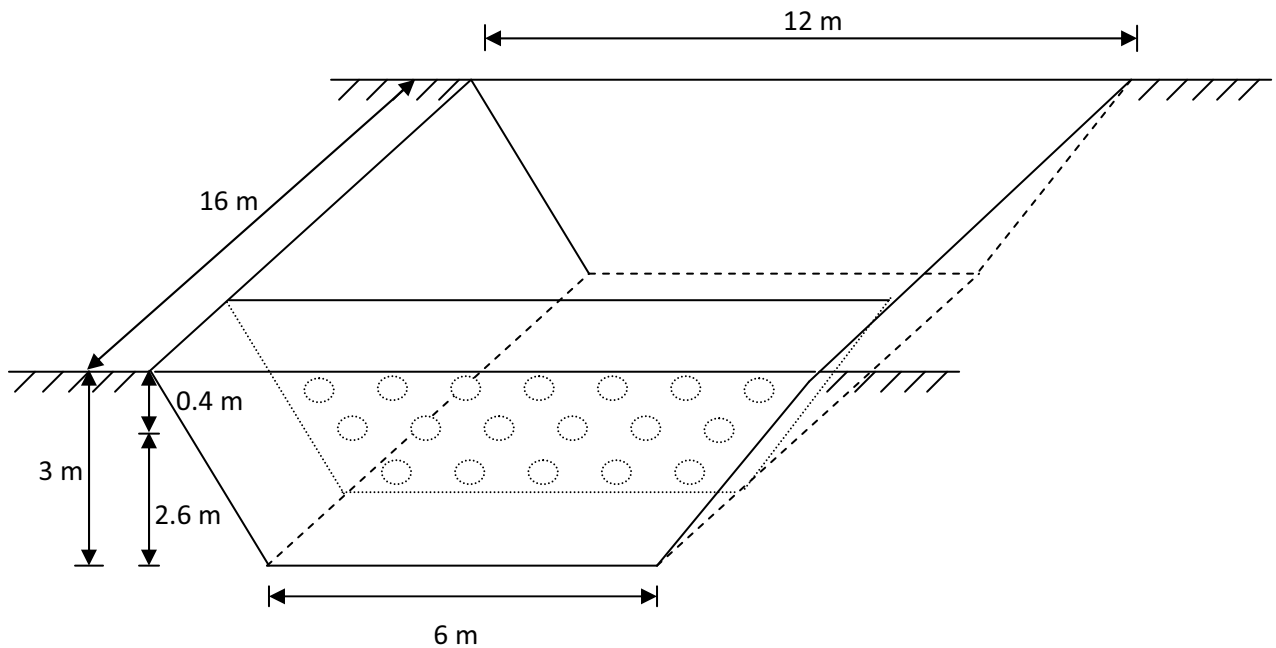
$$HRT = \frac{V}{Q}$$

$$30 \text{ d} = \frac{V}{11.20 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$V = 30 \text{ d} \times 11.20 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$V = 336 \text{ m}^3$$

และเมื่อออกแบบบ่อ MCL แบบ Trapezoid Tank ให้มีขนาดปริมาตรของบ่อเท่ากับ 357 m³ โดยบ่อจะมีขนาดกว้าง 12 m ยาว 16 m ลึก 3 เมตร โดยมีสัดส่วนความชันเท่ากับ 1:1 ทั้งนี้การออกแบบปริมาตรบ่อดังกล่าวรวมถึงระยะ free board 0.4 m ดังแสดงในรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 Diagram ระบบ MCL ระดับ Full scale

- ประเมินราคาก่อสร้างและค่าใช้จ่ายเพื่อความเป็นไปได้เบื้องต้นในการสร้างระบบ MCL

ตารางที่ 3-22 การประเมินราคาก่อสร้างระบบ MCL ระดับ Full scale

รายการการก่อสร้างระบบ*	ราคา (บาท)
1. ค่าขุดดินพร้อมบดอัดแน่นคันบ่อ (ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่)	10,000
2. ขนาดแผ่นพลาสติก พีวีซี หนา 1.2 mm คลุมบ่อขนาด กว้าง 16 m ยาว 20 m (320 m ² x 250 บาท) รวมค่าติดตั้ง	80,000
3. ขนาดแผ่นพลาสติกพีวีซี คันบ่อ จำนวน 4 ด้าน - กว้าง 2.5 m ยาว 12 m จำนวน 2 ด้าน เท่ากับ 60 m² - กว้าง 2.5 m ยาว 16 m จำนวน 2 ด้าน เท่ากับ 80 m² ดังนั้นใช้พลาสติกพีวีซีคันบ่อจำนวน 140 m ² x 250 บาท รวมค่าติดตั้ง	35,000
4. ค่าแผ่น Baffle (30 m ² x 250 บาท)	7,500
5. ค่าขนส่ง	30,000
6. ค่าแรงงานราคาเหมาจ่าย	10,000
7. ค่าเครื่องสูบน้ำ ขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง	5,790
รวม	178,290

- หมายเหตุ : 1 สำหรับบ่อบำบัดน้ำเสีย สกย. จัดว่าเป็นบ่อบำบัดขนาดเล็กแนะนำเป็นแผ่นพลาสติกพีวีซีซึ่งจะถูกกว่าแผ่นพลาสติกพีอี
- 2 ไม่รวมค่าใช้จ่ายท่อพีวีซีระบบเชื่อมต่อและ blower แต่ละท่อ
- 3 การออกแบบบ่อไม่ได้แบ่งออกเป็น 2 ห้อง มีแผ่น Baffle กันกระจายน้ำและดักตะกอน

3.6.3 การประเมินค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ MABR และ MCL สามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. ค่าไฟฟ้า ในการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม./วัน เท่ากับ 135 บาท/เดือน
2. ไม่มีค่าจ้างคนดูแลระบบเนื่องจากมอบหมายพนักงานในสหกรณ์เป็นผู้ดูแล

ดังนั้นรวมค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ MABR เป็นเงิน 135 บาท/เดือน ส่วนระบบ MCL ไม่มีค่าไฟฟ้าเพราะให้น้ำไหลเข้าบ่อด้วยแรงโน้มถ่วง (ปั๊มน้ำใช้สำหรับสูบน้ำที่ขังบนแผ่นพลาสติก ออกเมื่อมีน้ำขังอยู่เนื่องจากฝนตกเป็นครั้งคราว)

3.6.4 ค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 เปรียบเทียบกับระบบบำบัดไร้อากาศของ สกย.ในปัจจุบัน (Anaerobic Covered Lagoon; AnCL) กับระบบ MABR และ MCL ที่ศึกษาทดลอง

ระบบบ่อในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 ประกอบด้วยบ่อบำบัดขั้นต้น บ่อหมักไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ และบ่อฝุ้ง ซึ่งมีการประเมินค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ แสดงในตารางที่ 3-23 ทั้งนี้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในรูปของ TCOD เฉลี่ยอยู่ที่ 76.61% แต่หากเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR และ MCL พบว่า ระบบ MCL มีค่าก่อสร้างระบบทั้งหมดสูงกว่าระบบ MABR และระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 และมีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงกว่าระบบ MABR และระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 (ไม่มีการเติมอากาศ ทำให้บ่อบำบัดเปลี่ยนสภาพเป็นบ่อหมักไร้อากาศ) ดังแสดงในตารางที่ 3-24

ตารางที่ 3-23 รายการประเมินค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538

รายการ	หน่วย
1. ค่าอุปกรณ์เดินระบบ*	
1.1 ค่าเครื่องเติมอากาศขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง	26,000 บาท
รวม	26,000 บาท
2. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ**	
2.1 ค่าไฟฟ้า ในการเติมอากาศเข้าระบบ 24 ชม./วัน คำนวณจาก $0.75 \text{ kW} \times 24 \text{ hr} = 18 \times 3 \text{ บาท/หน่วย} = 54 \text{ บาท} \times 30 \text{ วัน}$	1,620 บาท/เดือน
รวม	1,620 บาท/เดือน

ตารางที่ 3-23 (ต่อ)

รายการ	หน่วย
3. ประสิทธิภาพการบำบัด	
3.1 ประสิทธิภาพการกำจัด COD **	76.61%

หมายเหตุ * บริษัท เอ็น วาย เทรตติ้ง จำกัด (2552)

** คือ ประสิทธิภาพการกำจัด COD สกย.ยุงทอง (สายัณห์ สตุดี และคณะ, 2548)

ตารางที่ 3-24 ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และ ประสิทธิภาพการบำบัด

ระบบ	ค่าก่อสร้าง ระบบ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ในการเดินระบบ (บาท/เดือน)	ประสิทธิภาพการบำบัด	
			COD Removal (%)	Biogas Production Rate (m ³ /d)
MABR	122,025	135	94.3	30.0
MCL	178,290	135	97.1	3.92
AnCL	**	ไม่มีค่าใช้จ่าย	91.4	**
ปี 2538	60,000	1,620	76.61	-

หมายเหตุ : * คือ รุ่นออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางปี พ.ศ. 3538 ของ

สกย.ยุงทอง

** คือ ไม่มีข้อมูล

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกและพัฒนากระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อนำไปศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยางแผ่นรมควันโดยได้เลือกพื้นที่ศึกษาที่ สกย. ยุงทอง จำกัด ในจังหวัดสงขลา และได้ใช้ระบบบำบัด MCL และ MABR ระดับ pilot scale ไปติดตั้งและทดสอบ ณ สกย. ยุงทอง โดยได้เลือกศึกษาปัจจัยประเภทของระบบที่ใช้ อัตราการสูบน้ำย้อนกลับเพื่อทวนผสม (R_L) และระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบเป็นระยะเวลาประมาณ 2 ฤดูกาลผลิตยาง พร้อมกับเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการดำเนินการสร้างระบบบำบัดเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ได้ผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ที่สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_L) ต่าง ๆ

1) น้ำทิ้งจากระบบ MCL ของทุกสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_L=100\%$ 75% 50% 25% และ 0%) สามารถรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางได้ตลอดการทดลอง โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของ VFA ที่เป็นสาเหตุให้ระบบล้นเหลว น้ำในระบบมีค่า Alkalinity สูงเกินพอที่จะรักษาเสถียรภาพของระบบให้ทำงานได้ ดังนั้นจึงไม่มีจำเป็นต้องเติมสารปรับ pH

2) สภาพการทำงานของระบบ MCL สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียในน้ำเสียในรูปของซีโอดีทั้งหมดเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้สูงสุดคือ ที่ $R_L=0\%$ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด COD เฉลี่ย 97.15% อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 3.92 L/d และองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 70.56%

3) การเดินระบบ MCL ที่การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ที่ R_L ต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับก็ได้

4) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียกับระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบแผ่นคลุมของ สกย. ยุงทอง พบว่า ระบบ MCL ที่ทำการทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากระบบมี HRT สูงกว่าระบบของ สกย. ยุงทอง 4 วัน หรือมากกว่า 13%

4.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR สัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) ต่าง ๆ

1) น้ำทิ้งจากระบบ MABR ของการทดลองที่ HRT 10 5 และ 2.5 วัน ในทุกสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ($R_t=100\%$ 50% และ 0%) สามารถรักษาระดับพีเอชให้เป็นกลางได้ตลอดการทดลอง โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของ VFA ที่เป็นสาเหตุให้ระบบล้มเหลว ดังนั้นจึงไม่มีจำเป็นต้องเติมสารปรับ pH เช่นเดียวกับระบบ MCL

2) สภาพะการทำงานของระบบ MABR สามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียในน้ำเสียในรูปของ TCOD เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้สูงสุดคือ ที่ HRT 5 วัน ที่ $R_t=0\%$ โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ย 97.3% อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 43.5 L/d และองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 72.83% แต่ที่ HRT 2.5 วัน ระบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับที่ HRT 5 วัน สามารถเลือกเดินระบบที่ HRT 2.5 วัน เพื่อใช้ระบบขนาดเล็กลง

3) การที่ระบบ MABR แยกเป็น 3 ถึงปฏิกรณ์ น่าจะส่งผลให้การเดินระบบ MABR ที่ทุก HRT และ R_t มีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ใกล้เคียงกัน

4.1.3 ประเมินความคุ้มค่าในรูปของค่าใช้จ่ายของการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในสหกรณ์โรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการผลิตพลังงานทดแทน

1) จากการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการใช้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจากระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน ที่ $R_t=0\%$ เปรียบเทียบกับการใช้ก๊าซหุงต้ม พบว่า มูลค่าของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสีย สกย. แบบไร้อากาศ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศของ สกย. พบว่าระบบก๊าซชีวภาพสามารถประหยัดให้แก่สหกรณ์ สกย. ได้ถึง 57,958 บาท/ปี

2) การประเมินราคาค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายเพื่อความเป็นไปได้เบื้องต้นในการสร้างระบบ MCL และ MABR ระดับ Full scale พบว่า ระบบทั้งสองน่าจะสามารถก่อสร้างได้ภายในงบประมาณต่ำกว่า 200,000 บาท หรือไม่เกิน 250,000 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการเดินระบบจะมีค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าไฟฟ้า 135 บาท/เดือน สำหรับระบบ MABR ส่วนการดูแลระบบมอบหมายให้เจ้าหน้าที่สหกรณ์ดูแลเองได้เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน

4.1.4 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานหรือสหกรณ์อบ/รมยางแผ่นอื่น ๆ ที่ไม่ได้เลือกใช้ระบบ MCL และ MABR ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

การเลือกใช้ระบบไร้อากาศหรือระบบไบโอแก๊สเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถทำให้เกิดมูลค่าได้ ซึ่งจะต่างกับระบบที่มีการเติมอากาศที่จะต้องเสียค่าไฟฟ้าสม่ำเสมอหรือหากเป็นระบบบ่อแบบเปิด (บ่อผึ่ง) ซึ่งเป็นเพียงบ่อดินที่ขังน้ำเสียไว้เท่านั้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนรวมทั้งยังปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศอีกด้วย ดังนั้นหาก

สหกรณ์ไม่สามารถลงทุนในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อก๊าซชีวภาพได้ ระบบที่ราคาสร้างและเดินระบบต่ำที่สุดรวมทั้งไม่ต้องการดูแลรักษามากก็คือระบบบ่อฟี้นั้นเอง แต่ก็จะมีข้อเสียดังที่ได้กล่าวมา และจากการสำรวจพบว่าสหกรณ์เกือบทุกแห่งใช้ระบบบำบัดแบบบ่อฟี้นั้น และยังพบว่าพื้นที่ที่สหกรณ์นำมาจัดสร้างบ่อฟี้นี้มีขนาดแตกต่างกันมากแล้วแต่ที่ดินที่มีและความประสงค์ของแต่ละสหกรณ์ บางแห่งมีขนาดเล็กจนไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ

