ประสิทธิภาพของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ สำหรับบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

Efficiency of Modified Covered Lagoon Digester and Modified Anaerobic Baffled Reactors Treating Wastewater from Cooperative Smoked Rubber Sheet Factory

อิศรา รักงาม

Eitsara Rukaham

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ สำหรับบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ผู้เขียน นางสาวอิศรา รักงาม

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา)

.....กรรมการ

(ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ สำหรับบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง
ผู้เขียน	นางสาวอิศรา รักงาม
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการหมักหมมในบ่อบำบัดน้ำเสีย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactor, MABR) และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester, MCL) ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง โดยระบบ MABR ประกอบด้วยถังปฏิกิริยาจำนวน 3 ใบมาเรียงต่อกัน มีปริมาตรใช้งานรวม 204 L และระบบ MCL ทำจากถังพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 ใบมาเชื่อมต่อกัน มีปริมาตรใช้งานรวม 504 Lและเริ่มต้นเดินทั้ง 2 ระบบโดยใช้มูลสุกรเป็นเชื้อตั้งต้น ทำการเดินระบบ MABR ภายใต้เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) 10, 5 และ 2.5 วัน โดยกำหนดอัตราการกวนผสมด้วยสัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) 3 ระดับคือ 100% (สูบน้ำเสียย้อนกลับตลอดเวลา), 50% (สูบน้ำเสียย้อนกลับครึ่งหนึ่งของระยะเวลาแต่ละรอบ) และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) และเดินระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ด้วย R_t 5 ระดับคือ 100%, 75%, 50%, 25% และ 0% จากนั้นเลือกสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละระบบมาใช้เดินระบบเพื่อติดตามการตอบสนองการฟื้นตัวกลับหลังจากหยุดป้อนน้ำเสียเข้าระบบเพื่อจำลองสถานการณ์การหยุดผลิตในช่วงยางผลัดใบ ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำทั้ง 2 ระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ผลจากการทดลองพบว่า ระบบ MABR ที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุดเฉลี่ย 97.7% (ที่ R_t=0%), 97.3% (ที่ R_t=0%) และ 95.4% (ที่ R_t=50%) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ R_t ระดับต่างๆ ในแต่ละ HRT และที่ R_t=50% ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 22.5, 44.9 และ 70.5 L/d ที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ตามลำดับ ขณะที่องค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดที่ R_t=0% โดยที่สภาวะ HRT 10, 5 และ 2.5 วันมีค่าเท่ากับ 63.7%, 72.8% และ 71.1% ตามลำดับ

ระบบ MCL เดินระบบที่ HRT 30 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ยเท่ากับ 95.0%, 96.4%, 95.3%, 96.3% และ 97.1% ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% ตามลำดับ และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ R_t ระดับต่างๆ เช่นเดียวกับระบบ MABR ในส่วนอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2, 2.5, 3.0, 2.8, 3.9 L/d ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดที่ R_t=0% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70.6%

เพื่อศึกษาผลการตอบสนองในการฟื้นตัวต่อการหยุดเดินระบบในช่วงฤดูยางผลัดใบได้หยุดป้อนน้ำเสียเข้าระบบเป็นเวลา 3 เดือน จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์น้ำทิ้งของระบบทั้งสองหลังจากระบบเริ่มเดินได้ 21 วัน พบว่าทั้งสองระบบยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้สูง โดย pH, VFA และ Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบทั้งสองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบบำบัดไร้อากาศ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% เฉลี่ยเท่ากับ 97.7%, 97.3% และ 94.3% ตามลำดับ และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% เฉลี่ยเท่ากับ 97.1% หลังจากระยะเวลาฟื้นตัวดังกล่าว

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่าระบบ MCL มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำกว่าระบบ MABR รวมทั้งมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่สูงกว่า ในกรณีที่ไม่รวมค่าที่ดิน และพบว่าระบบทั้งสองที่ทำการศึกษามีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบ่อแบบเดิมของสหกรณ์โรงอบ/รมยางทั้งรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2538 และยังสามารถได้ก๊าซชีวภาพนำไปใช้การอบยางอีกด้วย

Thesis Title	Efficiency of Modified Covered Lagoon Digester and Modified Anaerobic Baffled Reactors Treating Wastewater from Cooperative Smoked Rubber Sheet Factory
Author	Miss Eitsara Rukaham
Major Program	Environment Management
Academic Year	2008

ABSTRACT

Production of rubber smoked sheets produces wastewater with high organic content, which typically generates offensive odor from biochemical degradation in the wastewater pond. This research aims to investigate the efficiency and optimal conditions for biogas production from Modified Anaerobic Baffled Reactors (MABR) and Modified Covered Lagoon Digester (MCL) treating wastewater from cooperative smoked rubber sheet factory (CRSF) in pilot scale. The MABR system consists of 3 cylindrical reactors connected in series with a total volume of 204 liters while the MCL system consists of 2 rectangular tanks with a total volume of 504 liters. Pig manure was seeded to the reactors at start-up. The MABR systems were operated at hydraulic retention time (HRT) 10, 5 and 2.5 days at 3 levels of recycle period ratios (R_t) for mixing purpose; 100% (continuous recycle pumping), 50% (recycle pumping on and off at equal time interval), and 0% (no recycle pumping). Meanwhile, MCL systems were operated at HRT 30 days under 5 levels of R_t; 100%, 75%, 50%, 25% and 0%. Optimal conditions were then selected to operate the system after system shutdown to imitate rubber smoked sheet production halting during leave shedding season in order to monitor system recovery. Afterwards, preliminary economic evaluation of the 2 systems to be built at CRSF were carried out.

The results show that MABR operated at HRT 10, 5 and 2.5 days had the maximum TCOD removal efficiencies of 97.7%, 97.3%, and 95.4% at R_t=0%, 0%, and 50%, respectively. No significant difference in COD removal efficiency was detected among the different R_t levels at each HRT. Biogas production rate was highest at R_t=50%; averaged 22.5, 44.9, and 70.5 L/d for HRT 10d, 5d, and 2.5d in order. Methane composition in biogas was highest under undisturbed environment R_t=0% at 63.7%, 72.8% and 71.1% in order.

MCL systems operated at HRT 30 days achieved the maximum TCOD removal efficiencies of 95.0%, 96.4%, 95.3%, 96.3% and 97.1% at R_t=100%, 75%, 50%, 25% and 0% respectively. Similar to MABR, no significant difference in TCOD removal efficiency was detected among the different R_t levels. Biogas production rate were 2.2, 2.5, 3.0, 2.8 and 3.9 L/d at R_t=100%, 75%, 50%, 25% and 0% in order. Methane composition in biogas was found highest at no recycle pumping (R_t=0%) at 70.6%.

To study the response to system shutdown, feeding was stopped for 3 months imitating leave shedding period. Effluents of both systems were analyzed after wastewater feeding was resumed for 21 days. It was found that both systems could still have high organic removal efficiency. Effluent pH, VFA, and alkalinity of the systems were within each respective operational range for anaerobic process. MABR operated at HRT 10d, 5d, and 2.5d under R_t=0% showed the TCOD removal efficiencies of 97.7%, 97.3%, and 94.3%, while MCL at HRT 30d and R_t=0% could remove TCOD at 97.1%.

Preliminary economic evaluation shows that without cost of land property, MCL was cheaper than MABR in terms of construction with slightly better organic removal efficiency. Both studied systems have a better performance compared to the existing pond systems in the cooperative rubber sheet factory both the built-model of 1994 and 1995. Moreover, biogas generated could be utilized for rubber smoking process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความกรุณาอย่างสูงในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ไขตรวจสอบข้อบกพร่อง และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์จากคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนาลี ชีวกิดาการ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ ดร.ปิยะรัตน์ บุญแสวง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุกูล อินทระสังขา ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง หมู่ 3 ต. ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการทดลอง

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมรุ่นที่ 17 และคุณกัญญารัตน์ สฤษฎ์พงศ์ทีรฆ ที่ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา การเก็บตัวอย่างตลอดจนกำลังใจและความช่วยเหลือในงานวิจัยมาด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเป็นแรงบันดาลใจและให้กำลังใจในการต่อสู้กับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อิศรา รักงาม

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการตารางภาคผนวก	(14)
รายการภาพประกอบ	(18)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(22)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	4
1.3 วัตถุประสงค์	26
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	26
1.5 ขอบเขตการวิจัย	27
2 วิธีการวิจัย	28
2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	28
2.1.1 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	28
2.1.2 การสร้างระบบหมักไร้อากาศ	28
2.1.2.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์	28
2.1.2.2 การทำงานของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์	33
2.1.2.3 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	34
2.1.2.4 การทำงานของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	34
2.1.3 การเริ่มต้นระบบ (Start-up)	36
2.1.4 แผนการทดลองเดินระบบ MABR และ MCL	36
2.1.5 ประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำระบบ MABR และ MCL เพื่อไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	37

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.1.6 การศึกษาก๊าซชีวภาพ	37
	2.1.7 ความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบหมักไร้อากาศ	39
	2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	40
	2.3 วัสดุ	41
	2.2 อุปกรณ์	41
3	ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	43
	3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	43
	3.2 ผลการทดลองระยะที่ 1	45
	3.2.1 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) ของระบบ MABR	45
	3.2.2 ผลการทดลองของระบบ MABR	46
	3.2.3 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) ของระบบ MCL	69
	3.2.4 ผลการทดลองของระบบ MCL	70
	3.2.5 ประสิทธิภาพการทำงานของบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	89
	3.3 ผลการทดลองระยะที่ 2 ติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบ	91
	3.3.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์	91
	3.3.2 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	94
	3.3.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	97
	3.4 ประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นในการระบบหมักไร้อากาศมาใช้บำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	100
	3.4.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์	100
	3.4.2 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	104

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 ค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538	108
3.4.4 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ระบบ MCL และระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538	109
3.4.5 ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MABR และ MCL	110
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	111
4.1 บทสรุป	111
4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม	114
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก	123
ประวัติผู้เขียน	205

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	5
1-2	ลักษณะน้ำเสียรวมจากการผลิตยางแผ่นรมควัน	7
1-3	สารตั้งต้นที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ได้	16
1-4	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ	18
1-5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูบกลับน้ำทิ้งและการหมุนเวียนน้ำเสียกลับมากวนผสมในระบบบำบัดน้ำเสีย	20
1-6	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของสารอินทรีย์พืชผลทางการเกษตร มูลมนุษย์และมูลสัตว์	21
1-7	ข้อดีและข้อเสียของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	24
1-8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง	25
2-1	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย	29
2-2	สภาวะการทำงานของระบบ MABR และ MCL ภายใต้ HRT และ R_t ระดับต่างๆ	38
2-3	สัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับในเวลา 20 ชม. ของการเดินระบบ MABR และMCL	39
2-4	ความถี่ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR และ MCL	40
3-1	ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	43
3-2	pH ในน้ำทิ้งของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกิริยาที่สภาวะคงตัว	53
3-3	pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	54
3-4	TCOD และ SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	58
3-5	ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกิริยาที่สภาวะคงตัว	59
3-6	BOD_5, BOD_5:TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	59

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-7	ความเข้มข้น SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ในชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	62
3-8	ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากแต่ละถังปฏิกิริยาของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	63
3-9	ความเข้มข้น TKN และ NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	65
3-10	ความเข้มข้น TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	66
3-11	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	68
3-12	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ กับค่าทางทฤษฎี	69
3-13	เปรียบเทียบ pH จากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	73
3-14	pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ของ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	74
3-15	TCOD และ SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_tต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	78
3-16	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	79
3-17	BOD_5, BOD_5:TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	80
3-18	ความเข้มข้นของ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	84
3-19	เปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	85

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-20	ความเข้มข้นของ TKN และ NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	86
3-21	ความเข้มข้นของ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	87
3-22	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	88
3-23	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ กับค่าทางทฤษฎี	89
3-24	ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (ม.ค.-มี.ค. 2551 จำนวน 5 ครั้ง)	90
3-25	รายการประเมินค่าก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ของระบบ MABR	102
3-26	รายการประเมินค่าก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบ MCL	106
3-27	รายการประเมินค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อ ของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538	108
3-28	ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ระบบ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538	109
3-29	ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MABR	110
3-30	ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MCL	110

รายการตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
ก-1	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=100%	124
ก-2	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=100%	127
ก-3	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=100%	130
ก-4	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=50%	133
ก-5	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=50%	134
ก-6	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=50%	135
ก-7	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=0%	136
ก-8	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=0%	139
ก-9	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=0%	142
ก-10	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%	145
ก-11	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=75%	148
ก-12	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=50%	151
ก-13	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=25%	154

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ก-14	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% หลังฤดูยางผลัดใบ	157
ก-15	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	160
ก-16	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง หลังฤดูยางผลัดใบ	161
ก-17	ผลของ pH ในเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%	164
ก-18	ผลของ pH ในเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%	165
ก-19	ผลของ pH ในเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%	166
ก-20	ผลของ pH ในเสียและน้ำทิ้งของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	167
ก-21	ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%	168
ก-22	ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%	170
ก-23	ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%	172
ก-24	ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	174
ก-25	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%	177
ก-26	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%	179

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ก-27	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%	181
ก-28	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	183
ข-1	ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%, 50% และ 0%	186
ข-2	ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%,75%, 50%, 25% และ 0%	188
ค-1	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	190
ค-2	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ pH ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	190
ค-3	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ VFA ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	191
ค-4	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Alkalinity ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	191
ค-5	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	191
ค-6	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด TKN ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	192
ค-7	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	192
ค-8	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	192
ค-9	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Biogas Production Rate จากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	193

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก		หน้า
ค-10	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	193
ค-11	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ pH จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	194
ค-12	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Alkalinity จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	194
ค-13	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	194
ค-14	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SCOD จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	195
ค-15	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Biogas Production Rate จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	195
ค-16	ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ pH, VFA, Alkalinity และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, TKN, NH^+_4-N, BOD_5 และ TP ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	196
จ-1	ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538	199
ฉ-1	ปริมาตรน้ำเสียที่วัดได้ในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อเวลาของระบบ MCL	200
ฉ-2	ระดับน้ำเสียที่ลดลงต่อเวลาของระบบ MABR	202

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1-1	กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	8
1-2	ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางที่สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2537 และ ปี พ.ศ. 2538	9
1-3	ขั้นตอนของปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ	15
1-4	บ่อหมักย่อยประยุกต์	23
2-1	จุดเก็บตัวอย่างและผังระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	30
2-2	ลักษณะของบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง และจุดที่ใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบ	31
2-3	แบบจำลองระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์	32
2-4	ลักษณะของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ที่ติดตั้ง ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	32
2-5	ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดก๊าซชีวภาพ	33
2-6	แบบจำลองระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์	35
2-7	ลักษณะของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ที่ติดตั้ง ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง	35
3-1	ปริมาณน้ำยางสดในช่วงเดือน ก.ค. 2550-ส.ค.2551 ขณะทำการทดลองเดินระบบ MABR และ MCL	44
3-2	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ	49
3-3	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ	49
3-4	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ	50
3-5	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ	50
3-6	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ	51
3-7	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ	51
3-8	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ	51
3-9	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ	52
3-10	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ	53

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-11	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ	56
3-12	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ	56
3-13	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ	57
3-14	ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ	61
3-15	ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ	61
3-16	ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ	62
3-17	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	68
3-18	pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	72
3-19	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	72
3-20	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ	73
3-21	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=100%	75
3-22	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=75%	76
3-23	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=50%	76
3-24	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=25%	77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-25	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=0%	77
3-26	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=100%	81
3-27	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=75%	82
3-28	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=50%	82
3-29	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=25%	83
3-30	ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=0%	83
3-31	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว	88
3-32	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	92
3-33	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	93
3-34	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABRทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	93
3-35	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MABR ภายใต้ HRT ต่างๆ ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	94
3-36	VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	95
3-37	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	96

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3-38	ปริมาณสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	96
3-39	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)	97
3-40	ความสัมพันธ์ของ pH และ VFA ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)	98
3-41	Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)	99
3-42	ปริมาณสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)	99
3-43	แบบจำลองระบบ MABR	101
3-44	แบบจำลองระบบ MCL	105