โดยข้อจำกัดทางด้านบุคลากรและเครื่องจักรเครื่องมือ สหกรณ์ไม่ควรเลือกใช้ระบบที่มีการควบคุมยุ่งยากและมีราคาจัดสร้างและเดินระบบ/บำรุงรักษาสูง บ่อฟี้นั้นเป็นระบบที่ง่ายที่สุดและมีการลงทุนต่ำก็จริงแต่จะไม่ได้ก๊าซชีวภาพมาใช้ ดังนั้นหากจะใช้บ่อฟี้นั้นสหกรณ์ต้องมีพื้นที่เพียงพอ

4.2 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินโครงการ

1) ระบบการรวบรวมก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการศึกษา ยังมีข้อบกพร่องทางเทคนิคเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบรวบรวมก๊าซ ที่ส่งผลให้ระบบเกิดการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองได้ค่าก๊าซชีวภาพน้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นหากนาระบบ MCL หรือ MABR ไปใช้ในการก่อสร้างระบบจริง ควรออกแบบโครงสร้างของระบบให้สามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้อย่างสมบูรณ์และง่ายต่อการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดการรั่วซึม

2) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL และ MABR ทั้ง 2 ตลอดจนการทดลองมีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งไม่มากนัก ควรมีการจัดการให้มีการรองรับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบดังกล่าวมากักพักเพื่อให้เกิดการบำบัดต่อ ซึ่งสามารถใช้บ่อบำบัดที่มีอยู่เดิมของสภย. ได้เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ตามกฎกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 หรือควรต้องหาทางนำน้ำทิ้งนี้ซึ่งมีสารอาหารพืชในรูปไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่สูงไปใช้ในการเกษตรกรรมในพื้นที่รอบข้างของสหกรณ์

3) ควรมีการศึกษาขยายผล สภย. นำร่องเพิ่มเติมเพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และหาแนวทางในการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดที่จะสร้างด้วยวัสดุอินทรีย์ประเภทอื่นในพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยาง
ชั้น. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย: กรุงเทพฯ
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2548. เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการ
พัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ. สถานเทคโนโลยี
ก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่ง
ประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- การุณ สุอรุณ. 2548. ประสบการณ์การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดใหญ่. ใน: การประชุม
วิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 4 19-21 มกราคม 2548 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์
ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
- เกรียงศักดิ์ อุทมนสินโรจน์. 2543. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2539. กำหนดมาตรฐานการควบคุมการ
ระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม
(ประกาศในราชกิจจานุเบกษา).
- ชอบ บุญช่วย. 2541. การบำบัดน้ำเสียจากการทำยางพาราแผ่นโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการ
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา.
- ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ. 2546. “ผลของการป้อนน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถนะของระบบยู
เอเอสบี”, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2546. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1.
กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สมทิพย์ ด้านธีรวิชย์, อุดมผล พิษไพบูลย์, เจตจรรย์ ศิริวงศ์ และ พนาลี ชีวกิตาการ. 2540. การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การควบคุมและการเดินระบบบำบัด. 17-23 เมษายน 2540 ณ โรงแรมเพิร์ล ภูเก็ต.
- สายนธ์ สดุดี, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และชิตชไม โอวาทพารพ. 2548. การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางแผ่นเพื่อการเกษตรกรรม. รายงานการวิจัยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุชัญญา ทองเครือ และ ขวลิตร รัตนธรรมสกุล. 2549. “ผลของสัดส่วนอัตราการใช้กากน้ำตาลต่อการไหลเวียนกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดไร้อากาศแบบอีจีเอสบี”, วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม, 28(1), หน้า 13-23.
- เอ็น วาย เทรดิง, บริษัท. 2552. ราคาเครื่องเติมอากาศ Jet Aerator (ขนาด 1 - 30 HP). เข้าถึงได้จาก <http://www.be2hand.com/scripts/shop.php?user=yuwaree&do=view&id=122958>. 22 เมษายน 2552.
- Austermann-Haun, U., Meyer, H., Seyfried, C.F., and Rosenwinkel, K.H. 1999. Full scale experiences with anaerobic/aerobic treatment plants in the food and beverage industry. *Water Science and Technology*, 40(1) : 305-312.
- Dalis, D., Anagnostidis, K., Lopez, A., and Letssiou, I. 1996. Anaerobic Digestion of total Raw Olive-Oil Wastewater in a Two-stage Pilot-Plant (Up-Flow and Fixed-Bed Bioreactors). *Bioresource Technology*, 57 : 237-243.
- Chaiprapat, S. and Sdoodee, S. 2007. Effects of wastewater recycling from natural rubber smoked sheet production on economic crops in southern Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, 51 : 577-590.
- Faselli, M. S., Khosravan F., Hossini M., Sathyanaran S. and Satish P. N. 1998. Enrichment of heavy metals in paddy crops irrigated by paper mill effluents near Nanjangud, Mysore district, Karnatake, India. *Environmental Geology*, 34 : 297-302.

- Hashim, M.A., Hassan, R.S., and Lee, K.K. 1986. Anaerobic digestion of palm oil mill refinery effluent. In *World Congress II of Chemical Engineers*. Tokyo, Japan.
- Hussain, G. and Al-Saati, A. J. 1999. Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination*, 123 : 241-251.
- Hasselgren, K. 1998. Use of municipal waste products in energy forestry: highlight from 15 years of experience. *Biomass and Bioenergy*, 15 : 71-74.
- McCarty, L.P. 1964. "Anaerobic Waste Treatment Fundamental", Chemistry and Microbiology", *Journal Public Works*, 12 : 95-99.
- MetCalf and Eddy. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Ed. New York : McGraw-Hill, Inc.
- Moser, M. A. 2005. Anaerobic digesters for farms. Accessed in July 2005 at http://www.mrec.org/confer/2005_Moser_Digesters.pdf.
- Lens, P.N.L., Visser, A.N.L., Janssen, A.J.H., Pol, L.W.H., and Lettinga, G.W. 1998. Biotechnological treatment of sulfate-rich wastewaters. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 28 : 41-88.
- Ng, W.J., Wong, K.K., and Chin, K.K. 1985. Two-phase anaerobic treatment kinetics of palm oil wastes. *Water Research*, 19 : 667-669.
- Omil, F., Garrido J.M., Arrojo B., and Mendez R. 2003. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. *Water Research*, 37 : 4099-4108.
- Palns, S.S., Loewenthal R.E., Dold P.L., and Marais G.R.. 1987. Hypothesis for pelletisation in the upflow anaerobic sludge bed reactor. *Water SA*, 13 : 69-80.

- Parawira, W., Kudita I., Nyandoroh M. G., and Zvauya R. 2005. A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge. *Process Biochemistry*, 40(2) : 593-599.
- Pimolthai, P. 2003. Wastewater treatment of concentrated latex factory by anaerobic and oxidation ponds. Master's Thesis, Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla. Thailand.
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L. 2001. Environmental Biotechnology. New York : McGraw-Hill, Inc.
- Sanders, F.A. and Bloodgood, D.E. 1965. The Effect of Nitrogen-to-Carbon Ratio on Anaerobic Decomposition, *JWPCF*. 37(12) : 1742-1752.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. 2003. Chemistry for Environmental Engineering. New York : McGraw-Hill, Inc.
- Saritpongteeraka, K. and Chaiprapat, S. 2008. Effects of pH adjustment by parawood ash and effluent recycle ratio on the performance of anaerobic baffled reactors treating high sulfate wastewater, *Bioresource Technology*. 99 : 8987-8994.
- Southworth, A. 1979. Palm oil mill effluent treatment by anaerobic digestion in lagoons. In *The 35th Industrial Waste Conference*. Purdue University, West Laffayett, Indiana, USA.
- Tchobanoglous, G and Burton, F.L. 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. New York : McGraw-Hill, Inc.
- Thanh, N.C. 1980. High organic wastewater control and management in the tropics. In *Water Pollution Control Conference CDG-AIT-ERL*. Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้งในการทดลองระยะที่ 1 และ 2 คือ การบำบัดมลสารของระบบ MABR และ MCL ที่ HRT ต่างกัน และสัดส่วนเวลาการสลับ (R_t) ระดับต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 10 วัน และ R=100%

Day	Date	pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	Influent	5.48	680	600	3,528	-	300	-	-	-	-	-	-
	Effluent	7.23	1,290	570	2,520	-	600	-	-	-	-	-	-
	%removal	-	-	-	28.57	-	-	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	Influent	5.43	750	1,665	3,384	2,270	350	-	-	-	-	-	-
	Effluent	7.84	1,100	390	940	900	270	-	-	-	-	-	-
	%removal	-	-	-	72.22	66.91	22.86	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	285	-	-	-	-	-	-
	Effluent	7.34	1,260	90	792	523	155	-	-	-	-	-	-
	%removal	-	-	-	77.78	79.47	45.61	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
	Effluent	7.84	1,080	60	1,400	1,200	165	-	-	-	-	-	-
	%removal	-	-	-	61.11	62.50	29.79	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ :หน่วยของพารามิเตอร์ต่างๆ มีดังนี้

Alkalinity	มีหน่วยเป็น mg/L as CaCO ₃	TCOD	มีหน่วยเป็น mg/L	TKN	มีหน่วยเป็น mg/L	TP	มีหน่วยเป็น mg/L
VFA	มีหน่วยเป็น mg/L as CH ₃ COOH	SCOD	มีหน่วยเป็น mg/L	NH ₄ ⁺ -N	มีหน่วยเป็น mg/L	NO ₃ ⁻	มีหน่วยเป็น mg/L
BOD ₅	มีหน่วยเป็น mg/L	SS	มีหน่วยเป็น mg/L	SO ₄ ²⁻	มีหน่วยเป็น mg/L		

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.62	1,080	160	2,068	564	185	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	38.89	78.57	7.50	-	-	-	-	-	-
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.78	1,080	110	1,472	204	175	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	50.00	91.66	33.96	-	-	-	-	-	-
15-Sep-50	75	Influent	5.35	1,180	780	3,420	2,280	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.55	680	180	1,140	190	220	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	66.66	91.66	26.66	-	-	-	-	-	-
27-Sep-50	87	Influent	5.39	1,350	1,650	4,080	1,632	370	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.29	1,200	160	816	612	180	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	80.00	62.50	51.35	-	-	-	-	-	-
16-Oct-50	106	Influent	5.75	460	660	3,168	-	490	-	-	-	-	-	-
		Effluent	73.88	1,360	80	396	-	115	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	87.50	-	76.53	-	-	-	-	-	-
2-Nov-50	123	Influent	5.92	310	315	2,256	864	185	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.47	560	70	564	94	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	75.00	89.12	18.91	-	-	-	-	-	-
5-Nov-50	126	Influent	6.41	200	360	2,376	1,188	145	-	-	-	-	-	-
		Effluent	8.07	500	170	990	495	90	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	58.33	58.33	37.93	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
29-Nov-50	147	Influent	5.85	520	660	2,424	1,958	445	-	62	73	113	33	0.40
		Effluent	7.70	800	80	121	102	130	-	34	62	34	45	0.14
		%removal	-	-	-	95.00	94.79	70.79	-	45.16	15.06	69.91	-	65.00
24-Dec-50	177	Influent	5.60	1,000	820	3,708	2,111	370	-	95	123	72	59	0.35
		Effluent	7.33	920	120	300	105	120	-	60	78	47	22	0.18
		%removal	-	-	-	91.90	95.02	67.56	-	36.84	36.58	34.72	62.71	48.57
25-Dec-50	177	Influent	5.78	480	140	2,002	874	385	-	62	84	152	45	0.44
		Effluent	6.90	960	100	182	57	135	-	73	73	29	24	0.12
		%removal	-	-	-	90.90	93.47	64.93	-	-	13.09	80.92	46.66	76.19
5-Jan-51	189	Influent	6.22	600	480	1,782	1,267	180	1,362	-	-	-	-	-
		Effluent	7.29	1,000	80	91	70	30	66	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	94.89	94.47	83.33	95.15	-	-	-	-	-
6-Jan-51	190	Influent	6.01	720	810	4,278	1,224	240	2,890	-	-	-	-	-
		Effluent	6.95	920	100	143	88	100	119	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.65	92.81	58.33	95.88	-	-	-	-	-
7-Jan-51	191	Influent	5.55	940	1,200	3,240	2,886	450	3,044	-	-	-	-	-
		Effluent	7.16	960	60	126	69.51	150	71	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.11	97.57	66.67	97.66	-	-	-	-	-
10-Jan-51	194	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	740	100	118	89	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.30	96.05	70.37	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 5 วัน และ R = 100%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,528	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	950	510	2,250	-	250	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	36.22	-	16.66	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.43	750	1,665	3,384	2,270	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.85	950	630	1,316	1,400	280	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	61.11	32.33	20.00	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	285	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.94	820	20	792	347	115	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	77.77	86.38	59.64	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.72	1,020	140	1,034	1,120	195	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	71.27	65.00	17.02	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.25	990	465	1,104	893	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	67.37	66.07	25.00	-	-	-	-	-	-
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	1,200	140	1,330	918	140	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	54.82	62.50	47.16	-	-	-	-	-	-
15-Sep-50	75	Influent	5.35	1,180	780	3,420	2,280	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.80	1,180	120	612	855	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	82.10	62.50	50.00	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
27-Sep-50	87	Influent	5.39	1,350	1,650	4,080	1,632	370	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.42	1,080	180	800	204	160	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	80.39	87.50	56.75	-	-	-	-	-	-
16-Oct-50	106	Influent	5.75	460	660	3,168	2,134	490	-	-	-	-	-	-
		Effluent	8.20	1,300	80	582	485	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	81.62	77.27	74.48	-	-	-	-	-	-
2-Nov-50	123	Influent	5.92	310	315	2,256	864	185	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.46	510	110	990	376	90	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	56.11	56.48	51.35	-	-	-	-	-	-
29-Nov-50	147	Influent	5.85	520	660	2,424	1,958	445	-	62	73	113	33	0.40
		Effluent	7.52	880	80	45	51	125	-	22	45	43	73	0.10
		%removal	-	-	-	98.14	97.39	71.91	-	64.51	38.35	61.94	-	75.00
24-Dec-50	177	Influent	5.60	1,000	820	3,708	2,111	370	-	95	123	72	59	0.35
		Effluent	7.43	920	140	81	33	170	-	84	67	67	72	0.17
		%removal	-	-	-	97.81	98.43	54.05	-	11.57	45.52	6.94	-	51.42
25-Dec-50	178	Influent	5.78	480	140	2,002	874	385	-	62	84	152	45	0.44
		Effluent	6.93	1,120	100	171	49	110	-	78	73	35	92	0.12
		%removal	-	-	-	91.45	94.39	71.42	-	-	13.09	76.97	-	76.19
5-Jan-51	189	Influent	6.22	600	480	1,782	1,267	180	1,362	-	-	-	-	-
		Effluent	7.28	960	120	68	61	30	45	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.18	95.18	83.33	96.69	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
6-Jan-51	190	Influent	6.01	720	810	4,278	1,224	240	2,890	-	-	-	-	-
		Effluent	6.97	920	80	133	48	40	90	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.89	96.07	83.33	96.88	-	-	-	-	-
7-Jan-51	191	Influent	5.55	940	1,200	3,240	2,886	450	3,044	-	-	-	-	-
		Effluent	7.00	860	80	61	49	145	53	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.11	98.30	66.66	98.25	-	-	-	-	-
10-Jan-51	194	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.12	980	80	242	105	135	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.42	95.34	66.67	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน R=100%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,528	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.93	810	405	2,268	-	130	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	35.71	-	56.66	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.43	750	1,665	3,384	2,270	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.02	810	750	940	1,960	210	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	72.22	13.65	40.00	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	285	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.16	920	120	900	672	165	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	74.74	73.62	42.10	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.72	770	60	864	720	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	76	77.51	-	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.34	1,010	450	736	705	12	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	78.25	73.21	94.00	-	-	-	-	-	-
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.37	920	140	1,900	1,122	130	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	35.46	54.16	50.94	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
15-Sep-50	75	Influent	5.35	1,180	780	3,420	2,280	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.46	1180	180	1,520	1,045	190	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	50.55	54.16	36.66	-	-	-	-	-	-
27-Sep-50	87	Influent	5.39	1,350	1,650	4,080	1,632	370	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.11	1080	330	1,632	1,020	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	60.00	37.50	66.21	-	-	-	-	-	-
16-Oct-50	106	Influent	5.75	460	660	3,168	-	490	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.53	1260	120	1,600	-	110	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	49.49	-	77.55	-	-	-	-	-	-
2-Nov-50	123	Influent	5.92	310	315	2,256	864	185	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.42	490	90	792	94	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	64.89	89.12	18.91	-	-	-	-	-	-
5-Nov-50	126	Influent	6.41	200	360	2,376	1,188	145	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.68	510	360	470	297	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	80.21	75.00	13.79	-	-	-	-	-	-
29-Nov-50	147	Influent	5.85	520	660	2,424	1,958	445	-	62	73	113	33	0.40
		Effluent	7.63	740	60	742	-	230	-	31	67	35	69	0.09
		%removal	-	-	-	69.38	-	48.31	-	50.00	8.21	69.02	-	77.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
24-Dec-50	175	Influent	5.60	1,000	820	3,708	2,111	370	-	95	123	72	59	0.35
		Effluent	7.35	880	80	242	69	135	-	84	56	55	72	0.17
		%removal	-	-	-	93.47	96.73	63.51	-	11.57	54.47	23.61	-	51.42
25-Dec-50	177	Influent	5.78	480	140	2,002	874	385	-	62	84	152	45	0.44
		Effluent	6.87	1000	120	181	204	140	-	56	56	56	98	0.14
		%removal	-	-	-	90.95	76.65	63.63	-	9.67	33.33	63.15	-	68.18
5-Jan-51	189	Influent	6.22	600	480	1,782	1,267	180	1,362	-	-	-	-	-
		Effluent	7.54	900	80	136	70	90	102	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.36	94.47	50.00	92.51	-	-	-	-	-
6-Jan-51	190	Influent	6.01	720	810	4,278	1,224	240	2,890	-	-	-	-	-
		Effluent	6.96	940	80	196	48	100	102	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.41	96.07	58.33	96.47	-	-	-	-	-
7-Jan-51	191	Influent	5.55	940	1,200	3,240	2,886	450	3,044	-	-	-	-	-
		Effluent	6.88	760	60	123	82	210	80	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.20	97.15	53.33	97.37	-	-	-	-	-
10-Jan-51	194	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.12	1020	100	285	254	185	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.08	88.74	54.32	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 10 วัน และ R=50%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
25-Jan-51	209	Influent	5.33	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	960	100	154	113	105	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.11	96.62	66.67	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	212	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.26	960	100	113	54	65	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.46	97.76	80.59	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	219	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.18	940	100	218	99	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.30	96.33	59.01	-	-	-	-	-	-
8-Feb-51	223	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	2,228	147	119	38	101	0.10
		Effluent	7.07	1,080	100	94	65	30	43	99	109	26	62	0.03
		%removal	-	-	-	97.84	98.20	89.09	98.07	32.65	8.40	31.57	38.61	70.00
12-Feb-51	227	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	270	3,157	140	119	45	79	0.08
		Effluent	6.96	1,160	100	200	80	30	149	80	110	36	63	0.03
		%removal	-	-	-	93.93	96.92	88.88	95.28	42.85	7.56	20	20.25	62.50
15-Feb-51	230	Influent	5.09	720	1,200	3,920	2,665	340	3,077	104	97	47	54	0.08
		Effluent	6.91	1,240	120	67	39	40	58	115	37	32	72	0.07
		%removal	-	-	-	98.29	98.53	88.23	98.11	-	61.58	31.19	-	12.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 5 วัน และ R=50%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
25-Jan-51	209	Influent	5.33	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	980	120	170	144	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.70	95.69	61.90	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	212	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.22	960	100	129	45	60	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.96	98.13	82.08	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	219	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.09	1,000	120	361	108	90	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.90	96	70.49	-	-	-	-	-	-
8-Feb-51	223	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	2,229	147	119	38	101	0.10
		Effluent	6.93	1,080	100	146	54	155	51	111	109	25	69	0.03
		%removal	-	-	-	96.65	98.51	43.63	97.71	24.48	8.40	34.21	31.68	70.00
12-Feb-51	227	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	270	3,157	140	119	45	79	0.08
		Effluent	6.91	1,120	140	272	160	220	222	120	113	34	67	0.04
		%removal	-	-	-	91.75	93.84	18.51	92.97	14.28	5.04	24.44	15.18	50.00
15-Feb-51	230	Influent	5.09	720	1,200	3,920	2,665	340	3,077	104	97	47	54	0.08
		Effluent	7.01	1,420	100	112	55	50	96	122	113	36	71	0.04
		%removal	-	-	-	97.14	97.93	85.29	96.88	-	-	23.40	-	50.00

ตารางภาคผนวกที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน และ R=50%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
25-Jan-51	209	Influent	5.33	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.97	960	160	360	226	165	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	90.90	93.24	47.61	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	212	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.15	1,000	140	278	144	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.30	94.02	62.68	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	219	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.98	1,120	120	350	103	135	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	89.24	96.18	55.73	-	-	-	-	-	-
8-Feb-51	223	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	2,229	147	119	38	101	0.10
		Effluent	6.97	1,160	160	287	230	145	139	123	113	64	69	0.03
		%removal	-	-	-	93.42	93.65	47.27	93.76	16.32	5.04	-	31.68	70.00
12-Feb-51	227	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	270	3,157	140	119	45	79	0.08
		Effluent	6.98	1,260	120	160	93	130	160	108	25	34	77	0.03
		%removal	-	-	-	95.15	96.42	51.85	94.93	22.85	78.99	24.44	2.53	62.50
15-Feb-51	230	Influent	5.09	720	1,200	3,920	2,665	340	3,077	104	97	47	54	0.08
		Effluent	7.07	1,300	100	90	55	80	77	139	117	38	74	0.05
		%removal	-	-	-	97.70	97.93	76.47	97.49	-	-	19.14	-	37.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 10 วัน และ R=0%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
12-Jun-51	346	Influent	5.23	980	1,470	4,400	-	-	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.74	940	80	80	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.18	-	-	-	-	-	-	-	-
16-Jun-51	350	Influent	5.32	860	1,140	4,520	3,078	146	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.81	840	60	77	20	10	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.29	99.35	93.15	-	-	-	-	-	-
19-Jun-51	353	Influent	5.22	1,190	1,635	5,148	4,798	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.92	890	80	53	22	9	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.97	99.54	95.50	-	-	-	-	-	-
7-Jul-51	371	Influent	5.28	1,130	1,560	5,148	3,408	123	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.85	1,120	160	192	130	53	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.27	96.18	56.91	-	-	-	-	-	-
10-Jul-51	373	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.97	1,145	90	192	161	90	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.34	95.80	74.64	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	377	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.96	1,290	110	98	88	45	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.74	95.83	87.32	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-7 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
17-Jul-51	380	Influent	5.46	895	1,605	4,400	3,550	303	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	1,390	180	183	130	38	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.84	96.33	87.45	-	-	-	-	-	-
21-Jul-51	384	Influent	6.01	605	705	-	1,433	248	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.08	1,120	160	-	96	55	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	93.30	77.82	-	-	-	-	-	-
24-Jul-51	387	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	7.04	1,225	85	104	69	75	-	88	99	18	66	#N/A
		%removal	-	-	-	97.69	98.03	79.61	-	3.29	-	81.63	16.45	#N/A
25-Jul-51	388	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	140	178	104	#N/A
		Effluent	7.05	1,065	130	121	65	35	44	116	109	32	62	#N/A
		%removal	-	-	-	97.65	98.34	91.62	98.76	37.63	22.14	82.02	40.38	#N/A
26-Jul-51	389	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	41	179	115	#N/A
		Effluent	7.10	1,100	80	75	64	148	55	97	113	44	70	#N/A
		%removal	-	-	-	97.74	96.12	70.80	96.44	50.25	-	75.41	39.13	#N/A
31-Jul-51	394	Influent	5.84	560	720	5,536	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	7.17	865	140	190	102	55	44	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.46	96.30	90.13	97.99	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-7 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
1-Aug-51	395	Influent	5.30	955	1,238	4,090	3,207	335	2,782	-	-	-	-	-
		Effluent	6.90	980	120	131	46	72	60	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.79	98.56	78.61	97.84	-	-	-	-	-
2-Aug-51	396	Influent	5.25	-	-	4,859	-	310	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.00	-	-	88	-	46	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.18	-	85.16	-	-	-	-	-	-
3-Aug-51	397	Influent	5.48	-	-	5,100	-	227	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.18	-	-	175	-	44	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.56	-	81.93	-	-	-	-	-	-
4-Aug-51	398	Influent	5.67	-	-	6,811	-	420	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.14	-	-	118	-	38	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.26	-	90.95	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-8 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 5 วัน และ R=0%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
12-Jun-51	346	Influent	5.23	980	1,470	4,400	-	-	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.87	840	100	143	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.75	-	-	-	-	-	-	-	-
16-Jun-51	350	Influent	5.32	860	1,140	4,520	3,078	146	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.72	920	80	200	96	68	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.57	96.76	53.42	-	-	-	-	-	-
19-Jun-51	353	Influent	5.22	1,190	1,635	5,148	4,798	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.81	1,060	160	214	152	31	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.84	96.84	84.67	-	-	-	-	-	-
7-Jul-51	371	Influent	5.28	1,130	1,560	5,148	3,408	123	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.71	1,140	130	284	241	52	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	94.49	92.92	57.55	-	-	-	-	-	-
10-Jul-51	373	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.11	1,280	95	141	134	58	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.59	96.50	83.80	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	377	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.05	1,390	90	144	72	70	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.22	96.60	80.28	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-8 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
17-Jul-51	380	Influent	5.46	895	1,605	4,400	3,550	303	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.00	1,440	180	167	111	48	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.21	96.86	84.30	-	-	-	-	-	-
21-Jul-51	384	Influent	6.01	605	705	-	1,433	248	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.11	1,260	180	-	81	35	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	94.38	85.86	-	-	-	-	-	-
24-Jul-51	387	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	6.95	1,000	115	179	71	70	-	99	77	20	58	#N/A
		%removal	-	-	-	96.02	97.97	80.95	-	-	8.33	79.55	27.27	#N/A
25-Jul-51	388	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	186	178	104	#N/A
		Effluent	6.97	965	80	179	43	70	41	98	92	51	55	#N/A
		%removal	-	-	-	96.53	98.92	87.44	98.83	47.37	34.00	71.32	47.26	#N/A
26-Jul-51	389	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	195	179	115	#N/A
		Effluent	7.04	985	110	83	64	72	53	104	109	50	52	#N/A
		%removal	-	-	-	97.50	96.09	85.79	96.58	46.40	-	71.99	55.24	#N/A
31-Jul-51	394	Influent	5.84	560	720	5,356	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	6.81	1,000	105	239	196	70	115	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.53	92.91	87.44	94.81	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-8 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
1-Aug-51	395	Influent	5.30	955	1,238	4,090	3,207	335	2,782	-	-	-	-	-
		Effluent	6.76	980	70	179	137	58	153	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.62	95.72	82.59	94.48	-	-	-	-	-
2-Aug-51	396	Influent	5.25	-	-	4,859	-	310	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.98	-	-	179	-	60	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.34	-	80.65	-	-	-	-	-	-
3-Aug-51	397	Influent	5.48	-	-	5,100	-	227	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	-	-	154	-	29	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.52	-	87.21	-	-	-	-	-	-
4-Aug-51	398	Influent	5.67	-	-	6,811	-	420	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.10	-	-	92	-	24	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.64	-	94.29	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-9 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ที่ HRT 2.5 วัน และ R=0%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
12-Jun-51	346	Influent	5.23	980	1,470	4,400	-	-	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.86	920	180	456	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	89.64	-	-	-	-	-	-	-	-
16-Jun-51	350	Influent	5.32	860	1,140	4,520	3,078	146	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.04	980	160	461	287	88	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	89.80	90.69	39.73	-	-	-	-	-	-
19-Jun-51	353	Influent	5.22	1,190	1,635	5,148	4,798	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.94	1,150	200	608	439	74	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.18	90.85	63.00	-	-	-	-	-	-
7-Jul-51	371	Influent	5.28	1,130	1,560	5,148	3,408	123	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.87	1,190	110	211	187	54	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.90	94.53	55.92	-	-	-	-	-	-
10-Jul-51	373	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.08	1,250	180	582	477	130	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	85.89	87.57	63.38	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	377	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.09	1,390	80	360	282	113	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.06	86.63	68.31	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-9 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
17-Jul-51	380	Influent	5.46	895	1,605	4,400	3,550	303	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	1,340	165	434	237	145	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	90.15	93.33	52.07	-	-	-	-	-	-
21-Jul-51	384	Influent	6.01	605	705	-	1,433	248	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.92	1,050	140	-	224	115	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	84.34	53.54	-	-	-	-	-	-
24-Jul-51	387	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	6.93	895	130	576	336	120	-	59	92	42	58	#N/A
		%removal	-	-	-	87.22	90.40	67.35	-	35.38	-	57.37	26.62	#N/A
25-Jul-51	388	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	186	178	104	#N/A
		Effluent	6.93	920	115	444	157	128	210	111	99	104	55	#N/A
		%removal	-	-	-	91.37	96.01	69.50	94.09	41	29.50	41.69	47.26	#N/A
26-Jul-51	389	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	195	180	115	#N/A
		Effluent	7.07	1,045	105	208	137	98	159	119	86	75	45	#N/A
		%removal	-	-	-	93.75	91.72	80.66	89.74	38.85	-	57.90	61.27	#N/A
31-Jul-51	394	Influent	5.84	560	720	5,356	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	7.15	995	180	392	283	73	209	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.69	89.72	86.85	90.57	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-9 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
1-Aug-51	395	Influent	5.30	955	1,238	4,090	3,207	335	2,782	-	-	-	-	-
		Effluent	6.76	985	100	266	96	98	92	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.50	97.01	70.65	96.70	-	-	-	-	-
2-Aug-51	396	Influent	5.25	-	-	4,859	-	310	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.73	-	-	349	-	113	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.87	-	63.44	-	-	-	-	-	-
3-Aug-51	397	Influent	5.48	-	-	5,100	-	227	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.06	-	-	330	-	72	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.52	-	68.24	-	-	-	-	-	-
4-Aug-51	398	Influent	5.67	-	-	6,811	-	420	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.09	-	-	231	-	46	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.60	-	89.05	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-10 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน และ R=100%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,258	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.17	1,100	690	3,024	-	500	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	14.29	-	-	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.40	750	1,665	3,384	2,720	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.49	1,080	375	1,128	1,300	317	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	66.67	52.21	9.52	-	-	-	-	-	-
24-Jul-50	22	Influent	6.58	510	6980	3,264	404	170	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.37	1,470	1,080	816	1,010	265	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	75.00	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	175	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.39	1,640	80	594	157	175	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	76.69	93.84	-	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.55	1,280	40	800	500	165	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	77.78	84.38	29.79	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.64	1,280	120	1,253	627	95	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	62.96	76.18	52.50	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-10 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.92	1,160	80	368	204	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	87.50	91.67	62.26	-	-	-	-	-	-
23-Nov-50	113	Influent	5.88	460	780	2,448	1,983	320	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.80	380	80	204	128	70	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.67	93.57	78.13	-	-	-	-	-	-
10-Jan-51	192	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	760	90	70	80	30	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.97	96.46	92.59	-	-	-	-	-	-
25-Jan-51	207	Influent	5.37	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.02	840	80	185	117	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.32	96.51	68.25	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	210	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	820	100	105	103	65	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.47	95.74	80.60	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	217	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.87	900	100	266	64	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.84	97.63	50.82	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-10 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
8-Feb-51	221	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.92	980	80	161	57	30	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.31	98.42	89.09	-	-	-	-	-	-
12-Feb-51	225	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.89	1,060	120	128	67	60	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.12	97.42	80.95	-	-	-	-	-	-
19-Feb-51	232	Influent	5.29	920	1,350	2,592	2,208	445	1,782	104	84	76	69	0.10
		Effluent	6.77	1,040	140	205	28	110	135	111	101	45	62	0.03
		%removal	-	-	-	92.09	98.73	75.82	92.42	-	-	40.78	10.14	70.00
21-Feb-51	234	Influent	5.31	1,020	1,440	4,185	3,164	540	3,245	168	84	170	101	0.08
		Effluent	6.92	1,100	140	112	82	145	63	98	70	54	63	0.03
		%removal	-	-	-	97.32	97.40	73.15	98.05	41.66	16.67	68.23	37.62	62.50
29-Feb-51	242	Influent	5.74	1,040	1,140	3,600	2,800	475	3,027	182	165	108	82	0.08
		Effluent	6.98	1,120	80	160	90	105	76	101	98	45	66	0.03
		%removal	-	-	-	95.55	96.78	77.89	97.48	44.60	40.68	58.33	19.51	62.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-11 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน และ R=75%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,258	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.40	750	1,665	3,384	2,720	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.72	900	570	940	750	220	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	72.22	72.43	37.14	-	-	-	-	-	-
24-Jul-50	22	Influent	6.58	510	6980	3,264	404	170	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.34	780	920	1,224	566	235	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	62.50	-	-	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	175	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.39	1,000	40	792	157	95	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	68.72	93.84	45.71	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.71	1,060	20	600	800	70	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	83.33	75.00	70.21	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.96	900	60	1,755	251	85	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	48.15	90.46	57.50	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-11 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.83	1,060	90	552	1,020	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	81.75	58.33	62.26	-	-	-	-	-	-
23-Nov-50	113	Influent	5.88	460	780	2,448	1,983	320	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.95	380	60	122	77	45	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.00	96.14	85.94	-	-	-	-	-	-
10-Jan-51	192	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.84	840	480	702	677	140	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	78.04	70.00	65.43	-	-	-	-	-	-
25-Jan-51	207	Influent	5.37	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	920	330	518	422	150	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	86.91	87.40	52.38	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	210	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.27	780	100	158	82	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.06	96.59	70.15	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	217	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.05	900	100	518	48	95	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.82	98.22	68.85	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-11 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
8-Feb-51	221	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.08	940	100	158	48	60	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.38	98.67	78.18	-	-	-	-	-	-
12-Feb-51	225	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.99	1,020	180	96	53	65	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	97.09	97.96	79.37	-	-	-	-	-	-
19-Feb-51	232	Influent	5.29	920	1,350	2,592	2,208	445	1,782	104	84	76	69	0.10
		Effluent	6.91	1,060	120	109	28	60	84	106	105	31	60	0.03
		%removal	-	-	-	95.79	98.73	78.18	95.28	-	-	59.21	13.04	70.00
21-Feb-51	234	Influent	5.31	1,020	1,440	4,185	3,164	540	3,245	168	84	170	101	0.08
		Effluent	7.09	1,100	80	53	49	100	50	98	63	40	65	0.04
		%removal	-	-	-	98.73	98.45	81.48	98.45	41.66	25.00	76.47	35.64	50.00
29-Feb-51	242	Influent	5.74	1,040	1,140	3,600	2,800	475	3,027	182	165	108	82	0.08
		Effluent	7.21	1,100	80	147	70	48	56	102	99	33	66	0.04
		%removal	-	-	-	95.91	97.50	89.89	98.14	43.95	40.00	69.44	19.51	50.00