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

Alk	=	Alkalinity คือ ความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตรอนเกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารละลายคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต
BOD_5	=	Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ
COD	=	Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำ
Effluent	=	น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ
HRT	=	Hydraulic Retention Time คือ ระยะเวลาที่น้ำถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับปริมาตร/อัตราการไหล มีหน่วยเป็นวัน
Influent	=	น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ
MABR	=	Modified Anaerobic Baffled Reactor คือ ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ซึ่งประกอบด้วยถังปฏิกิริยามาเรียงต่อกัน 3 ถัง โดยน้ำจะไหลจากถังใบที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ลักษณะการทำงานจะมีช่วงเวลาการสูบน้ำเข้า การสูบย้อนกลับ และทิ้งให้ตกตะกอน
MCL	=	Modified Covered Lagoon Digester คือ บ่อไร้อากาศแบบแผ่นคลุมประกอบด้วยบ่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 บ่อมาเชื่อมต่อกัน แล้วคลุมด้วยแผ่นพีวีซีสีขาวใส
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids คือ ปริมาณหรือความเข้มข้นโดยประมาณของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids คือ ส่วนหนึ่งของ MLSS ที่เป็นอินทรียสารมีค่าประมาณ 50-80% ของ MLSS
NH_4^+-N	=	Ammonia Nitrogen คือ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน
OLR	=	Organic Loading Rate คือ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่อขนาดระบบบำบัด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน
Range	=	ช่วงของข้อมูลต่ำสุดและสูงสุด
R_t	=	สัดส่วนเวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (Recycle period ratio) คือ ระยะเวลาที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบภายในเวลา 20 ชม. โดยแบ่งออกเป็น 5 รอบ รอบละ 4 ชม. โดยไม่รวมเวลาในการสูบน้ำเสีย 2 ชม. และเวลาตกตะกอน 2 ชม.
R_v	=	อัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ (Recycle effluent ratio) คือ อัตราการไหลย้อนกลับในหน่วย L/d ต่ออัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในหน่วย L/d
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมีในรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
SD	=	Standard Deviation คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SS	=	Suspended Solids คือ ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมีทั้งในรูปของแข็งและรูปที่ละลายอยู่ในน้ำ
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen คือ ปริมาณไนโตรเจนที่ประกอบด้วยอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน
VFA	=	Volatile Fatty Acid คือ กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 6 อะตอม สามารถละลายน้ำได้น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถกลั่นได้ที่ความดันบรรยากาศต่ำ
$\overline{X}$	=	ค่าเฉลี่ย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีการผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยร้อยละ 90 เป็นยางดิบแปรรูป ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ โดยเฉพาะยางแผ่นรมควันนั้นเป็นที่ต้องการของผู้ผลิตยางล้อ ในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยส่งออกยางแผ่นรมควัน 866,600 ตัน (ไพโรจน์ คีรีรัตน์, 2545) และเพิ่มขึ้นเป็น 1,049,995 ตัน ในปี พ.ศ. 2545 (สันติ เลียดปฐม, 2547)

การผลิตยางแผ่นในอดีตมักจะทำเฉพาะในครัวเรือนทำให้คุณภาพของยางแผ่นที่ได้ไม่ดีและสม่ำเสมอเท่าที่ควรประกอบกับในช่วงปี พ.ศ. 2535-2536 ได้เกิดภาวะราคายางตกต่ำ ราคายางแผ่นดิบลดลงเหลือเพียง 12-13 บาท/กก. ในขณะที่มีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตยางแผ่นดิบในเวลานั้นราคา 17 บาท/กก. ด้วยเหตุนี้เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องยางในระยะยาว ในปี พ.ศ. 2537-2538 รัฐบาลได้มีนโยบายที่จะยกระดับคุณภาพยางแผ่นของเกษตรกรให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาดจึงสนับสนุนการสร้างโรงรมควันยางแผ่น โดยดำเนินการสร้างในปี พ.ศ. 2537 จำนวน 300 โรง และปี พ.ศ. 2538 จำนวน 400 โรง ปัจจุบันได้จัดตั้งโรงรมควันยางแผ่นเสร็จสิ้นไปแล้ว 695 โรง (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2552) ในการจัดตั้งโรงรมควันยางแผ่นนั้นเกษตรกรรายย่อยจะมารวมตัวกันเป็นกลุ่มในรูปสหกรณ์กองทุนสวนยางเพื่อช่วยให้กลุ่มเกษตรกรเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยางแผ่น รวมทั้งมีกำลังในการต่อรองกับพ่อค้าคนกลางที่รับซื้อยางแผ่นรมควัน ทำให้จำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น

ยางแผ่นรมควัน เป็นการแปรรูปยางจากน้ำยางสดเป็นยางแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมขั้นต่อไป เช่น ยางรถยนต์ ท่อยาง พื้นรองเท้า เป็นต้น (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2548) และในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันนั้นก่อให้เกิดผลกระทบตามมา คือ เกิดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีการใช้น้ำในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง และมีกลิ่นเหม็น อันจะเป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำและมลพิษทางอากาศ

จากการสำรวจ พบว่าสหกรณ์โรงอบ/รมยางมีระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบ่อซึ่งมี 2 รุ่น ออกแบบตามปีที่สร้างสหกรณ์ โดยรูปแบบในรุ่นปีพ.ศ. 2537 ประกอบด้วยบ่อบำบัดขั้นต้น 1 บ่อ บ่อเติมอากาศ 2 บ่อ และบ่อผึ่ง 1 บ่อ และระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์รุ่นปี พ.ศ. 2538 ประกอบด้วย

บ่อบำบัดขั้นต้น บ่อหมักไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ และบ่อผึ่ง (Chaiprapat and Sdoodee, 2007) ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 รูปแบบนี้ได้ประสบกับปัญหาเศษยางเข้าไปอุดตันในเครื่องเติมอากาศบ่อยครั้งทำให้เกิดความยุ่งยากในการดูแล และเสียค่าใช้จ่ายในซ่อมบำรุง ทางสหกรณ์โรงอบ/รมยางจึงได้หยุดการเติมอากาศในบ่อเติมอากาศ บ่อดังกล่าวจึงแปรสภาพไปเป็นบ่อไร้อากาศ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และน้ำทิ้งดังกล่าวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (สายัณห์ สดุดี และคณะ, 2548) เมื่อปล่อยน้ำเสียดังกล่าวออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียง และจากการประเมินเบื้องต้นพบว่าน้ำเสียของสหกรณ์แห่งหนึ่งมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงถึง 32.5-41.0 m^3/d ซึ่งเป็นก๊าซที่ค่อนข้างสะอาดเพราะไม่มีการใช้กรดซัลฟิวริกในการผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ดังนั้นหากมีการเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับบำบัดน้ำทิ้งให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งมีความสามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้ ก็จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นระบบที่สามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้มีค่าความสกปรกน้อยลง ระบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ และมีก๊าซมีเทนเป็นผลพลอยได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ก) สามารถพักระบบได้ในระยะยาว และฟื้นระบบได้เร็วเมื่อเริ่มบำบัดใหม่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) สอดคล้องกับการผลิตยางแผ่นที่ไม่สามารถทำได้ตลอดปี เนื่องจากในช่วง มี.ค.-พ.ค. ของทุกปีเป็นช่วงฤดูยางผลัดใบ จึงไม่มีการผลิตน้ำยางทำให้ระบบบำบัดต้องหยุดเดินในช่วงเวลาดังกล่าว

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่คาดว่าจะนำมาประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ได้แก่ ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) เป็นระบบที่พัฒนาและปรับปรุงมาจากระบบบ่อปิดแบบ Covered Lagoon โดยระบบนี้จะมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำเสีย เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำเสียเพื่อรักษาสภาวะสมดุลของการย่อยสลาย ทำให้เดินระบบได้ง่าย และระบบมีเสถียรภาพ (ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ, 2551) อีกทั้งสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง มีการคลุมบ่อโดยใช้แผ่นพลาสติก เช่น PE (Polyethylene) หรือ HDPE (High Density Polyethylene) เพื่อป้องกันกลิ่นเหม็น และสะดวกในการเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ก) ปัจจุบันระบบบ่อปิดแบบ Covered Lagoon ถูกพัฒนาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของ COD สูงกว่า 1,500 mg/L (Metcalf & Eddy, 2004) เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โรงงานปาล์มน้ำมัน รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งระบบบำบัดดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD มากกว่า 80% และได้ก๊าซชีวภาพ 0.3-0.5 m^3/kg $COD_{removed}$ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะของน้ำเสีย

แต่ละประเภท (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550) และในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้ระบบบ่อปิดแบบ Covered Lagoon ซึ่งคลุมด้วย HDPE (High Density Polyethylene) หนา 1 mm อุณหภูมิภายในบ่ออยู่ในช่วง 38-40 ^{0}C ของบริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ตั้งอยู่ อ.เมือง จ. นครราชสีมา โรงงานมีน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตประมาณ 8,400 m^3/d มีค่า COD 30,000 mg/L และ BOD_5 16,000 mg/L จากการศึกษาพบว่าระบบนี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 124,000 m^3/d ซึ่งเป็นมีเทนประมาณ 62% และเชื้อเพลิงที่ได้นั้นนำมาใช้ภายในโรงงานและบางส่วนถูกส่งไปป้อนโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า (Plevin and Donnelly, 2004)

ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Anaerobic Baffled Reactor; MABR) เป็นระบบที่ดัดแปลงมาจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffle Reactor; ABR) โดยใช้ถังหมักไร้อากาศจำนวน 3 ถังมาเรียงต่อกันซึ่งเปรียบได้กับแผ่นกั้นของระบบ ABR และในการวิจัยครั้งนี้จะเดินระบบทั้ง 2 ระบบดังกล่าวโดยการป้อนน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) และมีการสูบน้ำเสียหมุนเวียนกลับเข้าระบบเพื่อเจือจางสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ และช่วยในกวนผสม (Mixing) ให้ตะกอนจุลินทรีย์กับน้ำเสียได้มีโอกาสสัมผัสกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และสามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจากการศึกษาการใช้ถังหมักไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยางที่ HRT 20, 15, 10 และ 5 วัน พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 66.1%, 65.9%, 53.7% และ 47.0% ตามลำดับ (ชอบ บุญช่วย, 2541) และผลการศึกษาสัดส่วนอัตราการไหลต่ออัตราไหลเวียนกลับในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบไร้อากาศแบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed; EGSB) พบว่าที่สัดส่วนอัตราการไหลต่ออัตราไหลเวียนกลับ (R) เท่ากับ 3, 7, 11 และ 15 มีประสิทธิภาพการกำจัด COD เฉลี่ย 62.9%, 72.6%, 76.3% และ 74.6% ตามลำดับ และการไหลเวียนกลับของน้ำเสียจะช่วยให้สารอินทรีย์ที่เข้าระบบมีความเข้มข้นลดลง และเป็นการนำสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากกลับมาสัมผัสกับเม็ดจุลินทรีย์อีกครั้ง ส่งผลให้ปฏิกิริยาย่อยสลายสมบูรณ์ยิ่งขึ้น(สุชัญญา ทองเครือ และชวลิต รัตนธรรมสกุล, 2549) นอกจากนี้มีการศึกษาเปรียบเทียบการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) และแบบทีละเท (Batch) ด้วยระบบ Hybrid anaerobic solid-liquid systems (HASL) ในการย่อยสลายเศษอาหารในระดับ pilot-scale พบว่าการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง และแบบทีละเทสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.49 และ 0.33 L/L/d ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 80% และ 79% ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าแม้การเดินระบบทั้ง 2 แบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ใกล้เคียงกัน แต่การเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าการเดินระบบแบบทีละเท (Wang *et al.*, 2005)

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ เนื่องจากเดินระบบได้ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ ลดการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และสามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้ หากการประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเหมาะสมน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางได้ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 น้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม มีความหนาแน่น 0.975-0.980 g/mL มีความเป็นกรดด่างประมาณ 6.5-7.0 และส่วนประกอบของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (non rubber constituents) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ระบบและวิธีการผลิต และฤดูกาล เป็นต้น ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยาง แสดงดังตารางที่ 1-1 โดยส่วนประกอบของน้ำยางจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเนื้อยางแห้ง และส่วนที่ไม่ใช่ยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2540) ดังนี้

1. ส่วนของเนื้อยางแห้ง เป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C_5H_8) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (Isoprene)

2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง ประกอบด้วยอนุภาคของส่วนที่เป็นน้ำหรือซีรัม (Serum) มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 g/mL และมีองค์ประกอบของแป้งและน้ำตาลประมาณ 1% น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาซิทอล (Quebrachitol) ซึ่งแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร โดยเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายไปให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) ได้แก่ กรดฟอร์มิค กรดอะซิติก และกรดโพไพโอนิค เป็นต้น ซึ่งจะทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน

1.2.2 สหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ในปีพ.ศ. 2535-2536 เกิดวิกฤตราคายางพาราตกต่ำ ราคายางแผ่นดิบลดลงเหลือราคา 12-13 บาท/กก. ขณะที่มีการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตยางแผ่นดิบในเวลานั้น 17 บาท/กก. ด้วยเหตุนี้จึงเรียกร้องให้รัฐแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยทางคณะกรรมาธิการวิสามัญพิจารณาแก้ปัญหาราคายางพาราในการประชุมสภาผู้แทนราษฎรครั้งที่ 6 เมื่อวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2535 มีมติมอบหมายให้กรมส่งเสริมสหกรณ์จัดทำโครงการเพื่อรวบรวมเกษตรกรชาวสวนยางรายย่อยจัดตั้งเป็นสหกรณ์ โดยเป็นโครงการส่งเสริมการจัดตั้งเป็นสหกรณ์ในกลุ่มผู้ผลิตยางพาราเป็นโครงการระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2537-2541) และในการประชุมคณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติครั้งที่ 4 มีมติให้สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.) ดำเนินการก่อสร้างโรงงานผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควันในปีพ.ศ. 2537 จำนวน 300 โรง

และปีพ.ศ. 2538 จำนวน 400 โรง ซึ่งรัฐบาลให้การสนับสนุนงบประมาณในการก่อสร้างอาคารโรงอบ/รมยาง และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต ปัจจุบันทางสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยางได้ดำเนินการก่อสร้างโรงงานผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควันเสร็จสิ้นแล้วจำนวน 695 โรง มีขนาดกำลังผลิต 2 ตัน/วัน และเกษตรกรชาวสวนยางรายย่อยที่รวมตัวกันเพื่อจัดตั้งเป็นสหกรณ์ จะต้องขอจดทะเบียนเป็นนิติบุคคลโดยใช้ชื่อว่า “สหกรณ์กองทุนสวนยาง...จำกัด” (วินัย อาจคงหาญ และกฤตยา พรรคอนันต์, 2540 และสำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2550)

ตารางที่ 1-1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
สารโปรตีน	1-1.5
สารเรซิน	1-2.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

ที่มา : วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2549)

1.2.3 กรรมวิธีการผลิตยางแผ่นรมควัน

ยางแผ่นรมควัน เป็นการแปรรูปยางจากน้ำยางสดเป็นยางแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมขั้นต่อไป เช่น ยางรถยนต์ ท่อยาง พื้นรองเท้า เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตยางแผ่นรมควัน (ส่วนน้ำเสียอุตสาหกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ, 2548) ดังแสดงในภาพประกอบ 1-1

1. การรับน้ำยาง เป็นการรวบรวมน้ำยางสดจากสมาชิกสหกรณ์ โดยชั่งน้ำหนักน้ำยางสดพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำยางสดมาวิเคราะห์ร้อยละของเนื้อยางแห้งโดยวิธีเมโทรแลค (เพื่อคำนวณเงินค่าน้ำยางให้สมาชิก) และเทน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางผ่านตะแกรงกรองขนาด 40-60 mesh เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำยางสด

2. การทำยางให้เป็นแผ่น ในการผลิตยางแผ่นรมควัน ต้องมีการเจือจางน้ำยางสดเพื่อให้ได้เนื้อยางแห้งประมาณ 15-18% โดยเจือจางน้ำยางสดด้วยน้ำในอัตราส่วนผสมน้ำยางสดกับน้ำ 3:2 ซึ่งอัตราส่วนผสมอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางแห้ง และเติมกรดฟอร์มิคความเข้มข้น 2% ในอัตราส่วน 0.4-0.6 ของเนื้อยางแห้ง (หรือปริมาตรประมาณ 8.2 ลิตรต่อตะกง) เพื่อให้

ยางจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อกรดฟอร์มิคแตกตัวจะให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และประจุดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับประจุลบของคาร์บอกซิเลต (COO^-) ที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางเกิดเป็นกรดไขมันขึ้นรอบๆ อนุภาคยางดังสมการ (1) จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้พลังยึดรอบๆ อนุภาคยางลดลงเป็นศูนย์ ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบลง ส่วนของโมเลกุลที่เป็นน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่แต่เดิมจะกระจายไปน้ำยางจึงจับตัวกันเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว กรดฟอร์มิคมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากกรดชนิดอื่นคือ ไม่มีสี ละลายน้ำได้ดีมาก ทำให้ยางแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ สามารถระเหยได้ไม่ตกค้างในแผ่นยาง สมบัติและความยืดหยุ่นของแผ่นยางคงเดิม ไม่ทำให้แผ่นยางมีกลิ่น

$$H^+ + RCOO^- \longrightarrow RCOOH \text{ (กรดไขมัน)} \qquad (1)$$

จากนั้นทำการกวนผสมให้เข้ากันหากมีฟองเกิดขึ้นต้องตักฟองออกให้หมด มิฉะนั้นยางแผ่นที่ได้จะมีรอยจุดฟองอากาศทำให้ยางแผ่นรมควันที่ได้มีคุณภาพต่ำ และใส่แผ่นเสียบให้ครบทิ้งไว้ 2-3 ชม. เพื่อให้ยางแข็งตัว เมื่อยางแข็งตัวค่อยๆ ดึงแผ่นเสียบออกจากตะกงแล้วนำยางแผ่นที่ได้ไปล้างทำความสะอาด

3. การรีดยาง นำแผ่นยางที่ล้างทำความสะอาดแล้วมารีดด้วยเครื่องรีดยาง ซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งผิวเรียบ 4-5 คู่ และลูกกลิ้งลายดอกอีก 1 คู่ใช้เพื่อรีดยางให้มีความหนาประมาณ 2-3 mm จากนั้นล้างน้ำให้สะอาดและนำไปผึ่งลมเป็นเวลา 1 วัน