ตารางภาคผนวกที่ ก-12 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน และ R=50%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,258	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.45	920	330	1,764	-	250	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	50.00	-	16.67	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.40	750	1,665	3,384	2,720	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	4.47	1,080	360	752	400	110	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	77.78	85.29	68.57	-	-	-	-	-	-
24-Jul-50	22	Influent	6.58	510	6980	3,264	404	170	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.58	1,110	920	1,632	646	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	50.00	-	26.47	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	175	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.42	1,340	40	1,584	470	160	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	37.83	81.55	8.57	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.84	1,310	60	1,600	700	170	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	55.56	78.13	27.66	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.99	1,140	120	1,253	877	85	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	62.96	66.68	57.50	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-12 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.90	1,120	40	736	204	125	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	75.00	91.67	52.83	-	-	-	-	-	-
23-Nov-50	113	Influent	5.88	460	780	2,448	1,983	320	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.45	400	80	286	102	70	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.33	94.86	78.13	-	-	-	-	-	-
10-Jan-51	192	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.08	780	140	355	347	155	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.91	84.58	61.73	-	-	-	-	-	-
25-Jan-51	207	Influent	5.37	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.06	780	120	230	175	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	94.18	94.78	68.25	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	210	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.25	840	80	278	103	90	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.29	95.74	73.13	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	217	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.16	880	140	393	88	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	87.92	96.74	60.66	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-12 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
8-Feb-51	221	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.82	900	300	406	240	140	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	90.70	93.38	49.09	-	-	-	-	-	-
12-Feb-51	225	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.82	1,060	140	288	213	95	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	91.27	91.80	69.84	-	-	-	-	-	-
19-Feb-51	232	Influent	5.29	920	1,350	2,592	2,208	445	1,782	104	84	76	69	0.10
		Effluent	6.72	1,020	180	499	271	120	395	99	85	44	67	0.03
		%removal	-	-	-	80.74	87.72	73.63	77.83	4.80	-	42.10	2.89	70.00
21-Feb-51	234	Influent	5.31	1,020	1,440	4,185	3,164	540	3,245	168	84	170	101	0.08
		Effluent	6.78	1,060	180	217	242	135	239	98	49	36	62	0.03
		%removal	-	-	-	94.81	92.35	75.00	92.63	41.66	41.66	78.82	38.61	62.50
29-Feb-51	242	Influent	5.74	1,040	1,140	3,600	2,800	475	3,027	182	165	108	82	0.08
		Effluent	6.97	980	120	155	170	125	52	91	87	43	66	0.03
		%removal	-	-	-	95.69	93.92	73.68	98.28	50.00	47.27	60.18	19.51	62.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-13 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน และ R=25%

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
13-Jul-50	11	Influent	5.48	680	600	3,258	-	300	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.82	780	140	1,008	-	50	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	71.43	-	83.33	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	Influent	5.40	750	1,665	3,384	2,720	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	8.05	760	140	376	800	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	88.89	70.59	65.71	-	-	-	-	-	-
24-Jul-50	22	Influent	6.58	510	6980	3,264	404	170	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.86	720	780	816	242	110	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	75.00	40.10	35.29	-	-	-	-	-	-
1-Aug-50	30	Influent	5.46	790	530	3,564	2,548	175	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.40	1,030	20	396	735	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	84.46	71.15	31.43	-	-	-	-	-	-
8-Aug-50	37	Influent	5.43	890	870	3,600	3,200	235	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.70	960	40	1,600	1,000	140	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	55.56	68.75	40.43	-	-	-	-	-	-
17-Aug-50	46	Influent	5.49	960	1,155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	8.02	680	100	2,256	376	75	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	33.33	85.71	62.50	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-13 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1,515	2,944	2,448	265	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.96	990	20	1,104	510	110	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	62.50	79.17	58.49	-	-	-	-	-	-
23-Nov-50	113	Influent	5.88	460	780	2,448	1,983	320	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.79	500	80	449	153	100	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	81.67	92.28	68.75	-	-	-	-	-	-
10-Jan-51	192	Influent	5.73	1,020	1,710	3,196	2,256	405	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	720	100	215	197	55	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	93.28	91.25	86.42	-	-	-	-	-	-
25-Jan-51	207	Influent	5.37	920	1,530	3,960	3,348	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.19	820	160	317	185	130	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	92.00	94.47	58.73	-	-	-	-	-	-
28-Jan-51	210	Influent	5.44	880	1,230	3,196	2,412	335	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.19	880	180	526	298	120	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	83.53	87.63	64.18	-	-	-	-	-	-
4-Feb-51	217	Influent	5.46	940	1,530	3,255	2,700	305	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.12	1,020	140	340	104	105	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	89.55	96.15	65.57	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-13 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
8-Feb-51	221	Influent	5.27	1,000	1,170	4,368	3,626	275	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.13	1,040	100	166	229	145	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.19	93.68	47.27	-	-	-	-	-	-
12-Feb-51	225	Influent	5.42	1,060	1,440	3,300	2,600	315	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.02	1,120	120	144	80	95	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.63	96.92	69.84	-	-	-	-	-	-
19-Feb-51	232	Influent	5.29	920	1,350	2,592	2,208	445	1,782	104	84	76	69	0.10
		Effluent	6.93	1,060	100	122	69	125	38.00	104	99	31	70	0.03
		%removal	-	-	-	95.29	96.87	72.53	97.87	-	-	59.21	-	70.00
21-Feb-51	234	Influent	5.31	1,020	1,440	4,185	3,164	540	3,245	168	84	170	101	0.08
		Effluent	7.19	1,140	140	127	57	120	78	98	77	44	66	0.06
		%removal	-	-	-	96.96	98.19	77.78	97.59	41.66	8.33	74.11	34.65	25.00
29-Feb-51	242	Influent	5.74	1,040	1,140	3,600	2,800	475	3,027	182	165	108	82	0.08
		Effluent	7.52	1,140	60	126	80	125	78	105	97	31	52	0.06
		%removal	-	-	-	96.50	97.14	73.68	97.42	42.30	41.21	71.29	36.58	25.00

ตารางภาคผนวกที่ ก-14 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน และ R=0% (หลังฤดูวางผลดีไป)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
12-Jun-51	346	Influent	5.23	980	1,470	4,400	-	-	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.82	880	120	136	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.90	-	-	-	-	-	-	-	-
16-Jun-51	350	Influent	5.32	860	1,140	4,520	3,078	146	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.99	920	100	181	124	26	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.00	95.97	82.19	-	-	-	-	-	-
19-Jun-51	353	Influent	5.22	1,190	1,635	5,148	4,798	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.94	940	70	75	46	26	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.54	99.04	87.00	-	-	-	-	-	-
7-Jul-51	371	Influent	5.28	1,130	1,560	5,148	3,408	123	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.71	950	70	124	91	58	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	97.59	97.32	52.84	-	-	-	-	-	-
10-Jul-51	373	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.06	1,345	70	582	110	47	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	85.90	97.13	86.76	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	377	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.98	1,060	140	113	97	45	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.25	95.41	87.32	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-14 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
10-Jul-51	373	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.06	1,345	70	582	111	47	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	85.90	97.10	86.76	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	377	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.98	1,060	140	113	97	45	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.25	95.41	87.32	-	-	-	-	-	-
17-Jul-51	380	Influent	5.46	895	1,605	4,400	3,550	303	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.83	1,130	140	137	115	43	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.88	96.76	85.80	-	-	-	-	-	-
21-Jul-51	384	Influent	6.01	605	705	-	-	248	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.99	1,050	140	-	-	60	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	-	75.80	-	-	-	-	-	-
24-Jul-51	388	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	6.85	1,110	65	101	42	60	-	99	75	21	58	#N/A
		%removal	-	-	-	97.75	98.80	83.61	-	-	10.71	78.57	26.58	#N/A
25-Jul-51	389	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	140	178	104	#N/A
		Effluent	7.01	1,090	140	113	93	63	24	111	100	33	59	#N/A
		%removal	-	-	-	97.80	97.63	85.92	99.32	40.32	28.57	81.46	43.26	#N/A