4. การรมควันยาง นำยางที่ผึ่งลมไปอบรมควันในห้องอบที่อุณหภูมิประมาณ 50-60^{0}C โดยใช้การเผาไหม้ของฟืนในเตาเผา เป็นเวลาประมาณ 4 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและความชื้นของยางแผ่นดิบจนยางสุก

5. การคัดเกรดยาง การคัดชั้นยางเป็นขั้นตอนการนำยางแผ่นรมควันที่ได้มาตัดสิ่งแปลกปลอมออกจากยางแล้วทำการคัดชั้นยางโดยใช้การมองด้วยสายตาเป็นเกณฑ์ตัดสิน ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์พอสมควร ซึ่งสามารถจำแนกยางแผ่นรมควันได้เป็น 6 ชั้น ดังนี้

5.1 ยางแผ่นรมควันชั้นพิเศษ เป็นยางแผ่นใสมีคุณภาพดี มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น ไม่มีรอยตำหนิ จุดด่างดำหรือรอยปนเปื้อน ไม่มีราบนขึ้นแผ่นยาง ยางต้องไม่รมควันมากเกินไปจนมีสีคล้ำและไม่เหนียวตรงจุดใดจุดหนึ่ง

5.2 ยางแผ่นรมควันชั้น 1 เป็นยางแผ่นสะอาด ไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งเจือปนบนแผ่นยาง ไม่มีราขึ้นบนยางแผ่นและยางอาจรมควันไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยแต่ต้องไม่มีสีคล้ำจนเกินไป มีฟองอากาศเล็กๆ ขนาดเท่าหัวเข็มหมุดกระจายอยู่เล็กน้อยได้

5.3 ยางแผ่นรมควันชั้น 2 แผ่นยางไม่มีรอยตำหนิจากรอยเปื้อนหรือพุพอง ไม่เม็ดทรายหรือสิ่งเจือปนบนแผ่นยาง อาจมีฟองอากาศ สีของยางแผ่นรมควันอาจจะไม่สม่ำเสมอ บนผิวยางอาจมีราปะปนอยู่เล็กน้อยแต่ไม่เกิน 5% ของตัวอย่างที่ตรวจ

5.4 ยางแผ่นรมควันชั้น 3 แผ่นยางอาจจะมีสีไม่ใส มีฟองอากาศเล็กๆ มีเศษสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกยางปะปนได้เล็กน้อย บนแผ่นยางอาจมีราขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกิน 10% ของตัวอย่างที่ตรวจ จุดเหนียวบนยางอาจมีสีคล้ำบ้างแต่สีต้องไม่ทึบจนดำ

5.5 ยางแผ่นรมควันชั้น 4 แผ่นยางมีฟองอากาศ และเศษสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกยางปะปนอยู่บ้าง บนแผ่นยางอาจมีราขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกิน 20% ของตัวอย่างที่ตรวจ จุดเหนียวบนยางอาจมีสีคล้ำบ้างแต่สีต้องไม่ทึบจนดำแบบถูกไฟไหม้

5.6 ยางแผ่นรมควันชั้น 5 แผ่นยางมีฟองอากาศ และเศษสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกยางปะปนอยู่ค่อนข้างใหญ่ บนแผ่นยางอาจมีราขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกิน 30% ของตัวอย่างที่ตรวจ แผ่นยางต้องไม่พุพองและเหนียวจนเกินไป และแผ่นยางอาจมีสีคล้ำได้แต่ต้องไม่ทึบจนไหม้ดำ

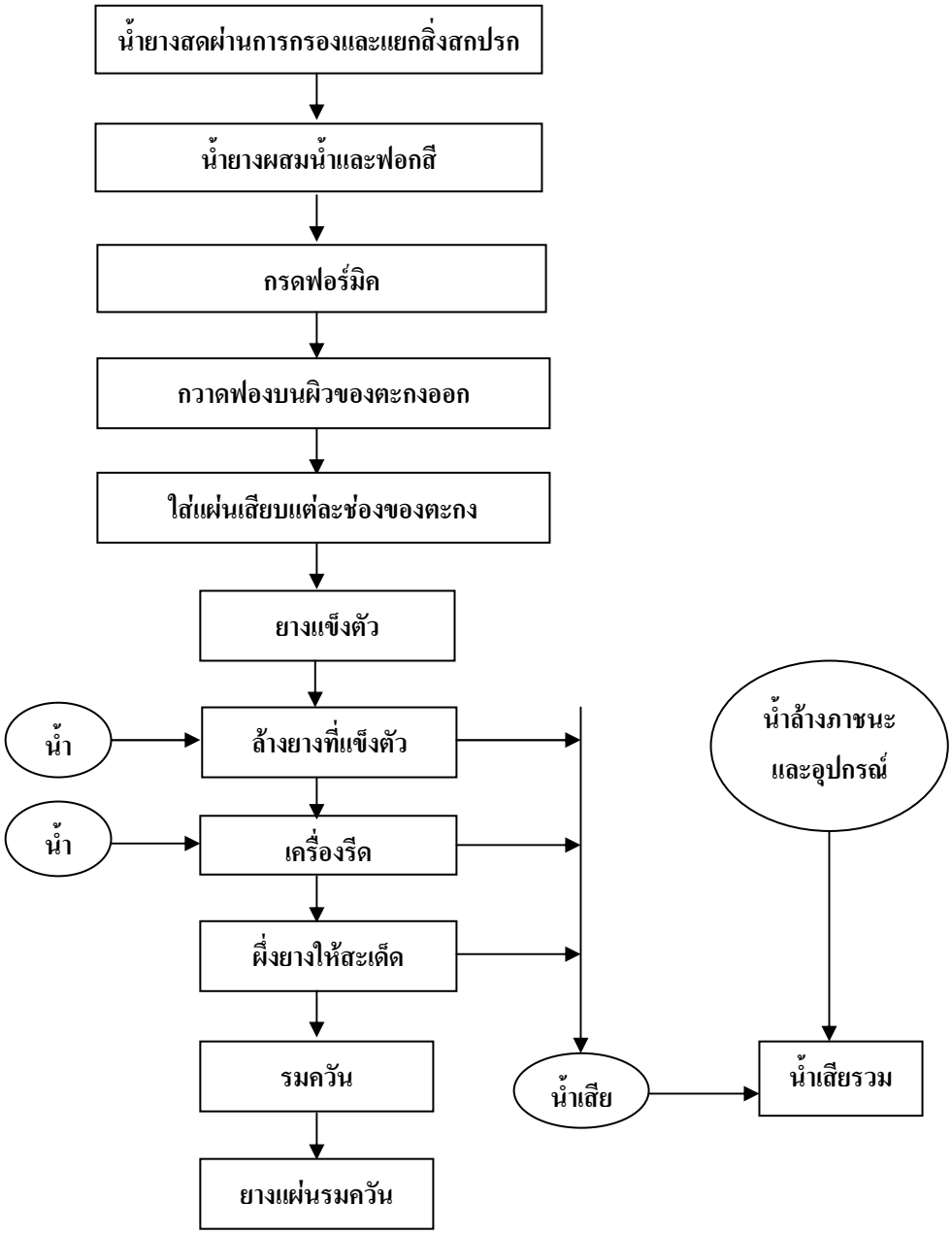
1.2.4 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง มีจุดกำเนิดแบ่งออกเป็น 4 จุดใหญ่ๆ คือ น้ำเสียจากตะกงหลังจากคัดแยกเนื้อยาง น้ำเสียจากรางล้างยาง น้ำเสียจากการรีดแผ่นยาง น้ำเสียจากการล้างภาชนะและการล้างพื้น (เพริศพิชญ์ คณาธารณา และคณะ, 2539) โดยค่าลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควัน แสดงดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควัน

	ลักษณะน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นรมควัน	
คุณสมบัติ	(1)	(2)
pH	4.9-6.6	4.38-6.21
COD (mg/L)	4,354-9,568	1,118-11,105
BOD (mg/L)	3,250-7,600	680-7,384
SS (mg/L)	60-232	50-995
TKN (mg/L)	45.99-195.15	46-391
Sulfate (mg/L)	102.96-294.82	0.20-23.92

ที่มา : (1) ชอบ บุญช่วย, 2541 และ (2) Chaiprapat and Sdoodee (2007)

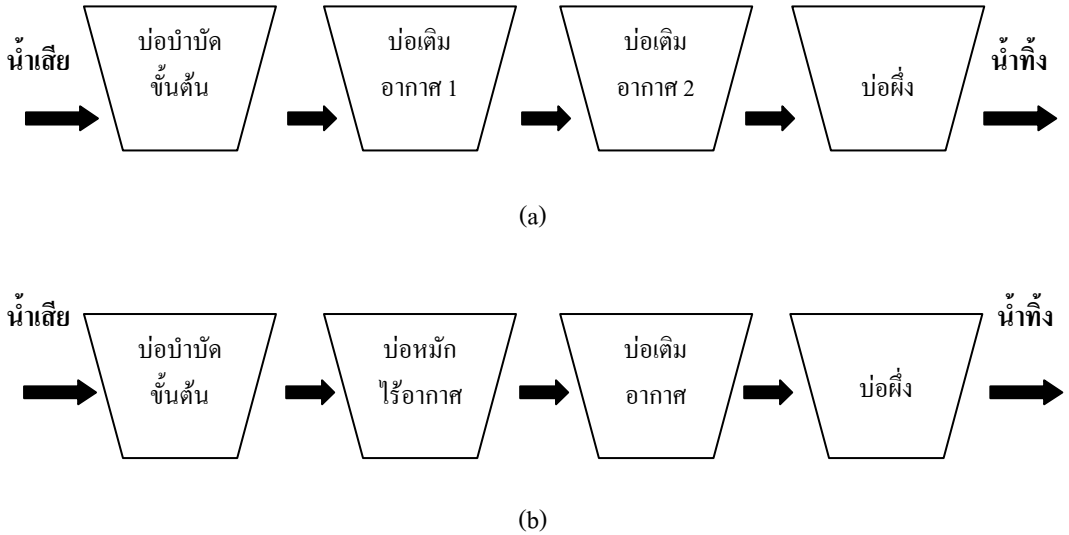


ภาพประกอบ 1-1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ที่มา : สายัณห์ สดุดี และคณะ (2548)

1.2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางเป็นระบบบ่อ แบ่งออกเป็น 2 แบบตามปีที่สร้างสหกรณ์ ได้แก่ รุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และปี พ.ศ. 2538 แสดงดังภาพประกอบ 1-2 และจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางประมาณ 9 โรงในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 10 โรงรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบดังกล่าวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียได้พบปัญหาการอุดตันของเศษยางในเครื่องเติมอากาศ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงบ่อยครั้งและเกิดความยุ่งยากในการเดินระบบ สหกรณ์จึงหยุดการเติมอากาศในบ่อเติมอากาศ บ่อดังกล่าวจึงแปรสภาพไปเป็นบ่อไร้อากาศ (สายัณห์ สดุดี และคณะ, 2548) ก่อให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซภาวะเรือนกระจก และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ทำให้มีกลิ่นเหม็นออกไปสู่สิ่งแวดล้อม



ภาพประกอบ 1-2 ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางที่สร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2537 (a) และปี พ.ศ. 2538 (b)

ที่มา : Chaiprapat and Sdoodee (2007)

1.2.6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Processes)

กระบวนบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ หรือเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกน้อยลง โดยปฏิกิริยาในการบำบัดจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอน โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นสารให้อิเล็กตรอน และสารอื่นเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งในการบำบัดแบบไร้อากาศนั้นจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน

$$\text{สารอินทรีย์} + CO_2 \xrightarrow{\text{จุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ}} \text{เซลล์ใหม่} + CO_2 + CH_4 + \text{สารอินทรีย์ที่เหลือ} \qquad (2)$$

กระบวนบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีข้อได้เปรียบมากกว่ากระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศหลายประการ ได้แก่ ประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ ต้องการสารอาหารน้อย สามารถพักการใช้งานของระบบได้นานเป็นเดือนหรือเป็นปีโดยไม่เกิดความเสียหายต่อระบบ และมีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในระบบและนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานได้ โดยระบบไร้อากาศสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ 1 m^3 คิดเป็นพลังงาน 1.1 x 107 Btu หรือผลิตไฟฟ้าได้ 1.2 kW-hr และมีค่าความร้อนเท่ากับ 39.4 mJ/m^3 อีกทั้งเป็นระบบที่เหมาะสำหรับบำบัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในปริมาณสูง และสามารถทำงานที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ได้สูงกว่ากระบวนการใช้อากาศ 5-10 เท่า (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 กรมควบคุมมลพิษ, 2545 สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2548 และสถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550)

1.2.7 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

การทำงานของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จะใช้จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria) ช่วยในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่เกิดขึ้นมี 4 ขั้นตอนดังภาพประกอบ 1-3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ให้เป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน โดยแบคทีเรียกลุ่มไฮโดรไลซิงแบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์ขึ้นภายในเซลล์ เอนไซม์ที่ผลิตออกมาจะช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอินทรีย์ และช่วยให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น จากนั้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เมมเบรนของแบคทีเรียโดยตรง

ในกระบวนการนี้เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นค่อนข้างช้า และเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วของปฏิกิริยา โดยความเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้น ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ พีเอช พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการย่อยสลายสารแต่ละชนิดแตกต่างกัน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ก) อีกทั้งเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกระบวนการนี้จะยังอยู่ในรูปของ COD หรือ BOD ซึ่งไม่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ เพราะเป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดเล็กเท่านั้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

2. กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายสารโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน) ที่ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสมาผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid-forming bacteria) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก Obligate Anaerobes ซึ่งมีแบคทีเรียหลายๆ กลุ่ม ได้แก่ *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Escherichia* และ *Aerobacter* เป็นต้น นำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก เป็นต้น โดยกรดที่เกิดส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี แต่หากมีการสร้างกรดในระบบมากเกินไปจะมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ เพราะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากปริมาณกรดที่มากเกินไปจะทำให้ค่า pH ของระบบลดลง

3. กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

เป็นการย่อยสลาย VFA ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดโดย Acetogenic Bacteria ให้เป็นกรดแอซิติก กรดฟอร์มิค เมทานอล และเมทิลามีน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในการสร้างมีเทน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากในกระบวนการสร้างมีเทนจะใช้สารตั้งต้นที่มีปริมาณคาร์บอนจำนวน 1-2 คาร์บอนเท่านั้น (กรดแอซิติก กรดฟอร์มิค เมทานอล และเมทิลามีน) และถ้า VFA ที่สร้างขึ้นมีมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนจะไม่สามารถนำไปใช้ได้และเกิดการสะสมไว้ในระบบ และเพื่อให้ระบบมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงต้องมีการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนลดลงเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้

4. กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

เป็นกระบวนการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งสามารถเกิดได้ 2 แบบคือ เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนจะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 70% ของก๊าซมีเทนที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ และเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตช้า และมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น ทำให้ช่วง pH ที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนอยู่ในช่วงแคบ และเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 6.5-7.5 (Metcalf and Eddy, 2004) แสดงให้เห็นว่าในระบบบำบัดน้ำเสียไม่ใช้อากาศแบคทีเรียกลุ่มนี้จะควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้สารตั้งต้นที่มีคาร์บอน 1-2 อะตอมเท่านั้น เช่น กรดแอซิติก กรดฟอร์มิค เมทานอล ก๊าซไฮโดรเจน หรืออื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-3 สำหรับ VFA ที่มีมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทนได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยแบคทีเรียชนิดอื่นช่วยเปลี่ยนกรดอินทรีย์ต่างๆ ให้เป็นกรดแอซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไฮโดรเจนก่อนที่แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจะสามารถย่อยสลายได้ โดยแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิดตามชนิดของสารตั้งต้น คือ

1. แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic Methanogens) แบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทนหรือเรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2 Utilizer) และสามารถใช้กรดฟอร์มิคเป็นสารตั้งต้นได้ด้วย ดังสมการ (3) และ (4)

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (3)$$

$$HCOOH \longrightarrow CH_4 + H_2 \quad (4)$$

2. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดแอซิติก (Acetotrophic Methanogens) เป็นแบคทีเรียที่ใช้กรดแอซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานได้เพียงสารเดียว และบางชนิดยังสามารถใช้ CO สร้างก๊าซมีเทนได้ด้วย ดังสมการ (5) และ (6)

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + 3H_2 \quad (5)$$

$$4CO + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 \quad (6)$$

3. แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากสารที่มี Methyl group (-CH_3)(Methylotrophic Methanogens) เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งได้แก่ Methanol และ Methylamine [$(CH_3)_3$-N] ดังสมการ (7) และ (8)

$$3CH_3OH + 6H \longrightarrow 3CH_3 + 3H_2O \quad (7)$$

$$4\,(CH_3)_3\text{-}N + 6H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3 \quad (8)$$

1.2.8 ปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการทำงานของระบบไร้อากาศ

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซมีเทน โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีอยู่ 3 ช่วง คือ กลุ่มแบคทีเรีย Psychrophillic ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 5-15°C กลุ่มแบคทีเรีย Mesophillic ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง 35-37°C และกลุ่มแบคทีเรีย Thermophillic ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง 50-55°C

สำหรับอุณหภูมิช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทนคือ อุณหภูมิในช่วง mesophillic และ thermophillic จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการย่อยแบบไร้อากาศของเศษผักและผลไม้ภายใต้สภาวะ thermophilic (55 ^{0}C) mesophilic (35 ^{0}C) และ psychrophilic (20 ^{0}C) โดยป้อนความเข้มข้น 4, 6, 8 และ 10% TS ที่ HRT 10, 15 และ 20 วัน ในถังปฏิกิริยาไร้อากาศแบบท่อในระดับ lab-scale พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยในถัง thermophilic สูงกว่าถัง psychrophilic และ mesophilic เท่ากับ 144 และ 41% (Bouallagui *et al*., 2004) จะเห็นว่าอุณหภูมิในช่วง thermophilic แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าอุณหภูมิในช่วง psychrophilic และ mesophilic ตามลำดับ และสำหรับในประเทศไทยระบบบำบัดน้ำเสียสามารถทำงานได้ในช่วง mesophilic เพราะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในธรรมชาติประมาณ 25-30^{0}C ซึ่งเหมาะสำหรับแบคทีเรียในกลุ่ม mesophilic โดยไม่ต้องควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกิริยาหรือระบบบำบัดน้ำเสียและไม่เสียค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และแบคทีเรียมีความไวต่อการ

เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเนื่องจากการลดอุณหภูมิเพียง 2-3^{0}C จะมีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน ฉะนั้น การรักษาอุณหภูมิของระบบจึงสำคัญกว่าการควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในจุดที่ให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด

2. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

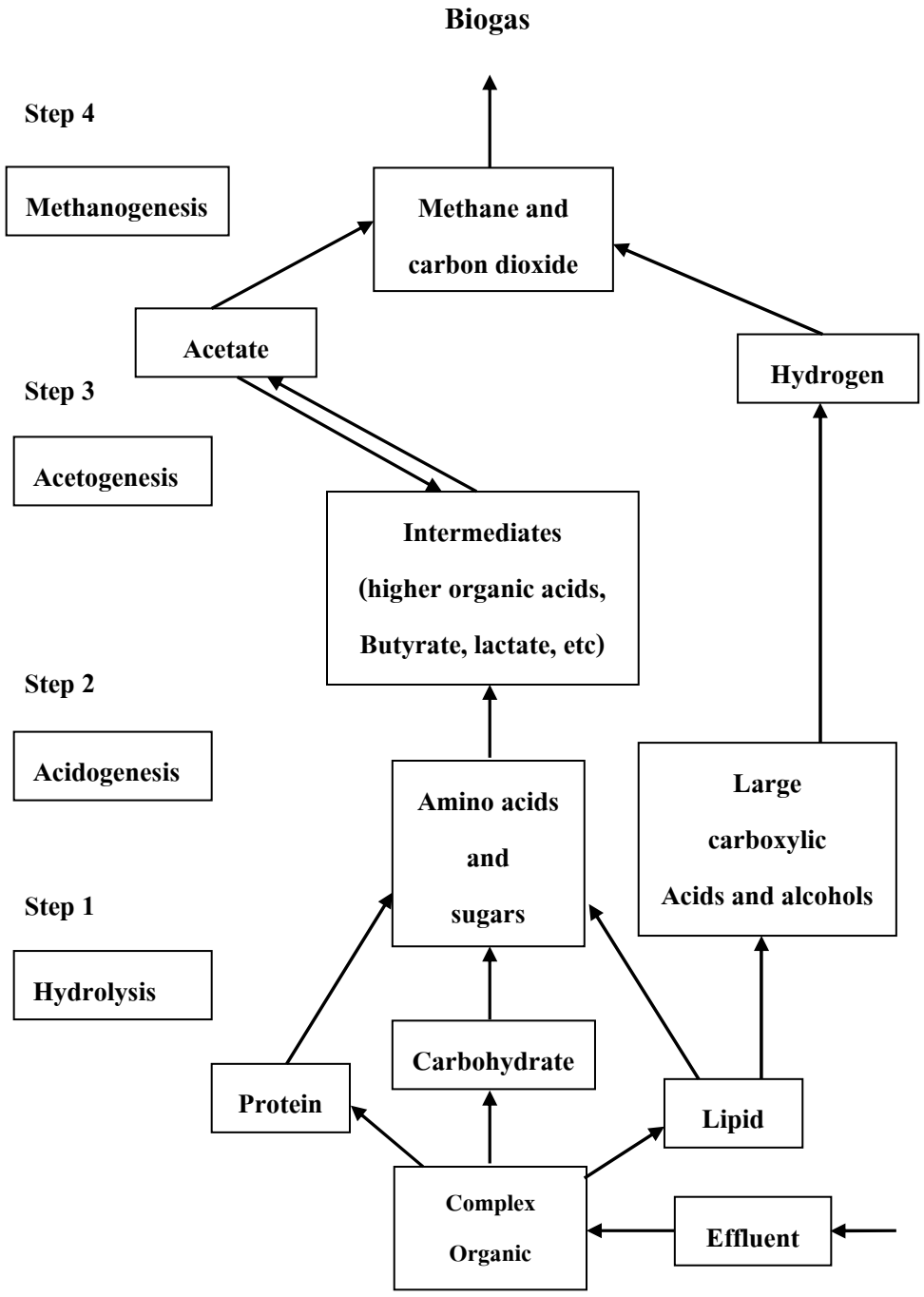
pH เป็นตัวชี้วัดค่าความเป็นกรดด่างในระบบ แบคทีเรียแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ที่ต่างกัน ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะมีแบคทีเรีย 2 กลุ่มคือ กลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) และกลุ่มสร้างมีเทน (Methane producing bacteria) แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมี pH อยู่ในช่วง 3.5-6.5 และแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมี pH อยู่ในช่วง 6.5-7.5 เมื่อพิจารณาร่วมกันจะพบว่าระบบบำบัดควรมีค่า pH ประมาณ 7.00 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ทั้งนี้เมื่อเกิดการสะสม VFA ในระบบ ค่า pH ของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงในขณะที่แบคทีเรียสร้างกรดยังสามารถทำงานได้ดี ดังนั้นจึงต้องควบคุมค่า pH (Buffering capacity) เพื่อให้ระบบมีค่าสภาพด่างที่เหมาะสม นอกจากนี้ค่า pH จะมีผลต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนจากความเข้มข้นหรืออิออนของสารต่างๆ เช่น VFA แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น

3. กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

กรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นสำคัญของแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อแบคทีเรียสร้างกรดเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA และมีการสะสมในปริมาณที่มากเกินพอจะทำให้ค่า pH ลดลงและสภาพด่างลดลง จึงจำเป็นต้องควบคุมอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบไปเป็น VFA และการเปลี่ยน VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพให้สมดุลกัน ปกติค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH และค่ายอมรับได้สูงสุดประมาณ 2,000 mg/L as CH_3COOH และระบบจะสมดุลได้เมื่อมีปริมาณการสร้าง VFA ให้เท่ากับหรือต่ำกว่าอัตราการใช้ไปในการสร้างมีเทน แต่หากมีการสร้าง VFA มากเกินไปจะไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียสร้างมีเทน และการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยปรับระบบให้มีบัฟเฟอร์เพียงพอเพื่อช่วยรักษา pH ให้คงที่และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของ VFA สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจะมีสภาพด่างในรูปของไบคาร์บอเนต ซึ่งทำหน้าที่สะเทินก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ VFA เพื่อรักษาระดับ pH ให้เป็นกลาง ดังสมการ (9) และ (10)

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \quad (9)$$

$$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3 \quad (10)$$



ภาพประกอบ 1-3 ขั้นตอนของปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ

ที่มา : Wheatley (1997)

ตารางที่ 1-3 สารตั้งต้นที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ได้

สับสเตรทประเภทอะซิเตท
Acetate, CH_3COO^-
$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_4 + CO_2$
สับสเตรทประเภทคาร์บอนไดออกไซด์
คาร์บอนไดออกไซด์
$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$
ฟอร์เมต, HCOO-
$4HCOO^- + 4H^+ \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$
คาร์บอนมอนอกไซด์, CO
$4CO + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + 3CO_2$
สับสเตรทประเภทเมทธิล
Methanol, CH_3OH
$4\ CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$
Methylamine, CH_3NH^+
$4CH_3NH_3^+ + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_4^+$
Dimethylamine, $(CH_3)_2NH_2^+$
$(CH_3)_2NH_2^+ + 2H_2O \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2\ NH_4^+$
Trimethylamine, $(CH_3)_3NH^+$
$4(CH_3)_3NH^+ + 6H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_4^+$
Methylmercaptan, CH_3SH
Dimethylsulfide, $(CH_3)S$

ที่มา : ดัดแปลงจาก Madigan *et al.* (1997)

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคืออัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพด่าง โดยถ้าค่าอัตราส่วนดังกล่าวน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำควรหาควรหาแนวทางแก้ไขโดยเร็วเพราะ pH อาจลดลงจนระบบอาจล้มเหลวได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ข) สำหรับช่วงสภาพด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 1,000-5,000 mg/L as $CaCO_3$ อีกทั้งสภาพด่างของระบบไม่ใช้อากาศอาจมาจากเกลือของแอมโมเนีย พวกแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) โดยสามารถเกิดขึ้นได้เองเมื่อในน้ำทิ้งมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ (Leslie Grady *et al*., 1999) ดังสมการ (11) โดยแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH และช่วยลดสภาพความเป็นกรดเนื่องจาก VFA ดังสมการ (12)-(14) และถ้าในน้ำทิ้งมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอ และมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ จะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตที่ทำปฏิกิริยากับ VFA จากขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ และจะได้แอมโมเนียมอะซิเดต (CH_3COONH_4) ซึ่งจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับมาในระบบ

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \longleftrightarrow NH_4HCO_3 \quad (11)$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow H_3COOH \quad (12)$$

$$3CH_3COOH + 3NH_4HCO_3 \longrightarrow 3CH_3COONH_4 + 3H_2 + 3CO_2 \quad (13)$$

$$3CH_3COONH_4 + 3H_2O \longrightarrow 3CH_4 + 3\ NH_4HCO_3 \quad (14)$$

5. แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ และปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนียและแอมโมเนียมอิออน ดังสมการ (15) ปริมาณของแอมโมเนียจะสัมพันธ์กับค่า pH โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียจะสูงขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้น และถ้า pH สูงกว่า 7.2 จะเกิดแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความเป็นพิษระหว่างแอมโมเนียกับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) พบว่าแอมโมเนียเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออน โดยระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศดังแสดงในตารางที่ 1-4 ในขณะที่แบคทีเรียสามารถทนต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนได้สูงถึง 3,000 mg/L

$$NH_4^+ \leftrightarrow NH_3 + H^+ \quad (15)$$

ตารางที่ 1-4 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

แอมโมเนีย (mg/L)	ผลต่อระบบ
50-200	ปริมาณพอเหมาะ
200-1,000	ยังไม่เกิดผลเสีย
1,500-3,000	เริ่มยับยั้งเมื่อพีเอชสูง
มากกว่า 3,000	เป็นพิษโดยตรง

ที่มา : McCarty (1964)

6. การกวน (Mixing)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศอาศัยหลักการทำงานที่ให้มีจุลินทรีย์ในระบบมากที่สุด และวิธีการกวนที่ทำให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับน้ำเสียได้มากที่สุดจะส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น หากมีการกวนไม่ทั่วถึงจะทำให้เกิดการตกตะกอนซึ่งจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งตกตะกอนอยู่ที่ก้นถังปฏิกิริยา หรือมีการแยกชั้นของของเสียซึ่งจะสร้างปัญหาให้กับระบบหากมีตะกอนลอยด้านบนสุด (Scum) จะทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างมีเทนและการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในระบบลดลง และหากมีการกวนที่เหมาะสมทำให้สามารถควบคุมค่า pH และรักษาสภาพแวดล้อมภายในระบบได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดก๊าซมีเทนเป็นไปได้ด้วยดี และไม่ทำให้เกิดการสะสมของ VFA ในระบบ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งลักษณะของการกวนผสมแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) คือ

1) การกวนผสมโดยใช้เครื่องมือกล (Mechanical Mixing) เป็นการกวนผสมโดยใช้เครื่องมือกล เช่น ใบพัดในการกวนให้น้ำเสียผสมเป็นเนื้อเดียวกันวิธีนี้ใช้พลังงานค่อนข้างสูง

2) การกวนผสมโดยนำก๊าซที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกิริยา (Mixing by producing gas) เป็นการกวนผสมโดยอาศัยก๊าซที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสีย (H_2, CO_2, CH_4 และ H_2S) เป็นตัวช่วยในการผสมโดยการดึงก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาบางส่วนกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยาทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำเสีย และตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยา

3) การกวนผสมโดยวิธีการสูบน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยาให้เกิดการหมุนเวียน (Mixing by recirculation of wastewater) วิธีนี้ใช้พลังงานไม่สูง และกวนผสมโดยการสูบน้ำภายในถังออกทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา และป้อนกลับเข้าทางด้านบนของถังปฏิกิริยา ทำให้เกิดการหมุนเวียนและการกวนผสมของน้ำเสียภายในถังปฏิกิริยา จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์จากถ่านโดยใช้ถัง HUASB ขนาด 13.5 L ภายใต้อุณหภูมิ Mesophilic (27 ± 5^0C) มีความเข้มข้นของ COD และความ

เข้มข้นของฟีนอลิกเข้าระบบเท่ากับ 2,240 mg/L และ 752 mg/L ตามลำดับ และมีอัตราการป้อนน้ำเสียต่อการหมุนเวียนน้ำทิ้ง (R/F) ที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เดินระบบเป็นเวลา 100 วัน พบว่ามีการกำจัด COD และฟีนอลิกสูงขึ้นเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำทิ้ง และที่ R/F ratio เท่ากับ 1.0 มีการกำจัด COD และฟีนอลิกสูงสุด (Ramakrishnan and Gupta, 2008) และการเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ในระดับ lab-scale ที่ OLR 2.1-3.2 kgCOD/m^3.d และอัตราส่วนเวลาการเติมน้ำเสียต่อการรีไซเคิล (F/C) เท่ากับ 0.25, 0.42 และ 0.75 โดยไม่มีการควบคุม pH จากภายนอก พบว่าเมื่อ F/C ratio เพิ่มขึ้นจะมีการสะสมของกรดจะลดลง และ pH ของระบบเพิ่มสูงขึ้น (Shizas and Bagley, 2002)

7. เวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time; HRT)

เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) คือ ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกิริยามีค่าเท่ากับปริมาตรของถังปฏิกิริยาต่ออัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ มีหน่วยเป็นวัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่แบคทีเรียมีโอกาสสัมผัสกับน้ำเสีย และประสิทธิภาพการทำงานของระบบยังขึ้นอยู่กับระยะเวลากักเก็บน้ำเสียที่เหมาะสม หาก HRT สั้นไปแบคทีเรียในระบบจะเจริญเติบโตไม่ทันและมีการหลุดออกของแบคทีเรียในระบบซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่ลดลง แต่ถ้า HRT นานเกินไปจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเพราะต้องใช้ถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่ ดังนั้นการควบคุม HRT ที่เหมาะสมจะช่วยให้แบคทีเรียในระบบมีปริมาณคงที่หรือเพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในระบบและลักษณะของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบด้วย

8. การสูบกลับน้ำทิ้ง (Effluent recycle)

การสูบกลับน้ำทิ้งหรือการหมุนเวียนน้ำทิ้งกลับเข้าระบบเป็นการช่วยลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์หรือเจือจางน้ำเสียเข้าระบบทำให้รองรับอัตราภาระบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ช่วยลดการสะสมของ VFA เนื่องจากมีการหมุนเวียนสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดกลับมาย่อยสลายใหม่อีกครั้ง ช่วยรักษาสภาพด่าง และปรับ pH ในระบบให้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีเพื่อปรับ pH และช่วยในการกวนผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในระบบ (Sam-Soon and Loewenthal, 1991 Ramakrishnan and Gupta, 2008 and Barber and Stuckey, 1999) ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูบกลับน้ำทิ้งและการหมุนเวียนน้ำเสียกลับมากวนผสมในระบบบำบัดน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูบกลับน้ำทิ้งและการหมุนเวียนน้ำเสียกลับมากวนผสมในระบบบำบัดน้ำเสีย