ตารางภาคผนวกที่ ก-14 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
26-Jul-51	389	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	41	179	115	#N/A
		Effluent	7.10	1,040	90	119	40	54	81	97	102	44	52	#N/A
		%removal	-	-	-	96.42	97.57	89.34	94.76	50.25	-	75.41	78.26	#N/A
31-Jul-51	394	Influent	5.84	560	720	5,356	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	6.95	1,010	134	257	175	70	106	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	95.20	93.65	87.45	95.20	-	-	-	-	-
1-Aug-51	395	Influent	5.30	955	1,238	4,090	3,207	335	2,782	-	-	-	-	-
		Effluent	6.68	930	130	207	111	60	124	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	94.93	96.53	82.08	95.54	-	-	-	-	-
2-Aug-51	396	Influent	5.25	-	-	4,859	-	310	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.68	-	-	172	-	33	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.46	-	89.35	-	-	-	-	-	-
3-Aug-51	397	Influent	5.48	-	-	5,100	-	227	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.97	-	-	157	-	21	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	96.92	-	90.74	-	-	-	-	-	-
4-Aug-51	398	Influent	5.67	-	-	6,811	-	420	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.96	-	-	132	-	49	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	98.06	-	88.33	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-15 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียจากป้อมหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง
ยุงทอง

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
18-Jan-51	-	Influent	5.29	670	1,010	3,300	242	350	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.53	700	330	800	580	330	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	75.76	76.11	5.71	-	-	-	-	-	-
19-Jan-51	-	Influent	5.35	1,350	920	2,592	2,800	640	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.90	1,340	540	1,478	800	460	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	42.96	71.43	28.13	-	-	-	-	-	-
16-Feb-51	-	Influent	5.31	860	200	3,700	-	325	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.03	1,750	280	1,013	-	285	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	72.61	-	13.31	-	-	-	-	-	-
20-Mar-51	-	Influent	6.46	1,130	780	4,500	3,440	770	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.86	1,300	180	1,027	890	175	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	77.19	75.29	77.27	-	-	-	-	-	-
23-Mar-51	-	Influent	6.21	1,570	1,260	3,350	2,320	675	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.87	1,340	180	893	420	380	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	73.33	81.90	43.70	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-16 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง
 ยุงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
12-Jun-51	-	Influent	5.23	980	1,470	4,400	-	-	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.49	1,000	390	1,200	-	-	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	72.72	-	-	-	-	-	-	-	-
16-Jun-51	-	Influent	5.32	860	1,140	4,520	3,078	146	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.38	1,060	540	2,260	1,112	43	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	50.00	63.87	70.54	-	-	-	-	-	-
19-Jun-51	-	Influent	5.22	1,190	1,635	5,148	4,798	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.56	1,130	450	644	556	47	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	87.49	88.41	76.51	-	-	-	-	-	-
7-Jul-51	-	Influent	5.28	1,130	1,560	5,148	3,408	123	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.45	1,370	390	1,337	1,176	173	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	74.02	65.49	-	-	-	-	-	-	-
10-Jul-51	-	Influent	5.30	1,250	1,898	4,128	3,840	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.71	990	540	1,104	1,056	138	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	73.25	72.50	61.12	-	-	-	-	-	-
14-Jul-51	-	Influent	5.57	610	1,088	3,015	2,115	355	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.68	1,420	443	1,395	765	308	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	53.73	63.82	13.23	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-16 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
17-Jul-51	-	Influent	5.46	895	1,605	4,400	3,550	303	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.75	1,345	675	1,550	1,238	143	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	64.77	65.12	52.80	-	-	-	-	-	-
21-Jul-51	-	Influent	6.01	605	705	-	-	248	-	-	-	-	-	-
		Effluent	6.83	1,400	540	-	-	200	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	-	-	19.35	-	-	-	-	-	-
24-Jul-51	-	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	6.61	1,320	405	1,323	821	215	-	167	136	179	80	#N/A
		%removal	-	-	-	70.65	76.56	41.57	-	-	-	-	-	#N/A
25-Jul-51	-	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	140	178	103	#N/A
		Effluent	6.76	1,395	1,395	1,187	825	140	549	170	101	211	80	#N/A
		%removal	-	-	-	76.95	78.98	66.50	84.55	8.60	27.85	-	22.33	#N/A
26-Jul-51	-	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	41	179	115	#N/A
		Effluent	6.82	1,010	990	1,248	513	282	437	159	132	155	40	#N/A
		%removal	-	-	-	62.50	68.90	44.37	71.75	18.46	-	13.40	65.21	#N/A
31-Jul-51	-	Influent	5.84	560	720	5,356	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	6.74	1,220	623	1,898	1,417	205	921	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	64.56	48.58	63.26	58.36	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-16 (ต่อ)

Day	Date		pH	Alkalinity	VFA	TCOD	SCOD	SS	BOD ₅	TKN	NH ₄ ⁺ -N	SO ₄ ²⁻	TP	NO ₃ ⁻
24-Jul-51	-	Influent	5.42	1,030	1,433	4,508	3,504	368	-	91	84	98	79	#N/A
		Effluent	6.61	1,320	405	1,323	821	215	-	167	136	179	80	#N/A
		%removal	-	-	-	70.65	76.56	41.57	-	-	-	-	-	#N/A
25-Jul-51	-	Influent	5.43	1,285	2,130	5,151	3,925	418	3,554	186	140	178	104	#N/A
		Effluent	6.76	1,395	1,395	1,187	825	140	549	170	101	211	780	#N/A
		%removal	-	-	-	76.95	78.98	66.50	84.55	8.60	27.85	-	23.07	#N/A
26-Jul-51	-	Influent	5.90	610	630	3,328	1,650	507	1,547	195	41	179	115	#N/A
		Effluent	6.82	1,010	990	1,248	513	282	437	159	132	155	40	#N/A
		%removal	-	-	-	62.50	68.90	44.37	71.75	18.46	-	13.40	65.21	#N/A
31-Jul-51	-	Influent	5.84	560	720	5,356	2,756	558	2,212	-	-	-	-	-
		Effluent	6.74	1,220	623	1,898	1,417	205	921	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	64.56	48.58	63.26	58.36	-	-	-	-	-
1-Aug-51	-	Influent	5.30	955	1,238	4,090	3,207	335	2,782	-	-	-	-	-
		Effluent	6.45	1,320	488	1,591	972	223	1,161	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	61.10	69.69	33.43	58.26	-	-	-	-	-

ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MABR และ MCL ที่ HRT และสัดส่วนเวลาการสูบลย้อนกลับ (R_i) ระดับต่าง ๆ

ตารางภาคผนวกที่ ก-17 ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MABR ที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ด้วย R=100%, 50% และ 0%

Day	Date	R=100%			Day	Date	R=50%			Day	Date	R=0%		
		HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d			HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d			HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d
22-Aug-50	24	6.93	6.76	12.66	24-Jan-51	0	-	-	-	11-Jun-51	13	-	44.59	-
25-Aug-50	27	6.33	-	-	25-Jan-51	1	12.20	46.54	77.50	12-Jun-51	14	8.00	59.17	-
28-Aug-50	30	4.83	2.29	-	26-Jan-51	2	11.00	34.00	82.50	13-Jun-51	15	4.68	25.50	16.26
31-Aug-50	33	6.10	-	14.80	27-Jan-51	3	13.33	38.70	71.00	14-Jun-51	16	7.00	-	-
11-Sep-50	44	6.66	8.676	30.02	28-Jan-51	4	12.50	34.40	66.52	16-Jun-51	18	-	25.00	50.21
14-Sep-50	47	6.81	9.60	22.30	29-Jan-51	5	11.00	32.27	70.43	17-Jun-51	19	6.00	38.56	75.93
19-Sep-50	52	3.33	4.00	13.01	30-Jan-51	6	11.74	29.00	72.00	18-Jun-51	20	7.00	30.20	115.90
22-Sep-50	55	4.56	10.13	19.83	31-Jan-51	7	11.15	35.21	73.56	19-Jun-51	21	8.50	68.47	120.35
28-Sep-50	61	12.48	20.00	32.66	1-Feb-51	8	10.80	20.67	-	20-Jun-51	22	18.76	67.11	119.26
4-Oct-50	66	7.83	13.70	15.66	2-Feb-51	9	10.80	20.67	-	21-Jun-51	23	12.50	-	90.20
7-Oct-50	69	6.80	13.00	15.97	3-Feb-51	10	10.80	20.67	-	22-Jun-51	24	10.87	65.22	86.10
10-Oct-50	72	4.33	9.76	18.00	4-Feb-51	11	12.65	37.06	84.00	23-Jun-51	25	-	66.10	88.34
13-Oct-50	75	8.36	12.53	20.16	5-Feb-51	12	16.30	33.48	67.00	30-Jun-51	32	9.86	51.29	72.61
16-Oct-50	78	6.66	17.62	14.88	6-Feb-51	13	16.90	35.00	63.75	2-Jul-51	34	10.13	52.00	70.50
19-Oct-50	81	5.82	13.92	14.81	7-Feb-51	14	21.10	50.80	76.00	6-Jul-51	38	12.35	54.65	73.80
3-Nov-50	95	2.46	9.66	11.43	8-Feb-51	15	24.00	48.00	78.00	7-Jul-51	39	14.30	56.70	76.44

ตารางภาคผนวกที่ ก-17 (ต่อ)

Day	Date	R=100%			Day	Date	R=50%			Day	Date	R=0%		
		HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d			HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d			HRT 10d	HRT 5d	HRT 2.5d
12-Nov-50	102	4.33	7.33	14.00	9-Feb-51	16	25.40	49.70	73.20	8-Jul-51	40	-	61.36	80.60
15-Nov-50	105	5.10	-	15.13	10-Feb-51	17	17.50	34.33	58.15	9-Jul-51	41	9.86	65.40	77.32
18-Nov-50	108	8.21	15.13	14.53	11-Feb-51	18	18.58	33.10	55.74	10-Jul-51	42	10.13	62.68	82.15
24-Nov-50	114	4.00	19.62	11.47	12-Feb-51	19	18.00	36.35	56.55	11-Jul-51	43	12.35	57.40	78.47
27-Nov-50	117	6.43	17.65	15.00	13-Feb-51	20	22.70	45.50	74.15	12-Jul-51	44	14.30	59.40	80.12
30-Nov-50	120	5.93	6.67	17.83	14-Feb-51	21	22.30	45.10	69.00	13-Jul-51	45	-	-	-
1-Dec-50	122	6.68	19.38	16.03	15-Feb-51	22	22.55	44.15	68.20	14-Jul-51	46	10.50	48.76	77.45
4-Dec-50	125	7.93	18.43	16.13						15-Jul-51	47	9.80	50.10	78.54
7-Dec-50	128	4.33	11.33	32.02						16-Jul-51	48	10.56	47.35	80.20
10-Dec-50	131	5.66	12.71	27.23						17-Jul-51	49	13.46	46.20	75.60
22-Dec-50	143	10.44	13.62	20.00						18-Jul-51	50	10.24	48.59	74.53
25-Dec-50	146	11.33	15.43	21.88						19-Jul-51	51	12.00	50.10	68.00
28-Dec-50	149	5.51	12.00	14.70						20-Jul-51	52	12.68	48.50	67.40
31-Dec-50	152	4.40	-	17.16						21-Jul-51	53	13.20	45.80	65.30
6-Jan-51	157	10.33	15.71	20.95						22-Jul-51	54	12.00	46.70	68.35
10-Jan-51	161	5.88	14.00	14.50						23-Jul-51	55	13.40	45.00	72.76
										24-Jul-51	56	10.45	40.23	55.68
										25-Jul-51	57	10.00	42.65	57.40
										26-Jul-51	58	10.24	44.50	64.75
										27-Jul-51	59	12.48	43.42	67.20

ตารางภาคผนวกที่ ก-18 ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MCL ที่ HRT 30 วัน ด้วย R=100%, 75%, 50%, 25% และ 0%

Day	Date	R=100%	R=75%	R=50%	R=25%	Day	Date	R=0%*
24-Jan-51	174	2.28	-	-	-	19-Jun-51	21	5.00
25-Jan-51	175	1.64	-	-	-	20-Jun-51	22	6.68
26-Jan-51	176	1.23	1.00	1.32	-	21-Jun-51	23	5.45
27-Jan-51	177	1.44	1.20	3.00	1.65	22-Jun-51	24	5.10
28-Jan-51	178	1.94	2.45	2.22	1.94	23-Jun-51	25	4.89
29-Jan-51	179	2.08	2.77	2.60	2.05	30-Jun-51	32	6.00
30-Jan-51	180	3.59	2.21	1.94	1.53	2-Jul-51	34	4.46
31-Jan-51	181	3.16	1.89	2.27	-	6-Jul-51	37	4.70
3-Feb-51	184	4.30	2.05	-	2.20	7-Jul-51	38	4.83
4-Feb-51	185	2.09	2.30	2.38	2.48	8-Jul-51	39	4.55
5-Feb-51	186	5.00	2.22	2.34	2.20	9-Jul-51	40	4.52
6-Feb-51	187	3.60	2.30	2.46	3.28	10-Jul-51	41	4.64
7-Feb-51	188	3.94	2.46	4.80	3.60	11-Jul-51	42	4.35
8-Feb-51	189	2.29	2.80	4.75	3.28	12-Jul-51	43	4.40
9-Feb-51	190	5.07	3.00	5.00	3.30	13-Jul-51	44	4.10
10-Feb-51	191	4.60	2.65	5.40	3.52	14-Jul-51	45	4.24
11-Feb-51	192	4.84	3.30	3.83	2.66	15-Jul-51	46	4.35
12-Feb-51	193	3.16	2.33	3.60	3.52	16-Jul-51	48	4.40
13-Feb-51	194	3.30	2.00	3.00	3.33	17-Jul-51	49	4.45

* หลังฤดูยางผลัดใบ

ตารางภาคผนวกที่ ก-18 (ต่อ)

Day	Date	R=100%	R=75%	R=50%	R=25%	Day	Date	R=0%*
14-Feb-51	195	3.80	2.60	3.15	3.50	18-Jul-51	50	4.65
15-Feb-51	196	3.66	2.50	3.50	3.50	19-Jul-51	51	4.65
16-Feb-51	197	3.49	2.33	4.00	3.00	20-Jul-51	52	4.34
17-Feb-51	198	3.74	2.00	3.10	3.16	21-Jul-51	53	4.56
18-Feb-51	199	4.00	1.85	3.00	2.80	22-Jul-51	54	4.23
19-Feb-51	200	2.00	2.36	2.72	3.16	23-Jul-51	55	4.20
23-Feb-51	204	4.72	2.15	3.07	4.00	24-Jul-51	56	3.85
24-Feb-51	205	4.35	2.20	3.27	3.27	25-Jul-51	57	3.65
25-Feb-51	206	5.00	2.50	3.80	3.50	26-Jul-51	58	3.78
26-Feb-51	207	4.38	2.00	3.60	3.00	27-Jul-51	59	4.10
27-Feb-51	208	3.80	2.18	3.45	3.12			

* หลังฤดูยางผลัดใบ

ภาคผนวก ข

การคำนวณอัตราส่วนการสูบกลับน้ำทิ้งของระบบ MCL และ MABR

1. การคำนวณอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MCL

การหาอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MCL โดยทำการจับเวลาเพื่อวัดปริมาณในการสูบน้ำเสียเข้าระบบที่เวลาต่างๆ ซึ่งค่าที่วัดได้ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ จ-1

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ปริมาณน้ำเสียที่วัดได้ในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อเวลาของระบบ MCL

ครั้งที่	ปริมาณน้ำเสีย (ml)	เวลา (s)	ปริมาณการสูบน้ำเสียย้อนกลับ	
			L/min	L/hr
1	150	10.36	0.87	52.12
2	120	10.39	0.69	41.58
3	140	10.43	0.81	48.32
เฉลี่ย	136.67	10.39	0.79	47.34

1) คำนวณเวลาในหน่วยนาที (min)

1.1) ปริมาณน้ำเสีย 150 ml ที่เวลา 10.36s

$$= \frac{150\text{ml}}{10.36\text{s}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 868.73 \text{ ml/min}$$

$$= 0.87 \text{ L/min}$$

1.2) ปริมาณน้ำเสีย 120 ml ที่เวลา 10.39s

$$= \frac{120\text{ml}}{10.39\text{s}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 692.97 \text{ ml/min}$$

$$= 0.69 \text{ L/min}$$

1.3) ปริมาณน้ำเสีย 140 ml ที่เวลา 10.43s

$$= \frac{140\text{ml}}{10.43\text{s}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 805.37\text{ml/min}$$

$$= 0.81 \text{ L/min}$$

2) คำนวณเวลาในหน่วยชม.

2.1) ปริมาณน้ำเสีย 0.87 L/min

$$= \frac{0.87L}{1 \text{ min}} \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| = 52.12 \text{ L/hr}$$

2.2) ปริมาณน้ำเสีย 0.69 L/min

$$= \frac{0.69L}{1 \text{ min}} \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| = 41.58 \text{ L/hr}$$

2.3) ปริมาณน้ำเสีย 0.81 L/min

$$= \frac{0.81L}{1 \text{ min}} \left| \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right| = 48.32 \text{ L/hr}$$

3) คำนวณปริมาณการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

3.1) ที่ $R_t=100\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 20 hr/d) คิดเป็น Recycle flow rate (L/d)

$$\text{จะได้} = 47.34 \text{ L/hr} \times 20 \text{ hr/d} = 946.83 \text{ L/d}$$

3.2) ที่ $R_t=75\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 15 hr/d) คิดเป็น Recycle flow rate (L/d)

$$\text{จะได้} = 47.34 \text{ L/hr} \times 15 \text{ hr/d} = 710.12 \text{ L/d}$$

3.3) ที่ $R_t=50\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 10 hr/d) คิดเป็น Recycle flow rate (L/d)

$$\text{จะได้} = 47.34 \text{ L/hr} \times 10 \text{ hr/d} = 473.41 \text{ L/d}$$

3.4) ที่ $R_t=25\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 5 hr/d) คิดเป็น Recycle flow rate (L/d)

$$\text{จะได้} = 47.34 \text{ L/hr} \times 5 \text{ hr/d} = 236.71 \text{ L/d}$$

4) คำนวณหาอัตราการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_v) ของระบบ MCL

$$R_v = \frac{\text{Recycle flow rate (L/d)}}{\text{Influent flow rate (L/d)}}$$

โดยมี Influent flow rate ของระบบ MCL เท่ากับ 16.8 L/d

$$\begin{array}{rcl} 4.1) R_v \text{ ของ } R_t=100\% \text{ จะได้} & \frac{946.83 \text{ L/d}}{16.8 \text{ L/d}} & \\ & R_v & = 56.36 \end{array}$$

$$4.2) R_v \text{ ของ } R_t=75\% \text{ จะได้} \quad 710.12 \text{ L/d}$$

$$\frac{16.8 \text{ L/d}}{R_v = 42.27}$$

$$4.3) R_v \text{ ของ } R_t=50\% \text{ จะได้ } \frac{473.41 \text{ L/d}}{16.8 \text{ L/d}} \\ R_v = 28.18$$

$$4.4) R_v \text{ ของ } R_t=25\% \text{ จะได้ } \frac{236.71 \text{ L/d}}{16.8 \text{ L/d}} \\ R_v = 14.09$$

2. การคำนวณอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MABR

การหาอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MABR ได้ทำการวัดระดับน้ำเสียลดลงในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับในระบบต่อเวลา ซึ่งได้ค่าดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ จ-2

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 ระดับน้ำเสียที่ลดลงต่อเวลาของระบบ MABR

ระดับน้ำเสียที่ ลดลง (cm)	เวลา (s)	ระดับน้ำเสียที่ลดลง* (cm/min)	ระดับน้ำเสียที่ลดลง** (L/min)	ระดับน้ำเสียที่ลดลง** (L/hr)
0.50	91.12	0.32	0.24	14.40
0.50	103.67	0.28	0.21	12.60
0.50	111.47	0.26	0.19	11.40
0.60	118.51	0.30	0.22	13.20
เฉลี่ย			0.22	12.90

*คำนวณระดับน้ำเสียที่ลดลงในถังปฏิกรณ์ที่ระดับ 1cm

$$1) \text{ เวลา } 91.12 \text{ s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง } 0.50 \text{ cm} \\ = \frac{0.50 \text{ cm} \mid 60 \text{ s}}{91.12 \text{ s} \mid 1 \text{ min}} \\ = 0.32 \text{ cm/min}$$

$$2) \text{ เวลา } 103.67 \text{ s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง } 0.50 \text{ cm} \\ = \frac{0.50 \text{ cm} \mid 60 \text{ s}}{103.67 \text{ s} \mid 1 \text{ min}} \\ = 0.28 \text{ cm/min}$$

3) เวลา 111.47 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.50 cm

$$= \frac{0.50 \text{ cm}}{111.47 \text{ s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$= 0.26 \text{ cm/min}$$

4) ในเวลา 118.51 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.60 cm

$$= \frac{0.60 \text{ cm}}{118.51 \text{ s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$= 0.30 \text{ cm/min}$$

****คำนวณระดับน้ำเสียที่ลดลงในถังปฏิกิริยาในหน่วย (L)**

คำนวณปริมาตรน้ำเสียจากรัศมี (r) ของท่อพีวีซี 15.24 cm ที่ความสูง 1cm จากสูตร

$$\begin{aligned} V &= \pi r^2 h \\ &= 3.14 \times (15.24 \text{ cm})^2 \times 1 \text{ cm} \\ &= 729.28 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรน้ำเสียที่ความสูง 1cm มีค่าเท่ากับ 729.28 cm^3 หรือเท่ากับ 0.729 L

1) ที่ระดับน้ำเสีย 0.32 cm จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ $0.729 \text{ L} \times 0.32 \text{ cm} = 0.24 \text{ L/min} = 14.40 \text{ L/hr}$

2) ที่ระดับน้ำเสีย 0.28 cm จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ $0.729 \text{ L} \times 0.28 \text{ cm} = 0.21 \text{ L/min} = 12.60 \text{ L/hr}$

3) ที่ระดับน้ำเสีย 0.26 cm จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ $0.729 \text{ L} \times 0.26 \text{ cm} = 0.19 \text{ L/min} = 11.40 \text{ L/hr}$

4) ที่ระดับน้ำเสีย 0.30 cm จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ $0.729 \text{ L} \times 0.30 \text{ cm} = 0.22 \text{ L/min} = 13.20 \text{ L/hr}$

หาค่าเฉลี่ยจากปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ $14.40 + 12.60 + 11.40 + 13.20 = 51.60/4 = 12.90 \text{ L/hr}$

3. คำนวณปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

1) คำนวณปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

4.1.1) ที่ $R_t=100\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 20 hr/d) คิดเป็น

Recycle flow rate (L/d)

$$\text{ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ} = 12.90 \text{ L/hr} \times 20 \text{ hr/d} = 258.00 \text{ L/d}$$

4.1.2) ที่ $R_t=50\%$ (ใช้เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 10 hr/d) คิดเป็น

Recycle flow rate (L/d)

$$\text{ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ} = 12.87 \text{ L/hr} \times 10 \text{ hr/d} = 129.00 \text{ L/d}$$

2) คำนวณหาอัตราการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_v) ของระบบ MABR ที่ HRT และ R ต่าง ๆ

หาค่า R_v จากสมการ

$$R_v = \frac{\text{Recycle flow rate (L/d)}}{\text{Influent flow rate (L/d)}}$$

โดยมี Influent flow rate ของระบบ MABR ภายใต้อัตรา HRT 10, 5 และ 2.5 วัน เท่ากับ 20.4, 40.8 และ 81.6 L/d

5.1) ที่ HRT 10 วัน

$$\begin{array}{r} 5.1.1) R_v \text{ ของ } R_t=100\% \text{ จะได้ } \frac{258.00 \text{ L/d}}{20.4 \text{ L/d}} \\ R_v = 12.64 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5.1.2) R_v \text{ ของ } R_t=50\% \text{ จะได้ } \frac{129.00 \text{ L/d}}{20.4 \text{ L/d}} \\ R_v = 6.32 \end{array}$$

5.2) ที่ HRT 5 วัน

$$\begin{array}{r} 5.2.1) R_v \text{ ของ } R_t=100\% \text{ จะได้ } \frac{258.00 \text{ L/d}}{40.8 \text{ L/d}} \\ R_v = 6.32 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5.2.2) R_v \text{ ของ } R_t=50\% \text{ จะได้ } \frac{129.00 \text{ L/d}}{40.8 \text{ L/d}} \\ R_v = 3.16 \end{array}$$

5.3) ที่ HRT 2.5 วัน

$$\begin{array}{r} 5.3.1) R_v \text{ ของ } R_t=100\% \text{ จะได้ } \frac{258.00 \text{ L/d}}{81.6 \text{ L/d}} \\ R_v = 3.16 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5.3.2) R_v \text{ ของ } R_t=50\% \text{ จะได้ } \frac{129.00 \text{ L/d}}{81.6 \text{ L/d}} \\ R_v = 1.58 \end{array}$$

ภาคผนวก ค

จัดประชุมเผยแพร่โครงการ

กำหนดการประชุมครั้งที่ 5 (1/2552)

เครือข่ายจัดการความรู้ยางพารา จ.สงขลา

เรื่อง การสร้างแบบจำลองราคายางแผ่น และเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงรมควันยางแผ่น
ใน จ.สงขลา

วันศุกร์ที่ 23 มกราคม 2551 เวลา 09.00 – 16.30 น.

ห้องประชุม สกย. เขต 1

ความเป็นมา

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง จ.สงขลา เขต 1 และเขต 2 ได้ร่วมกับสำนักประสานงานชุดโครงการ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในการจัดตั้งเครือข่ายจัดการความรู้ยางพารา จ.สงขลา โดยมีสมาชิก 22 คน ดังในเอกสารแนบ 1 และมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความรู้ด้วยกระบวนการวิจัย ในการพัฒนาธุรกิจรมควันยางแผ่นของสหกรณ์กองทุนสวนยาง โดยนำปัญหาและโอกาสจากพื้นที่มาแลกเปลี่ยนและนำมาสร้างเป็นโจทย์วิจัย

การประชุมครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2551 ได้นำเสนอแนวคิดในการใช้การจัดการความรู้เพื่อการฝึกทำวิจัย และมีการระดมความคิดเห็นหาโจทย์ ได้ประเด็นทำวิจัยได้ 4 ประเด็น คือ ด้านเทคโนโลยี ด้านการจัดการและตลาด ด้านการผลิต/การปลูก/การจัดการสวน และด้านสังคม โดยมีหัวข้อวิจัยที่พอจะเป็นไปได้ 17 เรื่อง ดังในเอกสารแนบ 2

การประชุมครั้งที่ 2 เมื่อวันศุกร์ที่ 19 กันยายน 2551 ได้มีการนำเสนอวิธีการจัดทำข้อเสนอโครงการ ซึ่งประกอบด้วย ความสำคัญ วัตถุประสงค์ วิธีการวิจัย แผนการดำเนินงาน ผลที่คาดว่าจะได้รับ งบประมาณ เอกสารอ้างอิง และประวัติผู้ทำวิจัย นอกจากนี้ได้ข้อสรุปจะทำวิจัย 2 เรื่องคือ แบบจำลองทำนายราคายางพารา และการเปรียบเทียบเชิงสมรรถนะของสหกรณ์กองทุนสวนยาง ใน จ.สงขลา

การประชุมครั้งที่ 3 เมื่อวันจันทร์ที่ 10 พฤศจิกายน 2551 โครงการวิจัยเรื่องแบบจำลองทำนายราคายางพารา ได้มีการนำเสนอความก้าวหน้าของการรวบรวมข้อมูลและมอบหมายผู้เกี่ยวข้องไปรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม ดังในเอกสารแนบ 3 โครงการเรื่อง การเปรียบเทียบเชิงสมรรถนะของสหกรณ์กองทุนสวนยาง ใน จ.สงขลา ได้มีการกำหนดข้อมูลที่จะนำมาสร้างเป็นดัชนีชี้วัด เพื่อให้ผู้รับผิดชอบดำเนินการเก็บจากจากโรงรมทั้งหมดที่ดำเนินการในจังหวัดสงขลา สปว.ยางพารา ฉาย VDO เรื่องสุนทรียสนทนา ของดร.วรภัทร์ ภูเจริญ เพื่ออธิบายเทคนิคการฟังแบบลึก

การประชุมครั้งที่ 4 เมื่อวันศุกร์ที่ 19 ธันวาคม 2551 เป็นการนำเสนอความก้าวหน้าของการวิจัย 2โครงการ คือ แบบจำลองทำนายราคายางแผ่นรมควัน และการเปรียบเทียบสมรรถนะสหกรณ์กองทุนสวนยางในจ.สงขลา ปรากฏว่า มีความก้าวหน้าไม่มาก เนื่องจากฝน