อ้างอิง	วิธีการวิจัยและผลการศึกษา
ชาติ เจียมไชยศรี และธนิตา เกาศล (2541)	- ศึกษาการย่อยสลายตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียเคหะชุมชมห้วยขวางด้วยระบบถังหมักไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์ ที่ระยะเวลาในการกวนผสม 12, 6 และ 2 ชม. ที่ HRT 30, 10 และ 10 วัน พบว่าที่ HRT 30 วัน และระยะเวลาในการกวนผสมตะกอน 12 ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS และ VS เฉลี่ย 71.73%, 51.64% และ 51.52% ตามลำดับ และที่ HRT 30, 20 และ 10 วัน ระยะเวลาในการกวนผสมตะกอน 12 ชม. มีปริมาณมีเทนเกิดขึ้น 26.76% - จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาในการกวนผสมทำให้สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบสามารถสัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึงขึ้น และสัดส่วนของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการผลิตมีก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์
ชยันต์ กิมยงค์ (2545)	- ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยใช้กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสียที่ 2, 4 และ 6 L/d ที่ความหนาชั้นมูลสุกร 10 cm หรือปริมาณมูลสุกรบรรจุ 8.4 kg พบว่าระยะเวลาในการหมักที่ดีที่สุดของการผลิตก๊าซชีวภาพคือ 40 วัน โดยที่อัตราการไหลวนกลับของน้ำเสียที่ 2, 4 และ 6 L/d สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 38, 52 และ 135 L ตามลำดับ และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ที่ HRT 40 วัน อัตราการไหลวนกลับของน้ำเสีย 6 L/d ที่ความหนาชั้นมูลสุกร 10 cm มีการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 135 L และประสิทธิภาพการกำจัด COD, VS และ TS เฉลี่ย 54%, 38% และ 33% ตามลำดับ - การวิเคราะห์ทางด้านการเงินโดยเปรียบเทียบระหว่างระบบบ่อแบบราง ระบบบ่อแบบ H-UASB และระบบที่ทำการศึกษาคือถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอน สามารถคำนวณราคาก๊าซชีวภาพได้ 1.9, 1.7 และ 3.0 บาท/m^3 biogas ตามลำดับ ซึ่งหากมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบที่ทำการศึกษาให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพสูงจะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพลงได้มาก เนื่องจากต้นทุนของราคาก่อสร้างของถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนมีราคาถูกกว่า
วรัญญา ทิฆัมพรพิทยา และสมใจ กาญจนวงศ์ (2545)	- ศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในมูลฝอยจากตลาดโดยวิธีการหมักไร้อากาศแบบลีชเบด ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร้อยละ 5, 10, 20 และ 30 พบว่ามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 4.72, 7.29, 7.67 และ 8.11 L/d ตามลำดับ และอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.52, 3.29, 3.63 และ 4.09 L/d ตามลำดับ - ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าแปรผันตรงกับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

ตารางที่ 1-5 (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีการวิจัยและผลการศึกษา
Yu *et al.* (2002)	- การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตถั่วเหลืองโดยใช้ถังกรองไร้อากาศขนาด 10.5 L ด้วยการรีไซเคิลน้ำทิ้งกลับเข้าระบบและไม่มีการรีไซเคิลที่อุณหภูมิ 35^0C±1 ด้วย OLR 8.16, 11.3 และ 13.5 gCOD/l.d และอัตราส่วนการรีไซเคิล 6 ค่า (1.0-6.0) พบว่าอัตราส่วนการรีไซเคิลที่เหมาะสมหรือ r_{max} ขึ้นอยู่กับ OLR และการเดินระบบด้วยการรีไซเคิลที่ r_{max} จะเพิ่มการกำจัด COD โดยที่ OLR 8.16, 11.3 และ 13.5 gCOD/L.d มีค่า r_{max} เท่ากับ 3, 2 และ 2 ตามลำดับ

1.2.9 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก และประกอบด้วยก๊าซหลายอื่นๆ อีกหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 1-6

1.2.9.1 พลังงานก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลัก มีสมบัติในการลุกติดไฟ และสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ โดยเมื่อเทียบก๊าซชีวภาพ 1 m^3 จะเทียบเท่าน้ำมันเบนซิน 0.67 L น้ำมันดีเซล 0.60 L ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 kg ไฟฟ้า 1.2 kW-hr และไม้ฟืน 1.50 kg (สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549) สำหรับก๊าซมีเทนมีค่าความร้อน 39.4 mJ/ m^3 สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 L และเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 kW-hr (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2551)

ตารางที่ 1-6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายของพืชผลทางการเกษตร มูลคน และสัตว์

Constituent	Composition
Methane (CH_4)	55-75%
Carbon dioxide (CO_2)	30-45%
Hydrogen sulfide (H_2S)	1-2%
Nitrogen (N_2)	0-1%
Hydrogen (H_2)	0-1%
Carbon monoxide (CO)	Traces
Oxygen (O_2)	Traces

ที่มา : Hilkiah Igoni *et al.* (2008)

1.2.9.2 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

1) การใช้ประโยชน์เป็นพลังงานความร้อนโดยตรง เป็นการใช้ก๊าซชีวภาพแบบที่ง่ายที่สุด โดยเปลี่ยนหัวเผาเดิมจากการใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติหรือก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ให้สามารถใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้ทันที

2) การใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ มีการปรับปรุงเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมาใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงแทน ทำได้กับเครื่องยนต์ได้หลายประเภท แต่ต้องพิจารณาความเหมาะสมในการปรับปรุงเครื่องจักรให้ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น ราคาในการติดตั้ง ความถี่ในการใช้งานของเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา รวมไปถึงความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน

3) การใช้ประโยชน์แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์เกี่ยวกับการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไปเพียงพอกับเครื่องยนต์ที่ต้องการ เพราะพลังงานความร้อนของน้ำมันกับก๊าซชีวภาพไม่เท่ากัน

1.2.10 บ่อไร้อากาศ (Anaerobic Pond)

บ่อไร้อากาศเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ลึกตั้งแต่ 1m ถึง 8-9 m เนื่องด้วยต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ และไม่ควรมีค่า SS มากกว่า 1,000 mg/L เพราะจะทำให้บ่อตื้นเขินได้เร็ว และประสิทธิภาพการกำจัด BOD อยู่ในช่วง 20-95% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) สำหรับค่าการออกแบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic Ponds) ควรมี HRT 20-50 วัน ความลึก 2-5 m อัตราภาระ BOD_5 100-400 $g/cm^3.d$ (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

1.2.11 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL)

เป็นระบบที่พัฒนาและปรับปรุงมาจากระบบบ่อปิดแบบ Covered Lagoon ส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบบ่อดิน มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความลึกของบ่อกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 6 m หรือมากเท่าที่จะขุดได้ ทำให้สามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุดประมาณ 1-2 $kgCOD/m^3.d$ (สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) กรณีที่เป็นบ่อดินขุดอาจปูด้วยแผ่น PE (Polyethylene) HDPE (High Density Polyethylene) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของน้ำเสียลงใต้ดิน โดยระบบดังกล่าวจะมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำเสียเพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำเสียเพื่อรักษาสภาวะสมดุลของการย่อยสลาย (ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ, 2551)

ลักษณะน้ำเสียที่เหมาะกับระบบนี้ควรมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.5-3.0% โดยค่า HRT ไม่ควรน้อยกว่า 15 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง 50-85% และส่วนสำคัญของระบบนี้คือการปิดบ่อโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ เช่น PE (Polyethylene), HDPE (High Density Polyethylene) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) ดังภาพประกอบ 1-4 เพื่อให้เกิดสภาพไร้อากาศและรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทำให้ลดปัญหาเรื่องกลิ่น และสร้างใกล้พื้นที่ชุมชนได้ ระบบเหมาะที่จะใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ทั้งนี้ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์มีข้อดีและข้อเสียแสดงดังตารางที่ 1-7

จากการศึกษาของ Yacob *et al*. (2006a) ได้ศึกษาการเกิดก๊าซมีเทนจากบ่อหมักไร้อากาศในการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานปาล์มน้ำมัน พบว่าจากการตรวจวัดก๊าซที่เกิดจากบ่อหมักไร้อากาศเป็นเวลา 52 สัปดาห์ มีปริมาณมีเทนอยู่ในช่วง 35-70% และอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 0.5-2.4 $L/min/m^2$ และยังพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการระเหยของมีเทนคือ กิจกรรมและช่วงเวลาของการผลิตปาล์มน้ำมันของโรงงานปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ High Rate Anaerobic Lagoon System (HRAL) ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Upflow Anaerobic Sludge Bed (UASB) มาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารกระป๋องและน้ำเสียชุมชน โดยการควบคุมค่า pH อย่างต่อเนื่อง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD มากกว่า 90% เมื่อควบคุมค่า pH 6.4-7.0 สภาพความเป็นด่างให้ต่ำกว่า 800 mg/L และระบบนี้ยังสามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ (Wall, 2000)

ภาพประกอบ 1-4 บ่อหมักย่อยประยุกต์
ที่มา : ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (2551)

ตารางที่ 1-7 ข้อดีและข้อเสียของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ก่อสร้างง่ายและ ไม่ต้องมีอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเติมในบ่อ	1. การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียในบ่อไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ
2. สามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง	2. การควบคุมระบบได้ยากเนื่องจากอาจเกิดการไหลลัดทางได้หากการกวนผสมไม่ดี
3. เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยหรือไขมันสูง	3. ต้องการพื้นที่มากจึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง
4. ระบบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือสารพิษเนื่องจากระบบมีความจุมากและมีเวลากักเก็บตะกอนนาน	4. อาจมีการซึมของน้ำเสียลงสู่น้ำใต้ดิน
5. ประสิทธิภาพการบำบัดสูง	5. ปริมาณก๊าซที่ได้น้อยเมื่อเทียบกับระบบอื่น
6. สามารถสร้างบ่อในลักษณะบ่ออนุกรมได้	6. กรณีที่ก๊าซชีวภาพยังไม่เกิดจะมีปัญหาเกี่ยวกับการท่วมขังของน้ำบนผ้าพลาสติกคลุมบ่อซึ่งต้องมีการสูบน้ำออก
7. ต้องการการดูแลรักษาน้อย	

ที่มา : สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2549)

1.2.12 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactors; MABR)

ระบบ MABR เป็นระบบที่ประยุกต์นำถังปฏิกิริยาแบบไร้อากาศมาเรียงต่อกันจำนวน 3 ถัง น้ำเสียไหลเข้าทางด้านล่างของถัง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวคิดดัดแปลงมาจากระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffle Reactor; ABR) เพราะระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นกั้นหลายแผ่นติดตั้งอยู่ในระบบ ซึ่งเป็นหน่วยย่อยทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำเสียให้สัมผัสกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นลงตามลำดับ อีกทั้งประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนหน่วยย่อยที่เพิ่มขึ้น (Barber and Stuckey, 1999) โดยเปรียบหน่วยย่อยของระบบ ABR ได้กับจำนวนถังปฏิกิริยาของระบบ MABR เมื่อน้ำเสียไหลเข้าระบบทางด้านล่างของถังปฏิกิริยาจะเกิดการสัมผัสกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากถัง 1 จะเข้าถัง 2 และ 3 ตามลำดับทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดรวมของระบบเพิ่มสูงขึ้น

สำหรับลักษณะการเดินระบบของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ และระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นในการวิจัยครั้งนี้จะเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) โดยป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 1 ครั้ง/วัน ซึ่งการป้อนน้ำเสียลักษณะนี้เหมาะกับการปล่อยน้ำเสียออกมาเป็นช่วงเวลา

เช่น สหกรณ์โรงอบ/รมยาง และจากงานวิจัยพบว่าการป้อนน้ำเสียหรือเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัด COD และการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 1-8

ตารางที่ 1-8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous)

อ้างอิง	วิธีการวิจัยและผลการศึกษา
Cail and Barford (1985a)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะ Mesophilic ที่ OLR 2-6 kg COD/m^3.d และ HRT 5-6 วัน เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องใช้เวลาเดินระบบประมาณ 1 เดือน และมีประสิทธิการกำจัด SCOD มากกว่า 97%
Cail and Barford (1985b)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะ thermophilic (57°C) ที่ OLR 52 kgCOD/m^3.d และ HRT 3 วัน เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง มีประสิทธิการกำจัด TCOD และ SCOD สูงกว่า 70% และ 97% ตามลำดับ
Bor ja-Padilla and Banks (1993)	ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมันภายใต้สภาวะ thermophilic โดยใช้ถังหมักไร้อากาศขนาด 2 L เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่อุณหภูมิ (55^{0}C) พบว่าที่ OLR 15.1 kgCOD/m^3.d ที่ HRT 4.3 วัน ใช้เวลาเดินระบบเป็นเวลา 2 เดือน มีประสิทธิภาพกำจัด TCOD และ SCOD สูงกว่า 85% และ 96% ตามลำดับ
Salminen and Rintala (2002)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศขนาด 3 L บำบัดของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่อุณหภูมิ (31^{0}C) พบว่าระบบสามารถรับ OLR ได้ถึง 0.8 kg VS/m^3.d ที่ HRT 50-100 วัน มีอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด VS อยู่ในช่วง 0.52-0.55 m^3/ $kgVS_{added}$
Yacob *et al*. (2006b)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมัน เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด COD มากกว่า 97% และมีอัตราส่วน VFA : Alk ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.1 และ 0.3
Elango *et al*. (2006)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศขนาด 5 L บำบัดของเสียชุมชนและน้ำเสียจากบ้านเรือน เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 26-36 ^{0}C และ HRT 25 วัน โดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่ระดับต่างๆ คือ 0.5, 1.0, 2.3, 2.9, 3.5 และ 4.3 kg VS/m^3.d พบว่าที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.9 kg VS/m^3.d ผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดเท่ากับ 0.36 m^3/$kgVS_{added}$/d มีประสิทธิภาพการกำจัด TS 87.6%, VS 88.1% และ COD 89.3%

ตารางที่ 1-8 (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีการวิจัยและผลการศึกษา
Boubaker and Cheikh Ridha (2007)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศแบบท่อบำบัดของเสียและน้ำเสียโรงงานน้ำมันมะกอก เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องภายใต้สภาวะ mesophilic ที่ OLR 0.67-6.67 gCOD/L.d และ HRT 12, 24 และ 36 วัน ตามลำดับ พบว่าที่ OLR 4.67 gCOD/L.d และ HRT 12 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD 70.5% และการผลิตมีเทนได้สูงสุดเท่ากับ 0.95 L/L/d และที่ OLR 0.67 g COD/L.d และ HRT 36 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุด 89%
Alvarez and Liden (2008)	ใช้ถังย่อยไร้อากาศขนาด 2 L ในการหมักร่วมกันของของเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ขี้หมู และเศษผัก ผลไม้ในระดับ lab-scale เดินระบบแบบกึ่งต่อเนื่องที่อุณหภูมิ mesophilic (35 ^{0}C) พบว่าที่ OLR 0.3-1.3 kgVS/m^{3}.d โดยใช้สารตั้งต้นของส่วนประกอบทั้ง 3 อย่างเท่ากันมีอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด VS เท่ากับ 0.3 m^{3}/kgVS $_{added}$ และมีปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพ 54-56%

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซชีวภาพ และประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์สำหรับบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

1.3.2 เพื่อประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์มาใช้บำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบประสิทธิภาพการทำงาน และสภาวะที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง รวมทั้งทราบความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยมีสภาวะการเดินระบบบำบัดที่ควบคุมค่าเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) และสัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) จากนั้นเมื่อเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงที่ทุกชุดการทดลองจะหยุดเดินระบบเป็นเวลาประมาณ 3 เดือน เพื่อให้สอดคล้องกับฤดูยางผลัดใบ และเริ่มเดินระบบอีกครั้งเพื่อติดตามการตอบสนองและฟื้นตัวกลับของระบบ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งระบบหมักไร้อากาศดังกล่าว ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางบ้านยูงทอง หมู่ 3 ต. ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา

1.5.2 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์เพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบทั้ง 2 ระบบ กับระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2538

1.5.3 วิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว โดยนำมาหาค่า pH, Temperature, Alkalinity, Volatile Fatty Acids, BOD_5, TCOD, SCOD, SS, TKN, NH_4^+-N, TP, NO_3^-, MLSS และ MLVSS และวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ และวิเคราะห์ร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากระบบหมักไร้อากาศทั้ง 2 ระบบ

บทที่ 2
วิธีการวิจัย

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย

2.1.1 การศึกษาลักษณะน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง หมู่ 3 ต.ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์ (ภาพประกอบ 2-1 และ 2-2) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะน้ำเสียพื้นฐาน ได้แก่ Temperature, Volatile Fatty Acids, pH, Alkalinity, BOD_5, TCOD, SCOD, SS, TKN, NH_4^+-N, TP, NO_3^- และ SO_4^{-2}

2) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (Grab Sampling) โดยใช้ปั๊มแบบจุ่มใต้น้ำ (Submersible Pump) เป็นเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย และวิเคราะห์พารามิเตอร์ Temperature และ pH ทันทีขณะเก็บตัวอย่าง

3) วิเคราะห์คุณภาพของน้ำเสียในห้องปฏิบัติการตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21^{th}ed) (APHA, AWWA and WEF, 2005) และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540) ซึ่งพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ดังแสดงดังตารางที่ 2-1

2.1.2 การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจำนวน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (Modified Anaerobic Baffled Reactors; MABR) ได้ดำเนินการสร้าง MABR จำนวน 3 ชุดการทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

1) ถังปฏิกิริยา (Reactor) ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.48 cm สูง 1.2 m หนา 1 cm โดยระบบ MABR 1 ชุดการทดลองจะประกอบด้วยถังปฏิกิริยาจำนวน 3 ใบมาเรียงต่อกัน พร้อมมีฐานรองรับ ถังปฏิกิริยาแต่ละใบมีปริมาตร 85 L/reactor มีปริมาตรรวมทั้งระบบ 255 L และมีปริมาตรใช้งาน 68 L/reactor ทำให้มีปริมาตรใช้งานรวม (Working volume) 204 L และด้านบนของ

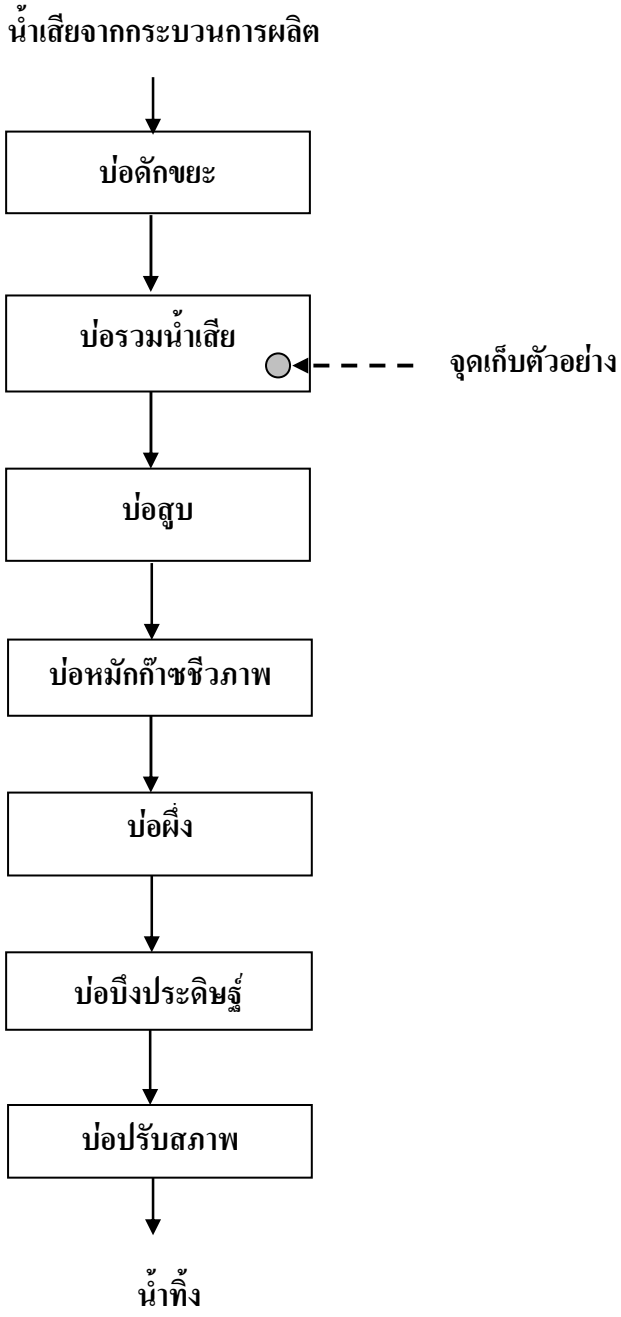
ถังปฏิกิริยาแต่ละใบจะปิดด้วยฝาครอบสเตนเลสเพื่อกักเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ และรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นผ่านทางสายยางซึ่งต่อเข้ากับถุงเก็บก๊าซชีวภาพ ดังภาพประกอบ 2-3 และ 2-4

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย

Parameters	Method
Temperature	Thermometer
pH	pH meter
BOD_5	5-Day BOD Test
TCOD	Close Reflux , Titration Method
SCOD	Filter/Close Reflux, Titration Method
Volatile fatty acids	Direct Titration Method*
Alkalinity	Direct Titration Method*
SS	Gravimetric Method
SO_4^{2-}	Gravimetric Method
TKN	Macro-Kjeldahl Method
NH_4^+-N	Titrimetric Method
Total Phosphorus	Persulfate Digestion, Vanadomolybdophosphoric Acid
NO_3^-	Cadmium Reduction Method

ที่มา : APHA, AWWA and WEF (2005)

* คือ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศ และ World Environment Center (2540)



ภาพประกอบ 2-1 จุดเก็บตัวอย่างและผังระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง

ภาพประกอบ 2-2 ลักษณะของบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (1) และจุดที่ใช้สูบน้ำเสียเข้าระบบ MABR และ MCL (2)

2) ปั๊มตู้ปลายี่ห้อ SONIC รุ่น AP 2500 ยี่ห้อ AQUARIUM LIQUID FILTER AC 220V/240V, 50 Hz, 29W/32W, H_{max} = 2 m, Q_{max} = 2,000 L/h, IPx8 จำนวน 1 ตัว สำหรับป้อนน้ำเสียเข้าระบบ และสูบน้ำเสียย้อนกลับ

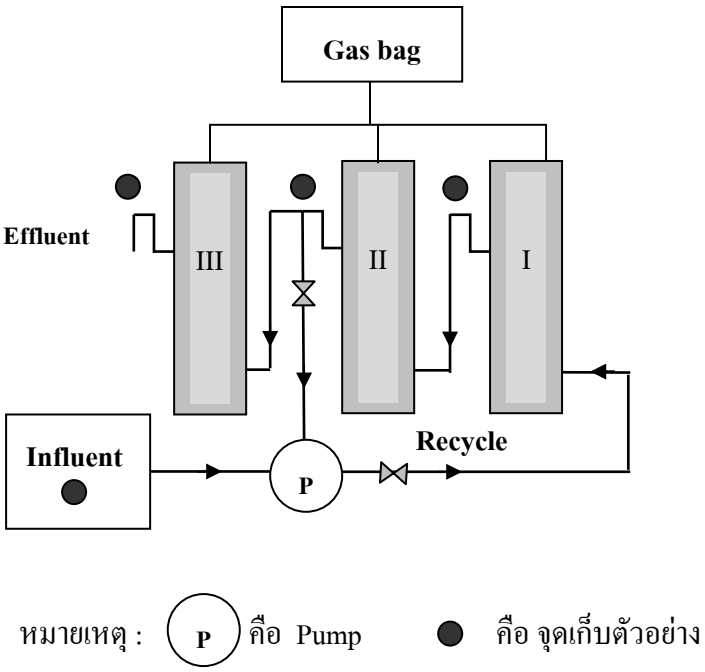
3) นาฬิกาตั้งเปิด-ปิดเวลา (Timer) สำหรับควบคุมเวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

4) วาล์วปรับอัตราการไหล ใช้บอลวาล์วพีวีซีสำหรับปรับอัตราการไหลในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

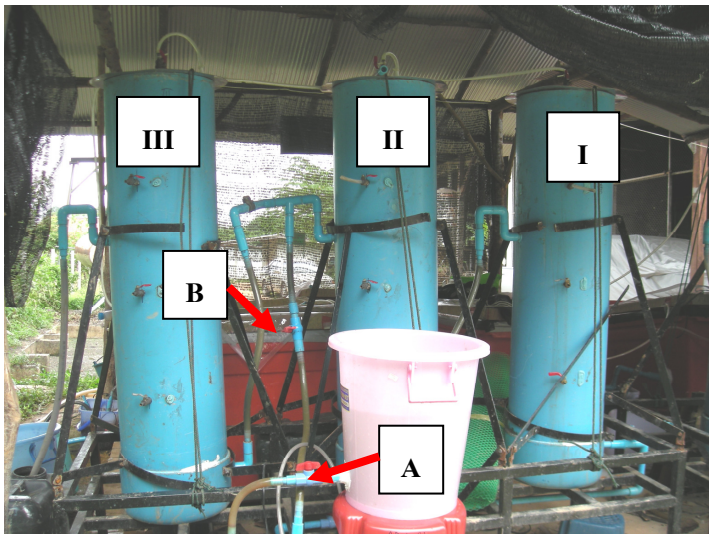
5) ถังป้อนน้ำเสีย (Feed Tank) ใช้ถังพลาสติกขนาด 30 L โดยมีบอลวาล์วพีวีซีควบคุมการเปิด-ปิดในขณะที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

6) ถังเก็บน้ำทิ้ง (Storage Tank) ใช้ในการรองรับน้ำทิ้งที่ผ่านจากระบบบำบัด

7) อุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพ ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm สูง 100 cm ทำงานโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ และใช้สายยางเชื่อมต่อระหว่างถุงเก็บก๊าซชีวภาพกับวาล์ว C ทางด้านบนของท่อพีวีซี จากนั้นเปิดวาล์ว C และ D เพื่อให้ก๊าซชีวภาพไหลผ่านสายยางและดันน้ำในท่อออกมาทางวาล์ว D ดังภาพประกอบ 2-5 จากนั้นวัดปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาและบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

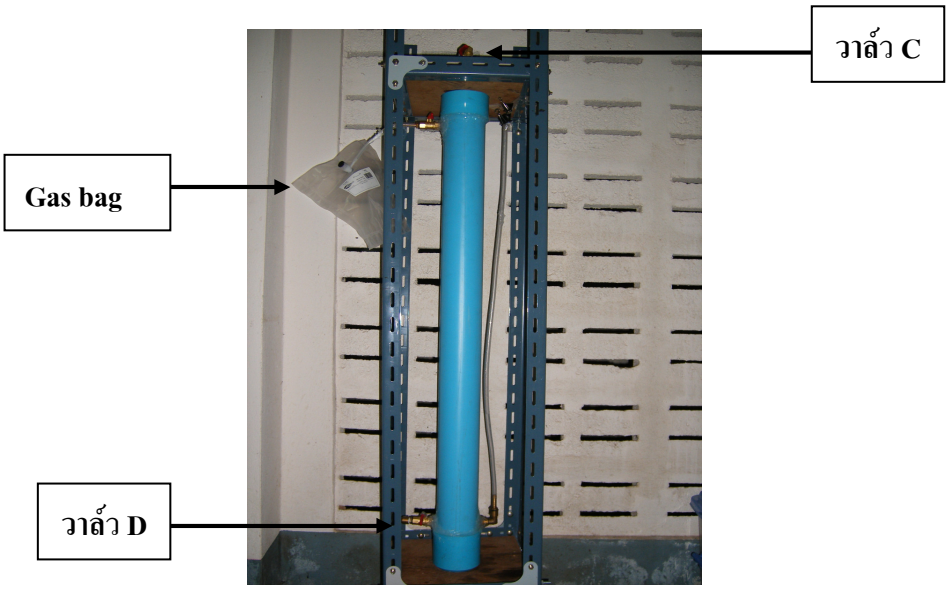


ภาพประกอบ 2-3 แบบจำลองระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์



หมายเหตุ : I, II และ III คือ ถัง MABR 1, 2 และ 3 ตามลำดับ A คือ วาล์วควบคุมการเปิด-ปิดสำหรับการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ และ B คือ วาล์วควบคุมการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

ภาพประกอบ 2-4 ลักษณะของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ที่ติดตั้ง ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง



ภาพประกอบ 2-5 ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดก๊าซชีวภาพจากถุงเก็บก๊าซ

2.1.2.2 การทำงานของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์

ระบบ MABR ทำงานโดยป้อนน้ำเสียเข้าในถัง I ซึ่งจะเปิดวาล์ว A (ป้อนน้ำเสีย) และปิดวาล์ว B (ควบคุมการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) น้ำเสียจะไหลเข้าทางด้านล่างของถัง I มากวนผสมกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากถัง I จะไหลเข้าไปถัง II และ III ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม. จากนั้นทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถัง II กลับมาถัง I ผ่านทางวาล์ว B ตามสัดส่วนเวลาการสูบน้ำเสียย้อนกลับระดับต่างๆ เป็นเวลา 20 ชม. และตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 2 ชม. ก่อนเริ่มป้อนน้ำเสียใหม่ในวันถัดไป

สำหรับในช่วงเวลาที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MABR นั้น ขั้นต้นผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถัง 3 มาถัง 1 แต่เมื่อได้ทดสอบการเดินระบบ พบว่าเมื่อสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถัง 3 กลับมาในถัง 1 นั้น ระดับน้ำเสียในถัง 3 ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่น้ำเสียจากถัง 1 ไหลกลับมาในถัง 2 และ 3 ช้าลง เป็นเหตุให้ระดับน้ำเสียในถัง 3 ต่ำกว่าระดับปริมาตรใช้งานของระบบและต่ำกว่าฝาครอบสเตนเลสที่กักเก็บก๊าซชีวภาพ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุให้มีการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพออกไปจากระบบได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับให้มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถัง 2 มาถัง 1 แทน

2.1.2.3 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (Modified Covered Lagoon Digester; MCL) ได้ดำเนินการสร้างระบบ MCL จำนวน 4 ชุด ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

1) บ่อ (Pond) ทำจากพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 65 cm ยาว 106 cm สูง 75 cm จำนวน 2 ใบ เชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซี บ่อมีปริมาตร 280 L/pond มีปริมาตรรวมทั้งระบบ 560 L และมีปริมาตรใช้งาน 252 L/บ่อ ทำให้มีปริมาตรใช้งานรวม (Working volume) ของระบบ 504 L จากนั้นคลุมบ่อด้วยแผ่นพีวีซีสีใสหนา 0.4 mm ซึ่งยึดติดไว้กับโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำจากท่อพีวีซี โดยใช้สายยางสอดไว้ด้านในโครงดังกล่าวเพื่อเป็นทางผ่านสำหรับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ จากนั้นเชื่อมต่อสายยางเข้ากับถุงเก็บก๊าซชีวภาพดังภาพประกอบ 2-6 และ 2-7 ตามลำดับ

2) ปั๊มตู้ปลายี่ห้อ SONIC รุ่น AP 2500 ยี่ห้อ AQUARIUM LIQUID FILTER AC 220V/240V, 50 Hz, 29W/32W, H_{max} = 2 m, Q_{max} = 2,000 L/h, IPx8 จำนวน 1 ตัว สำหรับป้อนน้ำเสียเข้าระบบ และสูบน้ำเสียย้อนกลับ

3) นาฬิกาตั้งเปิด-ปิดเวลา (Timer) สำหรับควบคุมเวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

4) วาล์วปรับอัตราการไหล ใช้บอลวาล์วพีวีซีสำหรับปรับอัตราการไหลในการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

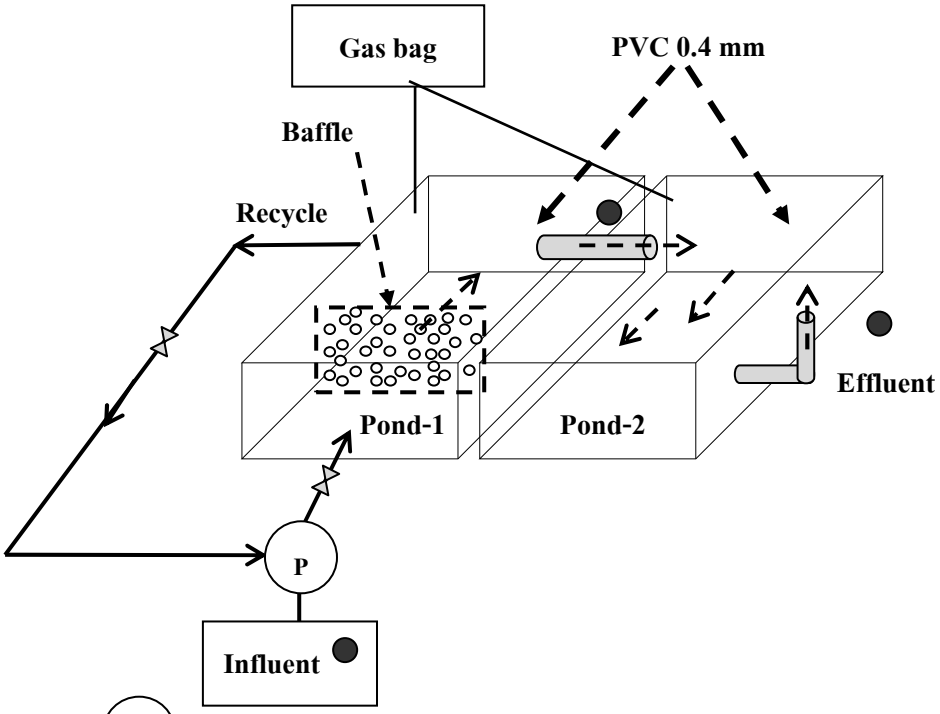
5) ถังป้อนน้ำเสีย (Feed Tank) ใช้ถังพลาสติกขนาด 30 L โดยมีบอลวาล์วพีวีซีควบคุมการเปิด-ปิดในขณะที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

6) ถังเก็บน้ำทิ้ง (Storage Tank) ใช้ในการรองรับน้ำทิ้งที่ผ่านจากระบบบำบัด

7) อุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพ (ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกับอุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพในระบบ MABR)

2.1.2.4 การทำงานของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์

ระบบนี้ประกอบด้วยบ่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 ใบมาเชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซี โดยบ่อ 1 ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยมีแผ่นกั้น (Baffle) ที่เจาะรูด้วยความถี่กระจายทั่วทั้งแผ่น และวางบ่อในลาดเอียงไปทางด้านที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อยเพื่อกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบผ่านทางปั๊มเข้าไปบ่อ 1 น้ำเสียจะกวนผสมกับตะกอนจุลินทรีย์ จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลเข้าบ่อ 2 และออกจากระบบตามลำดับ โดยใช้เวลาในการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม. จากนั้นทำการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากส่วนที่สองของบ่อ 1 กลับเข้าบ่อ 1 อีกครั้งด้วยสัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับระดับต่างๆ ในเวลา 20 ชม. จากนั้นตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 2 ชม. ก่อนเริ่มป้อนน้ำเสียใหม่ในวันถัดไป