ตกมาในช่วงนี้ โรงรมคว้นส่วนใหญ่หยุดผลิต กลุ่มจัดการความรู้จึงนำเรื่องการใช้สารเร่งน้ำยางมาเป็นประเด็นในการสร้างโจทย์วิจัยใหม่ เนื่องจากการใช้สารเร่งมีผลดีมากกว่า ข้อมูลเบื้องต้นจากการโค่นต้นยางเพื่อดูเนื้อไม้ของสวนที่ใช้สารเร่งมาเกือบ 9 ปี ได้แสดงให้เห็นว่า เนื้อไม้ที่ได้มีสภาพปกติเหมือนไม้จากต้นยางที่ไม่ใช้สารเร่ง การใช้สารเร่งน้ำยางมีข้อดี คือ (1) จะช่วยลดภาระการกรีต คือกรีตน้อยลง (2) หนากรีตจะใช้ได้นานขึ้น เนื่องจากใช้รอยกรีดสั้นและจำนวนครั้งของการกรีตต่อปีน้อยลง (3) เปลี่ยนวิถีชีวิตการกรีตจากไปในทิศที่ดีขึ้น คือ กรีตหัวค้ำเก็บน้ำยางตอนเช้า ไม่ต้องตื่นหัวรุ่ง (4) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยเทคโนโลยีแทนการขยายพื้นที่ปลูก และ (5) สามารถใช้การควบคุมปริมาณสารเร่งน้ำยางในการควบคุมผลผลิตได้ระดับหนึ่ง การประชุมครั้งต่อไปจะนำเสนอการเขียนข้อเสนอโครงการเรื่องนี้

วัตถุประสงค์ของการประชุม

- เพื่อนำเสนอความก้าวหน้าของโครงการสร้างแบบจำลองราคาอย่างแม่นยำรมคว้นสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยาง และโครงการการเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงรมคว้นยางแผ่นของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา
- เพื่อเขียนข้อเสนอโครงการ การศึกษาการใช้สารเร่งน้ำยางในการเพิ่มผลผลิตสำหรับเกษตรกรสวนยางรายย่อย
- เพื่อเสวนางานวิจัยเรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงรมคว้นยางแผ่น

ผู้เข้าร่วมประชุม

- บุคลากรสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง จ.สงขลา 20 ท่าน
- คุณสุรพล ผันเขียว
- บุคลากรสำนักประสานงาน การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา

วันเวลาและสถานที่

วันศุกร์ที่ 23 มกราคม 2522 เวลา 09.00 – 16.30 น. ณ ห้องประชุม สกย. เขต 1

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้สนับสนุนให้การวิจัย 2 เรื่องคือ แบบจำลองราคาอย่างแม่นยำรมคว้นและการเปรียบเทียบสมรรถนะโรงรมคว้นยางแผ่นจังหวัดสงขลา มีความก้าวหน้าไปในทิศทางที่ถูกต้อง
- ได้ร่วมจัดเสวนาผลงานวิจัยเรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงรมคว้นยางแผ่น เพื่อการถ่ายทอดสู่สหกรณ์กองทุนสวนยาง
- ได้ข้อเสนอโครงการใหม่ 1 เรื่อง คือ การศึกษาการใช้สารเร่งน้ำยางในการเพิ่มผลผลิตสำหรับเกษตรกรสวนยางรายย่อย

กำหนดการประชุม

09.00 - 09.30 น.	เปิดประชุม
09.30 - 10.30 น.	นำเสนอข้อมูลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราคายาง เพื่อสร้างแบบจำลอง ราคายางแผ่นรมควัน
	โดยนายสุชัทศน์ ต่างวิริยะกุล และคณะ
10.30 - 11.30 น.	นำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์สมรรถนะของโรงรมในจังหวัดสงขลา โดยว่าที่ร้อยตรีศุภชัย จันทร์แก้ว และคณะ
11.30 - 12.00 น.	นำเสนอความก้าวหน้าของการเขียนข้อเสนอโครงการ การศึกษาการ ใช้สารเร่งน้ำยาง
12.00 - 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน
13.00 - 13.30 น.	ลงทะเบียนประชุมเสวนา เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรง รมควันยางแผ่น
13.30 - 14:00 น.	บรรยายเรื่อง ทฤษฎีการผลิตก๊าซชีวภาพ โดย ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ม.สงขลา
	นครินทร์
14:00 - 15:30 น.	เสวนาเรื่อง ศักยภาพการใช้ก๊าซชีวภาพในสหกรณ์กองทุนสวนยาง โดย ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ ตัวแทนจากสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านยุงทอง
15:30 น.	สรุปและปิดการเสวนา
15:30 - 16:30 น.	ประชุมสังเคราะห์และสรุปผลการเสวนา สำหรับกลุ่มการจัดการความรู้

เอกสารแนบ 1 : สมาชิกเครือข่ายจัดการความรู้ยางพารา ใน จ.สงขลา

<u>ผู้ร่วมประชุม</u>	<u>โทรศัพท์</u>	<u>สถานที่ทำงาน</u>	<u>อีเมล</u>
1. นายพนม นิยม	089-9791306	สภย. สงขลา เขต 1	
2. นายวินิจ จิระรัตน์	089-9791307	สภย.สงขลา เขต 2	
3. คุณสุรพล ฝั้นเชียร	081-3977609	สภย.กรุงเทพฯ	
4. นายโสภณ สุทธินันท์	081-7675207	สภย.อ.หาดใหญ่	
5. ว่าที่ร.ต.ศุภชัย จันทรแก้ว	081-9691985	สภย.อ.เมืองสงขลา	
6. นายประภาส เหล่าจีนวงศ์	081-5410645	สภย.อ.สะบ้าย้อย	ploajeenwong@yahoo.com
7. นายสมมิตร สุวรรณพรรค	086-7783398	สภย. อ.นาทวี	
8. นายวีระพันธ์ ดวงแป้น	083-1687829	สภย. อ.สะเดา	
9. นายจรัญ อาษาพันธ์	0 8 5 - 58662377	สภย.สงขลา เขต 2	Jarun_963852147@hotmail.com
10. นายประภา ชูมี	084-7061524	สภย. อ.เทพา	
11. นายคารม คงยก	086-2925534	สภย. อ.เทพา	
12. นายสุทัศน์ ต่างวิริยะกุล	085-0805254	สภย. สงขลา เขต 1	sukatus@hotmail.com
13. นายสมพล ศรีถกล	081-8972230	สภย. อ.นาทวี	Sp2393@hotmail.com sp2393@chaiyo.com
14. นายประสาธ ศรีวิโรจน์	087-2954995	สภย.สงขลา เขต 2	ptasart.s@hotmail.com
15 นายสมชัย เสนีย์มโนมัย	086-2852858	สภย.สงขลา เขต 1	
16. นายประภาส เสถียรรังษะดี	089-9786008	สภย. อ.จะนะ	
17. นายธาวี สุวรรณพานิช	086-2990365	สภย. อ.จะนะ	
18. นายวิโชค พรหมคงบุญ	081-9598212	สภย. อ.รัตภูมิ	
19. นายสันติศักดิ์ ฐานกาญจน์	081-2775098	สภย. อ.รัตภูมิ	
20. รศ.ไพโรจน์ คีรีรัตน์	081-9692492	สพว.ยางพารา	pairaj.k@psu.ac.th
21. น.ส.ขวัญฤทัย วงษ์สวัสดิ์	074-446523	สพว.ยางพารา	trfrubber@gmail.com
22. น.ส.ศมพรัตน์ ขุนทิพย์	074-446523	สพว.ยางพารา	trfrubber@gmail.com

เอกสารแนบ 2 : สรุปโจทย์วิจัยจากการประชุมครั้งที่ 1/2551

1. ด้านเทคโนโลยี

- การใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการอบแห้งยางแผ่น
- ศึกษาผลการพัฒนาโรงรมควันของสหกรณ์
- การทำยาง compound
- แบบจำลองทำนายราคาขายเพื่อการตัดสินใจ
- ระบบเผาไหม้ (เตาเผาไม้ฟืน) ประสิทธิภาพสูง
- การผลิตยางเครฟในชุมชนเพื่อเป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมยางแท่ง

2. ด้านการจัดการ / การตลาด

- ตลาดน้ำยางสด
- รูปแบบการทำธุรกิจของสหกรณ์
- ช่องทางขายยาง
- ศึกษาประสิทธิภาพการบริหารจัดการสหกรณ์กองทุนในจ.สงขลา

3. ด้านการผลิต / การปลูก / การจัดการสวน

- การใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุน
- เปรียบเทียบผลการปลูกยางแบบต่าง ๆ
- ผลการกรีดยางตอนเย็น
- เปรียบเทียบการเปิดกรีดที่ความยาว 50 cm, 60 cm และ 70 cm

4. ด้านสังคม

- การประยุกต์หลักเศรษฐกิจพอเพียง (ความรู้ คุณธรรม) สู่การเป็นชุมชนเข้มแข็ง อันเป็นแนวทางลดความยากจน
- ศึกษาปัญหาเชิงโครงสร้างของสหกรณ์กองทุนสวนยางจากทัศนคติของสมาชิกสู่การหาแนวทางแก้ไข
- ปัจจัยการสร้างกลุ่มเข้มแข็งจากกลุ่มธรรมชาติการรวมกลุ่มน้ำยางสด สู่การพัฒนา กลุ่มผลิตยางแผ่นรมควัน

เอกสารแนบ 3 : สรุปผลการประชุมครั้งที่ 3/2551 วันที่ 10 พฤศจิกายน 2551

1. โครงการ แบบจำลองราคาอย่างแผ่นรมควันสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยาง

โครงการนี้อยู่ระหว่างการดำเนินการรวบรวมข้อมูล โดยมีสมมติฐานว่า ราคาอย่างแผ่นรมควันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว เช่น ราคาภายในตลาดกลาง ในตลาดต่างประเทศ ในตลาดล่วงหน้า ราคาน้ำมัน ราคาทอง อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศผู้ใช้อย่าง อัตราแลกเปลี่ยนเงิน ผลผลิตยาง ฤดูกาล และอื่น ๆ

ตลาดยางพารา แม้ราคาอย่างจะขึ้นกับ ผลผลิต และความต้องการใช้อย่าง แต่ก็มีกลไกของตลาด เช่น ตลาด TOCOM ตลาด SICOM ซึ่งเป็นตลาดของผู้ใช้อย่าง ที่เป็นกลไกควบคุมราคาภายในห้องตลาด ดังนั้นปัจจัยของราคาอย่างที่กำหนดโดยตลาดดังกล่าวจึงส่งผลต่อราคาภายในตลาดท้องถิ่น ในประเทศไทยมีตลาดยาง 3 ลักษณะ คือ ตลาดยางท้องถิ่น ตลาดกลาง ซึ่งมีตลาดกลางขนาดใหญ่ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และอื่น ๆ และตลาดซื้อขายล่วงหน้า (AFET) ตลาดกลางขนาดใหญ่ซื้อขายยางประมาณ 128,000 ตันต่อปี ประมาณร้อยละ 4 ของยางที่ผลิตได้ (3.17 ตันต่อปี) ตลาดกลางขนาดใหญ่เป็นตลาดที่ขึ้นนำราคาอย่างภายในประเทศ ซึ่งทำให้ค่อนข้างน่าเป็นห่วง เพราะราคาอาจบิดเบือนไปจากความเป็นจริงได้

ตลาดซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า (AFET) เป็นตลาดที่ไม่ได้ซื้อขายกันจริง มีการส่งมอบผ่านตลาดนี้น้อยมาก ตลาดนี้ใช้สำหรับรักษาความเสถียรของราคาอย่าง และเป็นแหล่งเก็งกำไรและใช้ประกันความเสี่ยงของผู้ซื้อขายบริษัทเอกชน ดูเหมือนเกษตรกรจะไม่ค่อยได้ประโยชน์จากตลาดนี้ ซึ่งไม่ทำให้ราคาอย่างเสถียรได้ เนื่องจากผู้ซื้อขายต้องการให้ราคาอย่างเปลี่ยนแปลงมาก ๆ ซึ่งส่งผลต่อกำไรในการลงทุน ซึ่งสวนทางกับความต้องการของเกษตรกรหรือผู้ผลิตราย ตลาดซื้อขายยางล่วงหน้า (AFET) ได้ถอดแบบมาจากตลาดญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นตลาดของผู้ซื้อขาย ไม่ใช่ตลาดสำหรับผู้ผลิตราย จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ตลาดนี้ไม่ได้สนับสนุนเกษตรกรอย่างแท้จริง

ความต้องการใช้อย่าง มีการพยากรณ์ไว้ว่า ในปี 2563 โลกผลผลิตยางพาราไม่พอใช้เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยกำลังหาตัวเลขการใช้อย่างของคนหนึ่งคน แต่ก็มีตัวเลขการเจริญเติบโตของอินเดียที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ได้ทำให้อินเดียใช้อย่างมากขึ้นเช่นเดียวกันจีนทั้งนี้เพราะในประเทศจีนเป็นการเจริญทางเศรษฐกิจของคนชั้นกลางทำให้ใช้อย่างมากขึ้น

ตลาดทองคำ สามารถสืบค้นข้อมูลละเอียดได้จากสมาคมผู้ค้าทอง ตลาดทองคำมีสองประเภท คือ ตลาดทองแท่ง และตลาดทองรูปพรรณ ตลาดทองแท่งเป็นตลาดของการซื้อเพื่อการลงทุน การประกันความเสี่ยง และใช้ในการสำรองทางคลัง

คนจะซื้อทองเมื่อเศรษฐกิจไม่มั่นคง ในช่วงเศรษฐกิจดีทองจะราคาลดลงเมื่อราคาสูง แต่ในช่วงนี้เศรษฐกิจไม่ดี ราคาทองน่าจะสูงแต่กลับราคาลดลง เพราะสหภาพยุโรปพยายามทองคำสำรองเพื่ออัมเศรษฐกิจของประเทศที่ทรุดลง

น้ำมัน เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ยางมีราคาเปลี่ยนแปลงตาม กลุ่มวิจัยจะเลือกใช้ราคาน้ำมันดิบ เป็นตัวแปรในแบบจำลองราคาอย่างแผ่นรมควัน

ราคายางในประเทศ ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม ราคายางแผ่นในท้องถิ่นจะมีราคาต่ำกว่าเดือนอื่นในทุกปี จึงเป็นช่วงที่น่าสนใจเก็บสต็อกยางไว้ขาย และราคายางจะสูงมากในเดือนมิถุนายน ในปี 2551 ราคายางลดลงเนื่องจาก Hamburger Crisis ทำให้อุตสาหกรรมผลิตยางล้อรถยนต์ชะลอตัวลง เพราะรถยนต์ลดการผลิตลง 200,000 คันต่อปี ซึ่งจะกระทบกับยางแท่ง คือ ยางแผ่นรมควันและยางแท่ง ส่วนน้ำยางข้นน่าจะไม่ได้รับผลกระทบมากเท่ากับยางแท่ง

วิกฤติราคายางครั้งนี้ต้องตามดูทั้งราคายางน้ำและราคายางแท่ง แต่ราคายางลดลงมากจนน่าเป็นห่วงและไม่ยุติธรรมกับชาวสวน ได้มีการคุยกันเรื่องแก้ปัญหาราคายาง พอสรุปได้ว่ามีปริมาณยางล้นตลาด ควรหามาตรการลดปริมาณยางโดย (1) ลดการกรีดยาง ซึ่งทำได้ยาก (2) สนับสนุนการโค่นสวนยางให้ลดลงปีละ 400,000 ไร่ และ (3) ใช้โครงการจำนำยางพาราเช่นเดียวกับ ข้าว มันสำปะหลัง

ประเทศไทยได้เตรียมความพร้อมในการสต็อกยางในยางวิกฤติแล้ว เนื่องจากได้สร้างโกดังไว้รองรับยางถึง 126 โรง ซึ่งยังไม่เคยใช้ ๑ โรงรมยางสหกรณ์กองทุนสวนยาง 5 โรงต่อโรงเก็บ 1 โรง ดังนั้นฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องควรนำเรื่องนี้มาคุยกัน เพราะการสต็อกยางจะเป็นมาตรการที่ดีที่สุด ดีกว่าการเก็บยางไว้กับต้นยาง ทั้งนี้ต้องใช้เงินทุนและการจัดการ แล้วทยอยขายออกเมื่อยางราคาสูงขึ้น ทั้งนี้ต้องมีโมเดลช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องนี้ แบบจำลองราคายางแผ่นรมควันก็จะเป็นข้อมูลหนึ่งในระบบการตัดสินใจเกี่ยวกับการเก็บสต็อกยาง

ราคายางตกต่ำ คงส่งผลและสร้างความเดือดร้อนให้แก่ชาวสวนและแรงงานกรีดยาง จึงน่าจะมียางวิจัยที่สามารถทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อหามาตรการช่วยเหลือกลุ่มคนที่ได้รับความเดือดร้อนมากที่สุดก่อน

ถอดบทเรียน การจัดตั้งสหกรณ์กองทุนสวนยางเกือบ 700 โรง เป็นจุดเปลี่ยนของเกษตรกรชาวสวนยาง แต่เราไม่ได้มีการประเมินในเชิงลึกและครอบคลุมว่า การลงทุนโรงรมละ 3-4 ล้านบาทในอดีตได้ส่งผลกระทบอย่างไรบ้าง วันนี้ควรถอดบทเรียนจากกลุ่มที่ดำเนินธุรกิจยางแผ่นรมควันประสบความสำเร็จ ว่าได้ประโยชน์อะไรบ้าง ซึ่งมีองค์ความรู้มากมายฝังอยู่ที่กลุ่มต่าง ๆ เหล่านี้

โครงการนี้ได้มอบหมายงานการรวบรวมข้อมูลให้ผู้เกี่ยวข้อง ดังนี้

คุณสมพล	รวบรวมข้อมูลราคายางตั้งแต่ปี 45-49 เฉลี่ยรายเดือน ราคาน้ำมัน, ราคาทองคำเฉลี่ยแต่ละเดือน
คุณสุทัศน์	รวบรวมข้อมูลราคายางในตลาด APET ปริมาณยางสังเคราะห์ ผลผลิต ปริมาณยาง, การใช้ ราคายางสังเคราะห์

คุณสมบัติ	รวบรวมข้อมูลราคายางของตลาดกลางหาดใหญ่ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3) อัตราแลกเปลี่ยนเงินดอลลาร์ เงินเยน และเงินหยวน เฉลี่ยเป็นเดือน
คุณกรรม	ข้อมูลการ Stock ยาง
คุณประภาส	เก็บข้อมูล GDP ของประเทศผู้ใช้ คือ อเมริกา ญี่ปุ่น จีน
คุณประภา	หาความสัมพันธ์ราคายางในรอบปี และหาข้อมูลเพิ่มเติมราคายางในตลาด TOCOM SICOM

2. โครงการ การเปรียบเทียบสมรรถนะโรงรมควันยางแผ่นของสหกรณ์กองทุนสวนยาง ใน จ.สงขลา

การพัฒนากระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันได้สำเร็จนั้น ต้องอาศัยข้อมูลและข้อเท็จจริงของการผลิตในปัจจุบัน นำมาตีแผ่เพื่อนำเสนอให้ผู้บริหารโรงรมได้รับทราบ อันจะนำไปสู่การสร้างความตระหนัก และเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในภายหลัง

วิธีการเปรียบเทียบสมรรถนะ ซึ่งอาจจะทำในธุรกิจเดียวกัน หรือธุรกิจต่างกันได้ก็ได้ ถูกใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพของการผลิต

โครงการนี้ สรุปว่า จะเก็บข้อมูลจากทุกโรงรม ในหนึ่งอาทิตย์ เพื่อนำข้อมูลมาใช้เปรียบเทียบกัน ด้วยดัชนี 7 ตัว ดังนี้

- ยางแห้ง (กก.) / (น้ำยางแห้งที่ซื้อ กก.)
- ไม้ฟืน (กก.) / ยางแห้ง (กก.)
- ยางเสีย (กก.) / ยางแห้ง (กก.)
- แรงงาน (บาท) / ยางแห้ง (กก.)
- วัสดุเคมี (กก.) / ยางแห้ง (กก.)
- พลังงานไฟฟ้า (kW-h) + น้ำมัน (ลิตร) / ยางแห้ง
- ค่าขนส่ง (บาท) / ยางแห้ง

กำหนดส่งข้อมูลให้คุณสุภชัย ในวันที่ 12 ธ.ค. 2551 เพื่อรวบรวมข้อมูล และจัดทำลงบนฐานข้อมูล สำหรับการประชุมในครั้งต่อไป คือ ในวันที่ 19 ธันวาคม 2551

3. โจทย์วิจัยใหม่

ศึกษาวิธีการทำงานที่ดีหรือวิธีการจัดการที่ดีของกลุ่มยางพารา

การรวมกลุ่มมีทั้งแบบธรรมชาติ และแบบจัดตั้ง ทำให้เกิดกลุ่มซื้อขายน้ำยางสด และกลุ่มผลิตยางแผ่นรมควัน แต่ละกลุ่มมีวิธีการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ตามที่กลุ่มคิดขึ้นมา เช่น การประกันราคายาง 30 วัน เป็นต้น จึงควรรวบรวมและสังเคราะห์เป็นต้นแบบของวิธีการที่เหมาะสม เพื่อเป็นโมเดลให้กลุ่มอื่นได้ออกเรียนแบบและนำไปใช้

นอกจากนี้อาจศึกษาถึงต้นทุนทางสังคม คุณภาพชีวิต การจัดสรรผลประโยชน์ และการจัดการที่ดี เช่น การซื้อขายยางแบบกงสี ที่เน้นความเป็นเพื่อนมากกว่าความเป็นธุรกิจ

แนวทางการใช้ก๊าซชีวภาพในโรงรมควันยางแผ่น

มีงานวิจัยของสกว. โดยดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ ซึ่งทดลองหมักก๊าซจากน้ำที่สกก.บ้านยูงทอง และในห้องปฏิบัติการ ได้ข้อมูลพอจะอธิบายได้ จึงควรมีงานวิจัยต่อเพื่อการขยายผลของความรู้เรื่องนี้ เพื่อให้เกิดขึ้นเต็มพื้นที่จังหวัดสงขลา สิ่งที่ได้อันดับแรกคือ การลดมลภาวะกลิ่นเหม็นจากโรงงาน และได้ความร้อนเสริมจากก๊าซชีวภาพที่ได้

ประเมินผลกระทบจากยางราคาต่ำ

ยางราคาต่ำ จะส่งผลกระทบในวงกว้าง แต่คนที่เกี่ยวข้องอยู่ในห่วงโซ่จะได้รับผลกระทบไม่เท่ากัน วิฤติยางในคราวนี้น่าจะมีงานวิจัยติดตามเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคนในกลุ่มต่าง ๆ รวมถึงความรุนแรงที่ได้รับ เพื่อหามาตรการแก้ไขต่อไป

เอกสารแนบ 4 : สรุปผลการประชุมครั้งที่ 4/2551 วันที่ 19 ธันวาคม 2551

1. ความก้าวหน้าของโครงการวิจัย

1.1 โครงการ แบบจำลองราคาขายแผ่นนมควินสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยาง

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ แต่ยังไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่ง

1.2 โครงการ การเปรียบเทียบสมรรถนะของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากทุกโรงรม แต่ยังไม่ได้ทดลองวัดการใช้ไม้พินจริง ๆ เนื่องจากฝนตกหนัก โรงรมหยุดการผลิต จึงทำให้ยังได้ข้อมูลไม่ครบ ยังต้องใช้เวลาอีกหนึ่งเดือน

2. ข้อเสนอโครงการวิจัยใหม่ เรื่อง การใช้สารเร่งน้ำยาง

สารเร่งน้ำยางที่ใช้กันมี 2 ชนิด คือ รีมโฟร์ และ LET-1 โดย Let-1 ได้พัฒนาเทคโนโลยีการใช้ที่เหนือกว่ารีมโฟร์ คือ ใช้งานได้ง่าย ไม่ต้องพึ่งการติดกาว และผู้ใช้สามารถอัดก๊าซเอทิลีนได้เองแทนพนักงานของบริษัท

การใช้สารเร่ง LET-1 มา 9 ปี ปรากฏว่า เนื้อไม้ยังมีสภาพปกติ เหมือนไม้จากต้นยางที่ไม่ใช้สารเร่ง จากข้อมูลการโค่นต้นยางที่ผ่านการใช้สารเร่งมา 9 ปี

สรุปได้ว่า การใช้สารเร่งน้ำยางไม่ทำให้เนื้อไม้เสียหาย ประหยัดน้ำหนักเพราะใช้เปลือกน้อยกว่าการกรีดในระบบปกติ แต่ต้องให้เวลากับการไหลของน้ำยางมากกว่า จึงสามารถกรีดตอนเย็นเก็บน้ำยางตอนเช้าได้ ช่วงฝนตกก็สามารถกรีดได้

แนวทางการเพิ่มผลผลิตยางในประเทศอาจไม่จำเป็นต้องพึ่งการขยายพื้นที่ปลูกเพียงอย่างเดียว ควรหันมาพึ่งเทคโนโลยีแทน เช่น การใช้สารเร่งน้ำยาง

การวิจัยเรื่องการใช้สารเร่งนี้ มีปัจจัย 3 ปัจจัยที่จะศึกษา คือ ชนิดของสารเร่ง วิธีการใช้ที่ถูกต้อง และผลผลิต ซึ่งรวมไปถึงระยะเวลาในการค้ำทุ่น โดยใช้การสำรวจจากสวนยางที่ใช้สารเร่ง เปรียบเทียบกับสวนยางที่ไม่ใช้สารเร่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจของเกษตรกร

งานวิจัยที่จะต้องดำเนินการขนานไปกับโครงการนี้ คือ การสังเคราะห์สารเร่งน้ำยางทดแทนการนำเข้า การพัฒนาวิธีการใช้สารเร่งให้มีประสิทธิภาพและง่ายขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเร่ง

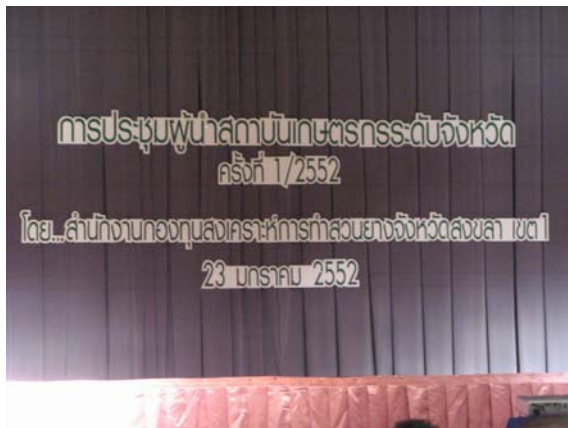
3. อื่น ๆ

ปัญหาการพัฒนาอย่างพาราของประเทศ คือ ความสามารถในการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีให้แก่เกษตรกร ซึ่งเป็นข้อโหล่งที่สำคัญในสายโหล่งของการผลิต จึงจำเป็นต้องมีศูนย์เรียนรู้เรื่องยางพาราที่ติดไปกับศูนย์การเรียนรู้ของชุมชน หรือพัฒนาแหล่งเรียนรู้ยางพาราให้มีศักยภาพ เช่นเดียวกับ โรงเรียนชานา

ดังนั้น กลุ่มการจัดการความรู้ยางพาราจังหวัดสงขลา จะหยิบยกประเด็นของแหล่งเรียนรู้ มาเป็นหัวข้อในการพูดคุยต่อไป

ภาคผนวก ง

บรรยายการประชุมผู้นำสถาบันเกษตรกรระดับจังหวัด ครั้งที่ 1/2552





ภาคผนวก จ

สื่อเอกสารการนำเสนอปิดโครงการวิจัย



การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง



ผศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์
นางสาวอศรา รังงาม

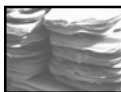
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์
คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ม.สงขลานครินทร์

1

ที่มาและความสำคัญ



➔





2



- ☐ ยางแผ่นมีคุณภาพต่ำ
- ☐ ปี พ.ศ. 2535-2536 เกิดภาวะราคายางตกต่ำ

3

รัฐบาลสนับสนุนการสร้างโรงรมควันยางแผ่น

ปี พ.ศ. 2537 จำนวน 300 โรง

ปัจจุบันมี 695 โรง

ปี พ.ศ. 2538 จำนวน 400 โรง

เกษตรกร

➔

สหกรณ์กองทุนสวนยาง

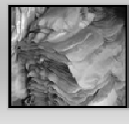
4



➔



➔



↓



5

ปัญหาขยะอุตสาหกรรมเครื่องเดิมอากาศ

น้ำเสีย ➔ บ่อน้ำบำบัดขั้นต้น ➔ บ่อเติมอากาศ 1 ➔ บ่อเติมอากาศ 2 ➔ บ่อต้ง ➔ น้ำทิ้ง

น้ำเสีย ➔ บ่อน้ำบำบัดขั้นต้น ➔ บ่อหมักไร้อากาศ ➔ บ่อเติมอากาศ ➔ บ่อต้ง ➔ น้ำทิ้ง

(a)
(b)

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 (a) และปี พ.ศ. 2538 (b)
ที่มา : ชาญชัย สดุดี และคณะ, 2548

6