หมายเหตุ : P คือ Pump ● คือ จุดเก็บตัวอย่าง

ภาพประกอบ 2-6 แบบจำลองระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์

หมายเหตุ : E คือ วาล์วปรับอัตราการไหล และ F คือ วาล์วควบคุมการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

ภาพประกอบ 2-7 ลักษณะของระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ที่ติดตั้ง ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง

2.1.3 เริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)

การเริ่มต้นเดินระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยใช้มูลสุกรจากฟาร์มสุกรจากเขตพื้นที่ จ.สงขลา เป็นหัวเชื้อตั้งต้น (Seed) มาเติมในถังปฏิกิริยาทั้ง 3 ใบ ให้มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 25,000 mg/L โดยเติมมูลสุกรลงในถังปฏิกิริยาประมาณ 53.5 L จากนั้นเติมน้ำเสียเข้าระบบจนครบทุกถังปฏิกิริยาที่มีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 68 L หรือคิดเป็นปริมาตรใช้งานรวมเท่ากับ 204 L ตั้งทิ้งไว้ 2 คืนเพื่อให้มูลสุกรได้คุ้นเคยกับน้ำเสียและพัฒนาไปเป็นจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ จากนั้นป้อนน้ำเสีย (Feed) เข้าระบบที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 20.4, 40.8 และ 81.6 L/d ตามลำดับ และเดินระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองที่สัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับ (Recycle period ratio; R_t) เท่ากับ 100% จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable condition) พิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD มีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% จากนั้นเปลี่ยนมาเดินระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t=50% และ 0% ตามลำดับ

การเริ่มต้นเดินระบบ MCL ทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยใช้มูลสุกรจากฟาร์มสุกรในเขตพื้นที่ จ.สงขลา มาเป็นหัวเชื้อตั้งต้น กำหนดให้มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 25,000 mg/L โดยเติมมูลสุกรในบ่อ 1 เท่ากับ 176.8 L และบ่อ 2 เท่ากับ 35.4 L (20% ของบ่อ 1) จากนั้นเติมน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 บ่อซึ่งมีปริมาตรใช้งานเท่ากับ 252 L หรือคิดเป็นปริมาตรใช้งานรวมเท่ากับ 504 L ตั้งทิ้งไว้ 2 คืน เพื่อให้จุลินทรีย์ในมูลสุกรได้คุ้นเคยกับน้ำเสียและพัฒนาไปเป็นจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสีย (Feed) เข้าระบบที่ HRT 30 วัน ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 16.8 L/d และเดินระบบที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% ตามลำดับ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว พิจารณาจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD มีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% และเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=0% จำนวน 1 ชุดการทดลอง

2.1.4 แผนการทดลองเดินระบบ MABR และ MCL

การทดลองครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 เดินระบบ MABR และ MCL ภายใต้ค่า HRT และ R_t ระดับต่างๆ โดยมีสภาวะการทำงานดังแสดงในตารางที่ 2-2 โดยระบบ MABR แบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ (1) MABR-10 เดินระบบภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=100%, 50% และ 0% ตามลำดับ (2) MABR-5 เดินระบบภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=100%, 50% และ 0% ตามลำดับ และ (3) MABR-2.5 เดินระบบภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=100%, 50% และ 0% ตามลำดับ สำหรับระบบ MCL จะเดินระบบภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% ตามลำดับ ในระยะที่ 2 จะเดินระบบ MABR และ MCL เพื่อติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบหลังฤดูยางผลัดใบ (หยุดเดินระบบประมาณ 3 เดือน) พิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่ดีที่สุด พร้อมทั้งพิจารณาค่าใช้จ่ายในการเดินระบบควบคู่กัน

สำหรับการเดินระบบ MABR และ MCL ได้กำหนดวัฏจักรในการเดินระบบ MABR และ MCL ที่สภาวะต่างๆ ในรอบเวลา 24 ชม. โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม. สูบน้ำเสียย้อนกลับ 20 ชม. และปล่อยทิ้งให้ตกตะกอน 2 ชม. แล้วเริ่มป้อนน้ำเสียใหม่เข้าระบบในวันต่อไป โดยในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ 20 ชม. จะแบ่งออกเป็น 5 รอบ รอบละ 4 ชม. ดังแสดงในตารางที่ 2-3

2.1.5 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบ MABR และ MCL เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MABR ระบบ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538 ในประเด็นค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัด จากนั้นนำผลการประเมินที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อเสนอความเป็นไปได้ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

2.1.6 การศึกษาก๊าซชีวภาพ

ศึกษาก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบ MABR และ MCL โดยการเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบไว้ในถุงเก็บก๊าซชีวภาพ และนำมาวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับวัดก๊าซชีวภาพซึ่งจะทำการวัดทุกวัน สำหรับองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการวิเคราะห์ก๊าซมีเทน (CH_4) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Hewlette Packard รุ่น HP6890 สำหรับ Detector ที่ใช้คือ Thermal Conductivity Detector (TCD)

ตารางที่ 2-2 สภาวะการทำงานของระบบ MABR และ MCL ภายใต้ค่า HRT และ R_t ระดับต่างๆ

Treatment	HRT (d)	Recycle period ratio* (R_t) (%)	Feed (L/d)	TCOD** (mg/L)	OLR (kgCOD/m^3·d)
MABR System					
MABR-10	10	100	20.4	3,100	0.31
		50		3,863	0.39
		0		5,590	0.56
MABR-5	5	100	40.8	3,100	0.62
		50		3,863	0.77
		0		5,590	1.12
MABR-2.5	2.5	100	81.6	3,100	1.24
		50		3,863	1.55
		0		5,590	2.24
MCL System					
MCL	30	100	16.8	3,459	0.12
		75			
		50			
		25			
		0		5,590	0.19

หมายเหตุ : * คือ Recycle period ratio; $R_t = \frac{\text{เวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อรอบ (ชม.)}}{\text{เวลาต่อรอบ (4 ชม.)}} \times 100\%$

** คือ ค่า TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ

ตารางที่ 2-3 สัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับในเวลา 20 ชม. ของการเดินระบบ MABR และ MCL

Treatment	HRT (d)	R_t	Feed	*Recycle Effluent ratio (R_v)	สูบน้ำเสียย้อนกลับ (ชม.)	หยุดสูบ (ชม.)
MABR System						
MABR-10	10	100	20.4	12.64	4	-
		50		6.32	2	2
		0		-	-	-
MABR-5	5	100	40.8	6.32	4	-
		50		3.16	2	2
		0		-	-	-
MABR-2.5	2.5	100	81.6	3.16	4	-
		50		1.58	2	2
		0		-	-	-
MCL System						
MCL	30	100	16.8	56.36	4	-
		75		42.27	3	1
		50		28.18	2	2
		25		14.09	1	3
		0		-	-	-

หมายเหตุ * คือ Recycle Effluent ratio; $R_v = \frac{\text{Recycle flow rate (L/d)}}{\text{Influent flow rate (L/d)}}$ โดยวิธีคำนวณดังแสดงในภาคผนวก จ

2.1.7 ความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบ MABR และ MCL

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ MABR และ MCL แสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ความถี่ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR และ MCL

Parameter	Frequency of monitoring
pH	1 ครั้ง/สัปดาห์
Temperature	1 ครั้ง/สัปดาห์
TCOD	1 ครั้ง/สัปดาห์
SCOD	1 ครั้ง/สัปดาห์
Volatile fatty acid	1 ครั้ง/สัปดาห์
Alkalinity	1 ครั้ง/สัปดาห์
SS	1 ครั้ง/สัปดาห์
BOD_5	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
TKN	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
NH_4^+-N	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
NO^-_3	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
$S0^{-2}_4$	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
TP	1 ครั้งในช่วงสภาวะคงที่ของแต่ละ condition
Biogas production	ทุกวัน
Gas composition	1 ครั้ง/condition
MLSS	เริ่มต้น/สิ้นสุดการทดลอง
MLVSS	เริ่มต้น/สิ้นสุดการทดลอง

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t ต่างๆ และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%,75%, 50%, 25% และ 0% ตามลำดับ ในรูปของร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ One Way Analysis of Variance; ANOVA เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของแต่ละระบบ

2.3 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.3.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง คือน้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง ต. ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา (ภาพประกอบ 2-2)

2.3.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) นำมาจากฟาร์มสุกร ของบริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ใน อ. รัตภูมิ จ. สงขลา

2.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 2-1 ตามวิธีใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21 thed) (APHA, AWWA and WEF, 2005) และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540)

2.4 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

2.4.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ ได้แก่

1) ขวดโพลิเอทธิลีนขนาด 1 ลิตร

2) ปั๊มไดโว่ (Submersible Pump) แรงส่งน้ำ 6 m อัตราการไหล 25 L/min ผลิตภัณฑ์ของ Clintion Type QDX 1.5-16-0.37

2.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

1) Refrigerated superspeed centrifuge ผลิตภัณฑ์ของ Sorvall รุ่น Super

2) Touch mixer ผลิตภัณฑ์ของ Fisher Scientific รุ่น 321

3) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ของ Mettler Toledo รุ่น PB1502

4) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ของ Mettler Toledo รุ่น AB204

5) เครื่องลดปริมาตรตัวอย่าง (Rotary Evaporator) ผลิตภัณฑ์ของ Buchi รุ่น R-114

7) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ผลิตภัณฑ์ของ WTW รุ่น pH 526

8) ตู้อบความร้อนแห้ง (Hot air oven) ผลิตภัณฑ์ของ Contherm รุ่น 240M

9) เตาเผา (Furnace) ผลิตภัณฑ์ของ Thermolyne รุ่น 6000

10) เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (Magnetic stirrer) และเตาไฟฟ้า (Hot plate) ของ Framo รุ่น M 21/1

11) เครื่องปั๊มดูดสุญญากาศ (Vacuum pump) ผลิตภัณฑ์ของ GAST รุ่น 0296

12) ตู้ดูดความชื้น (Desicator) ผลิตภัณฑ์ของ Sanplatee

13) ตู้บ่มบีโอดี (BOD incubator) ผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ

14) เตาย่อยสลายตัวอย่างสำหรับซีโอดีแบบปิด (Heating Blocks) ผลิตภัณฑ์ของ J.P Selecta รุ่น R.A.T.

15) ชุดกลั่นแอมโมเนีย (Ammonia Distillation Apparatus) ผลิตภัณฑ์ของ Gerhardt รุ่น EV 16

2.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Hewlette Packard รุ่น HP6890

บทที่ 3
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองในระยะที่ 1 เป็นผลการเดินระบบ MABR จำนวน 3 ชุดการทดลอง ภายใต้ HRT และ R_t ต่างๆ และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ และผลการทดลองในระยะที่ 2 เป็นผลการเดินระบบ MABR และ MCL เพื่อติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับหลังฤดูยางผลัดใบ และผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการเดินระบบ MABR และ MCL

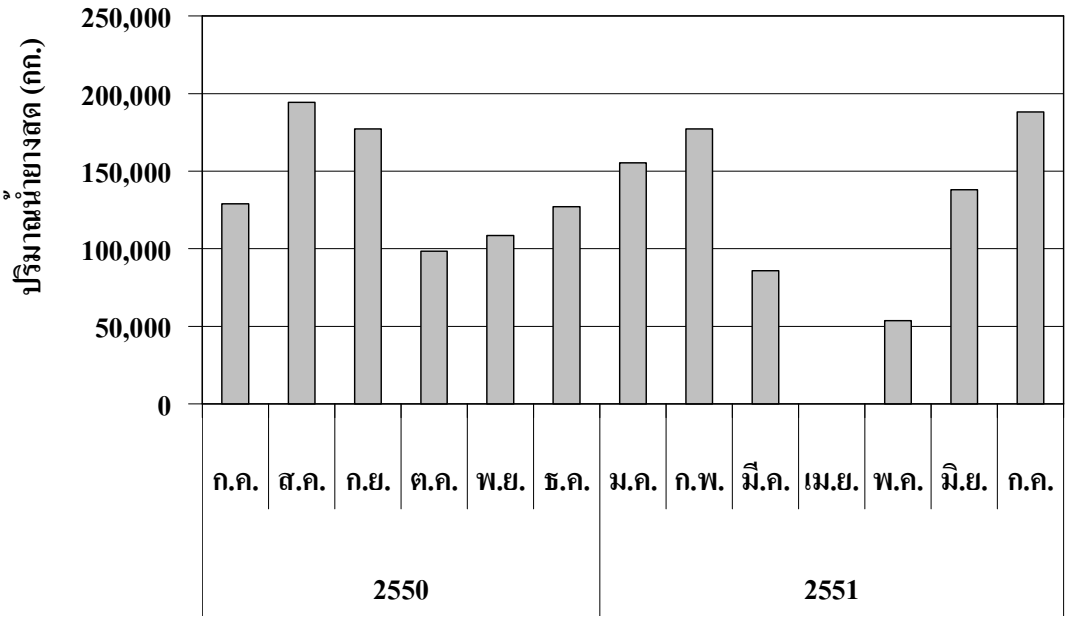
3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง ตั้งอยู่หมู่ 3 ต. ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา ทดลองในระหว่างเดือน ก.ค. 2550-ส.ค. 2551 ลักษณะและสมบัติของน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง

Parameter	Range	Mean±SD
Temperature (^{O}C)	24.4-32.2	28.3±1.7
pH	5.09-6.58	5.57±0.33
Alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	200-1,350	854±247
VFA (mg/L as CH_3COOH)	140-2,130	1,150±456
BOD_5 (mg/L)	1,362-3,554	2,608±705
TCOD (mg/L)	1,782-6,811	3,710±900
SCOD (mg/L)	404-4,798	2,608±705
SS (mg/L)	123-640	316±111
TKN (mg/L)	62-195	128±48
NH_4^+-N (mg/L)	41-165	101±33
SO^{2-}_4 (mg/L)	38-179	106±53
TP (mg/L)	33-115	77±25
NO^-_3 (mg/L)	0.08-0.44	0.19±0.16

สำหรับน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีค่า pH เฉลี่ย 5.57±0.33 และ VFA เฉลี่ย 1,150±456 mg/L as CH_3COOH เนื่องจากในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีการเติมกรดฟอร์มิค (HCOOH) ช่วยในการจับตัวของน้ำยางทำให้น้ำเสียมีสภาพความเป็นกรดสูงประกอบกับบ่อรวมน้ำเสียเกิดสภาวะการหมักไร้อากาศ เนื่องจากบริเวณผิวหน้าของบ่อมีเศษยางปกคลุมทำให้บางบริเวณของบ่อแปรสภาพเป็นกึ่งไร้อากาศพร้อมกันนี้สารแขวนลอยที่ไม่ได้จับตัวกันเป็นก้อนกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณผิวหน้าบ่อ โดยมีความเข้มข้นของ SS เฉลี่ยเท่ากับ 316±111 mg/L และมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรูปของ TCOD อยู่ในช่วง 1,782-6,811 mg/L เฉลี่ยเท่ากับ 3,710±900 mg/L ซึ่งจะเห็นว่าช่วงค่า TCOD มีความผันแปรสูง เนื่องจากปริมาณน้ำยางสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางแผ่นรมควันจะมีความผันแปรไปตามฤดูกาลประกอบกับบางช่วงมีฝนตกส่งผลให้ TCOD มีความเข้มข้นลดลงสอดคล้องกับน้ำยางสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทองยูงทองในเดือน ส.ค.-ก.ย. 2550 เดือน ม.ค.-ก.พ. และ ก.ค. 2551 มีปริมาณน้ำยางสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบสูงสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ทำการทดลองที่มีค่า TCOD สูงตามไปด้วย (ภาพประกอบ 3-1)



หมายเหตุ : ในเดือน เม.ย. 2551 ทางสหกรณ์ยูงทองไม่มีการผลิตยางแผ่นรมควันเนื่องจากเป็นช่วงฤดูยางผลัดใบ

ภาพประกอบ 3-1 ปริมาณน้ำยางสดในช่วงเดือน ก.ค. 2550-ส.ค. 2551 ขณะทำการทดลองเดินระบบ MABR และ MCL

ที่มา : สหกรณ์ยางยูงทอง จำกัด, 2551

3.2 ผลการทดลองระยะที่ 1

3.2.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ

การเริ่มต้นเดินระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยนำมูลสุกรในเขตพื้นที่ จ. สงขลา มาเป็นหัวเชื้อตั้งต้น (Seed) เติมลงในถังปฏิกิริยาทั้ง 3 ถังของทุกชุดการทดลองให้มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 25,000 mg/L จากนั้นเติมน้ำเสียเข้าระบบจนครบทุกถังปฏิกิริยา ตั้งทิ้งไว้ 2 วันเพื่อให้มูลสุกรตกตะกอนและปรับตัวเข้ากับน้ำเสีย หลังจากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบ MABR-10 (HRT 10 วัน), MABR-5 (HRT 5 วัน) และ MABR-2.5 (HRT 2.5 วัน) แล้วเริ่มเดินระบบทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t=100% จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable condition) พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% จากนั้นเปลี่ยนมาเดินระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ที่ R_t=50% และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) ตามลำดับ

ในระยะแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% พบว่า ในช่วง 75 วันแรกระบบเกิดการชะล้าง (wash out) ตะกอนจำนวนมาก เนื่องจากมูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ และพบว่ามีฝนตกบางช่วงของการเดินระบบทำให้ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียมีความผันแปร จึงต้องใช้เวลาในการเดินระบบค่อนข้างนานจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว ทั้งนี้อาจเป็นผลดีต่อมูลสุกรที่เติมลงไปเป็นเชื้อตั้งต้นเนื่องจากทำให้มูลสุกรค่อยๆ ปรับตัวพัฒนาไปเป็นจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศและทำงานได้ดีในน้ำเสียประเภทนี้ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 เฉลี่ยเท่ากับ 56.5%, 63.6% และ 61.8% ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ระบบมีค่า pH, VFA และ Alkalinity ของระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบไร้อากาศ

สำหรับการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของช่วงเริ่มต้นเดินระบบไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากพบปัญหาการอุดตันของตะกอนจุลินทรีย์และ SS ในสายยางที่เชื่อมต่อระหว่างถังปฏิกิริยาในระยะที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ โดยน้ำเสียจะไหลจากถัง 1 เข้าถัง 2 ช้าลงทำให้ระดับของน้ำเสียในถัง 1 สูงกว่าถัง 2 จึงมีผลให้ระดับน้ำเสียในระบบทั้ง 3 ถังปฏิกิริยาไม่อยู่ในระดับปริมาตรใช้งานจริง ส่งผลให้ระดับน้ำเสียในถัง 2 ต่ำกว่าขอบของฝาครอบสเตนเลสที่ใช้สวมครอบปิดด้านในของถังปฏิกิริยาเป็นผลให้ก๊าซชีวภาพเกิดการรั่วไหลออกนอกระบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยตรวจสอบการไหลของน้ำเสียที่ผ่านจากถัง1ไปถัง 2 ในระยะที่ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ และตรวจสอบระดับน้ำเสียให้อยู่ในระดับปริมาตรใช้งานจริงของแต่ละถังปฏิกิริยาขณะที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบเป็นประจำทุกวัน

3.2.2 ผลการทดลองของระบบ MABR

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ MABR ภายใต้ HRT และสัดส่วนเวลาการสูบย้อนกลับ (R_t) ระดับต่างๆ โดยทดลองเดินระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% ใช้เวลาทั้งหมด 192 วัน เดินระบบที่ R_t=50% ใช้เวลาทั้งหมด 23 วัน และเดินระบบที่ R_t=0% ใช้เวลาทั้งหมด 68 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

ก) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 24.4-32.2^{0}C และน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วง 23.5-32.5^{0}C

ข) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 5.09-6.58 และค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากนั้นลดลงจนค่อนข้างคงที่ เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=50% พบว่าค่า pH มีแนวโน้มลดลงซึ่งต่ำกว่าช่วงที่เริ่มต้นเดินระบบ และที่ R_t=0% ซึ่งเดินระบบหลังช่วงฤดูยางผลัดใบ พบว่าค่า pH ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพประกอบ 3-2, 3-3 และ 3-4) และเมื่อเปรียบเทียบ pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่สภาวะคงตัว พบว่าที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีค่า pH ของน้ำทิ้งสูงกว่าที่ R_t=50% เนื่องจากที่ R_t สูง (100%) มีระยะเวลาในการสูบน้ำเสียย้อนกลับมากกว่าที่ R_t ต่ำ (50%) ทำให้มีการหมุนเวียนนำ Alkalinity กลับมาใช้ในระบบได้มากกว่าจึงทำให้ pH ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้น (ปิยะพันธ์ นุชท่าโพ, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งโดยพบว่าที่ R_t=100% มีความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งต่ำกว่าที่ R_t=50% (ตารางที่ 3-3) และเมื่อพิจารณาค่า pH ตามค่า HRT พบว่าค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ที่ R_t=100% และ 50% ของทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสูบน้ำเสียย้อนกลับทำให้มีการหมุนเวียน Alkalinity กลับมาใช้ในระบบ ขณะที่ค่า pH ในน้ำทิ้งที่ R_t=0% ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นหรือมี OLR เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการย่อยสลายเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA สูงขึ้น แต่อัตราการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพต่ำกว่าจึงทำให้เกิดการสะสม VFA ในระบบ และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับระบบยังสามารถทำงานได้ดี โดยค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Metcalf

and Eddy, 2004) และผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

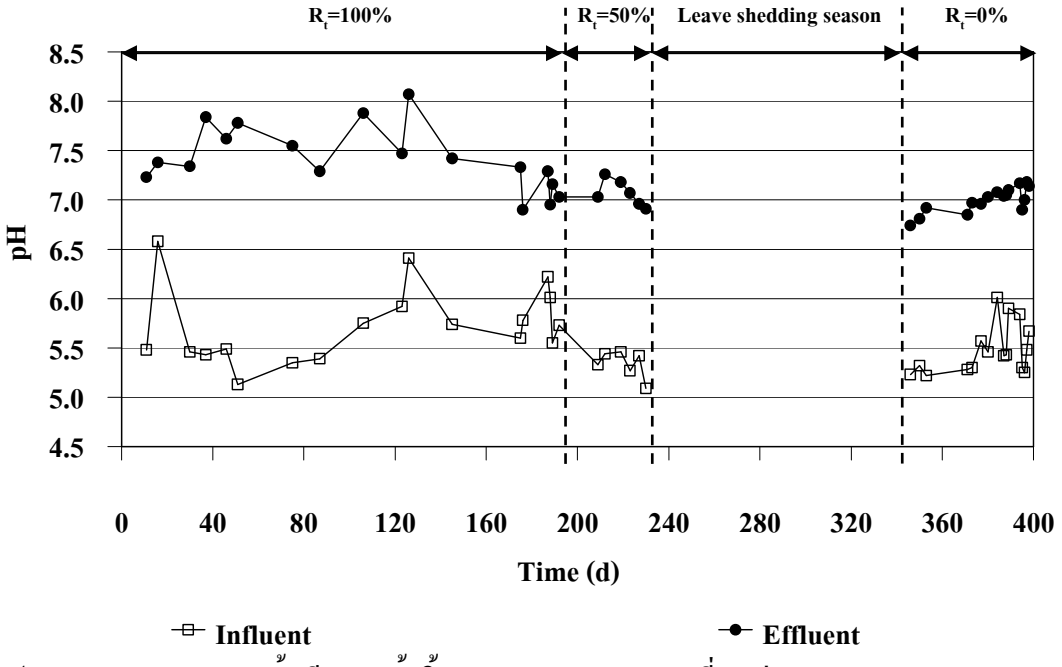
จากการพิจารณาค่า pH ในน้ำทิ้งจากแต่ละถังปฏิกิริยาในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว (ตารางที่ 3-2) พบว่าค่า pH เพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากถัง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองของถัง 1, 2 และ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดี ยกเว้นค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t=0% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.22±0.24 ซึ่งมีค่าอยู่ในระหว่างช่วงที่จุลินทรีย์สร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ดีคือ 3.5-6.5 ทั้งนี้เนื่องจากที่ HRT ต่ำมีปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบหรืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) สูงกว่าที่ HRT สูง (10 และ 5 วัน) ทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ลดลง จึงเกิดการสะสม VFA ไว้ในระบบ

เมื่อพิจารณาค่า pH ในน้ำทิ้งตามค่า HRT ที่ R_t ต่างๆ ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าค่า pH ในน้ำทิ้งที่ R_t=100% และ 50% มีค่าสูงกว่าที่ R_t=0% ในถัง 1 และ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่สภาวะดังกล่าวมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ จึงทำให้มีการหมุนเวียนนำสภาพด่างกลับมาใช้ในระบบ ส่งผลให้ pH ของระบบเพิ่มสูงขึ้น โดยช่วงค่า pH จากแต่ละถังปฏิกิริยาที่เพิ่มสูงขึ้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก จึงเปรียบการทำงานของระบบได้กับถังปฏิกิริยาเพียงถังเดียว ขณะที่ค่า pH ของน้ำทิ้งที่ R_t=0% มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการเดินระบบที่ R_t=0% ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ มี OLR สูงกว่าที่ R_t=100% และ 50% อีกทั้งที่สภาวะนี้ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับหรือไม่มีการกวนผสมของน้ำเสียในระบบ ส่งผลให้การทำงานของถัง 1 คล้ายกับถังผลิตกรด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t=0% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.22±0.24 สอดคล้องกับค่า pH ที่ทำให้กระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 5.8-6.2 (Zeotemeyer *et al*., 1982 อ้างถึงใน ธนาวัฒน์ รักกมล, 2549) ขณะที่การทำงานของถัง 2 และ 3 มีค่า pH อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีซึ่งมีการทำงานเปรียบได้กับถังสร้างมีเทน และจากการศึกษาการใช้ถังหมักย่อยแบบไร้อากาศแบบ 2 ขั้นตอน บำบัดของเสียจากโรงกลั่นสุราภายใต้สภาวะ mesophilic ซึ่งประกอบด้วยถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter; AF) เป็นถังสร้างกรด และระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) เป็นถังสร้างมีเทน ได้แนะนำสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของถังสร้างกรดที่ภาระบรรทุก 2-4 kg COD/m^3.d ที่ค่า pH เท่ากับ 6.0 และถังสร้างมีเทนที่ภาระบรรทุก 1-2 kg COD/m^3.d ที่ค่า pH เท่ากับ 7.6 (Blonskaja *et al*., 2003)

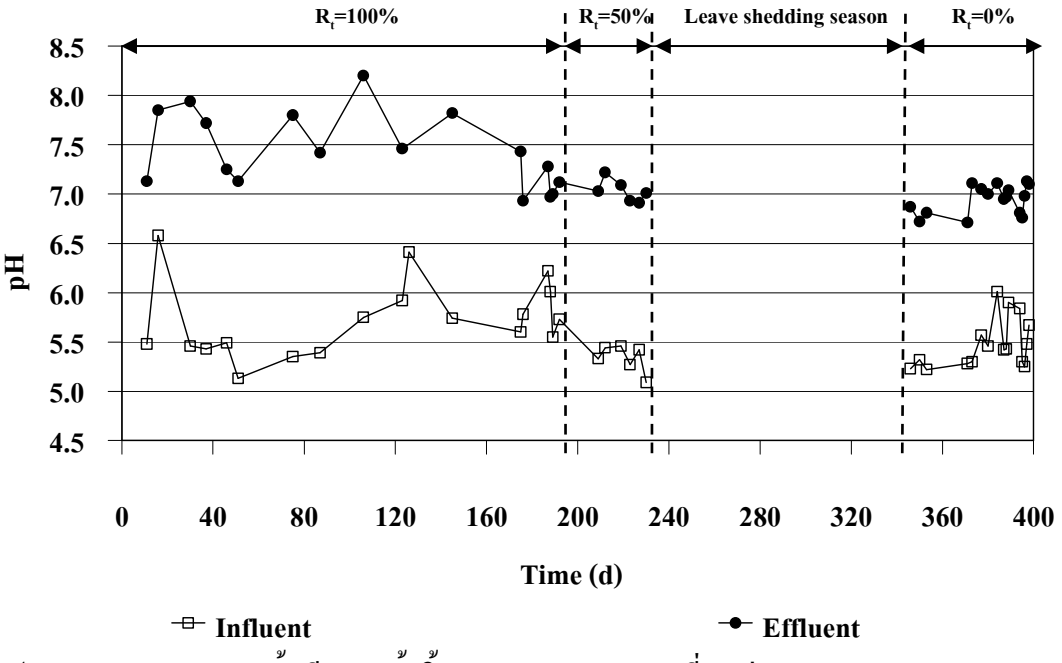
เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ VFA ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% พบว่าความเข้มข้นของ VFA มีค่าสูงในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ จากนั้นมีแนวโน้มลดลงจนค่อนข้างคงที่ เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=50% และ 0% ในทุกชุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ VFA ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพประกอบ 3-5, 3-6 และ3-7) และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ VFA ของระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่สภาวะคงตัว พบว่าที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีความเข้มข้นของ VFA ต่ำกว่า R_t=50% เนื่องจากที่ R_t สูงมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบด้วยระยะเวลาที่สูงกว่า R_t ต่ำจึงเป็นการนำน้ำเสียกลับมาสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์และนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่ถึงปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายกลับเข้าสู่ระบบเพื่อย่อยสลายใหม่อีกครั้งทำให้ VFA ในน้ำทิ้งลดลง สอดคล้องกับการศึกษาการเดินระบบ ASBR ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ OLR 2.1-3.2 kgCOD/m^3.d โดยใช้อัตราส่วนเวลาการเติมน้ำเสียต่อการรีไซเคิล (F/C) เท่ากับ 0.25, 0.42 และ 0.75 โดยไม่มีการควบคุม pH จากภายนอก พบว่าเมื่อเดินระบบด้วย F/C ratio เพิ่มขึ้นทำให้การสะสมของกรดลดลง และ pH ของระบบเพิ่มสูงขึ้น (Shizas and Bagley, 2002) ขณะที่ความเข้มข้นของ VFA ที่ R_t=0% มีค่าสูงกว่าที่ R_t=100% และ 50% เนื่องจากที่สภาวะนี้ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบจึงไม่มีการหมุนเวียนนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดกลับมาย่อยสลายใหม่ได้อีก และพบว่าระดับความเข้มข้นของ VFA จากระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองชุดที่สภาวะคงตัวมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 50-500 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) อีกทั้งผลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของ VFA ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณา Alkalinity ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 200-1,350 mg/L as $CaCO_3$ และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัด Alkalinity ในน้ำทิ้งของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ และหลังจากวันที่ 160 มีค่าค่อนข้างจะคงที่ จากนั้นเมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=50% Alkalinity มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง และที่ R_t=0% พบว่า Alkalinity ของระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเดินระบบและลดลงในช่วงหลัง (ภาพประกอบ 3-8, 3-9 และ 3-10) และเมื่อเปรียบเทียบ Alkalinity ของระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่สภาวะคงตัว พบว่าที่ R_t=50% มีค่าสูงกว่าที่ R_t=0% และ 100% ตามลำดับ อีกทั้งพบว่า Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากในน้ำเสียเข้าระบบนั้นมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบจึงมีการย่อยสลายให้แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ (Leslie Grady *et al*., 1999) และผลทางสถิติพบว่า Alkalinity ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ มีความ

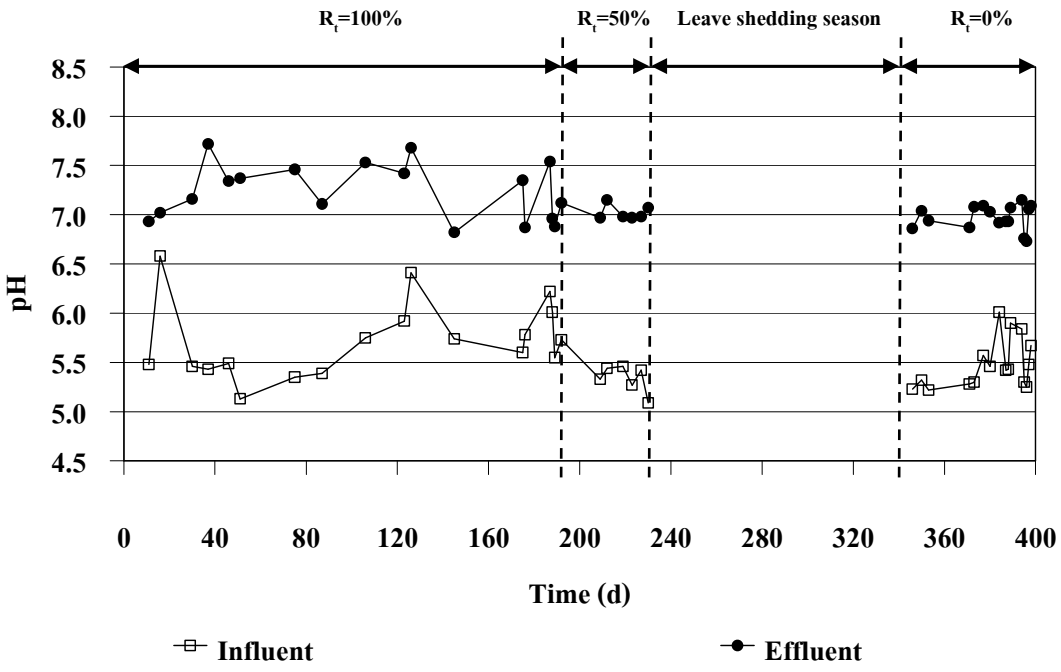
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาค่า VFA:Alkalinity ของระบบ MABR ในทุกชุดการทดลองที่สภาวะคงตัว พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.13 ซึ่งต่ำกว่า 0.4 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ข) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ดี มีบัฟเฟอร์เพียงพอสำหรับต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และการสะสมของ VFA ในระบบ



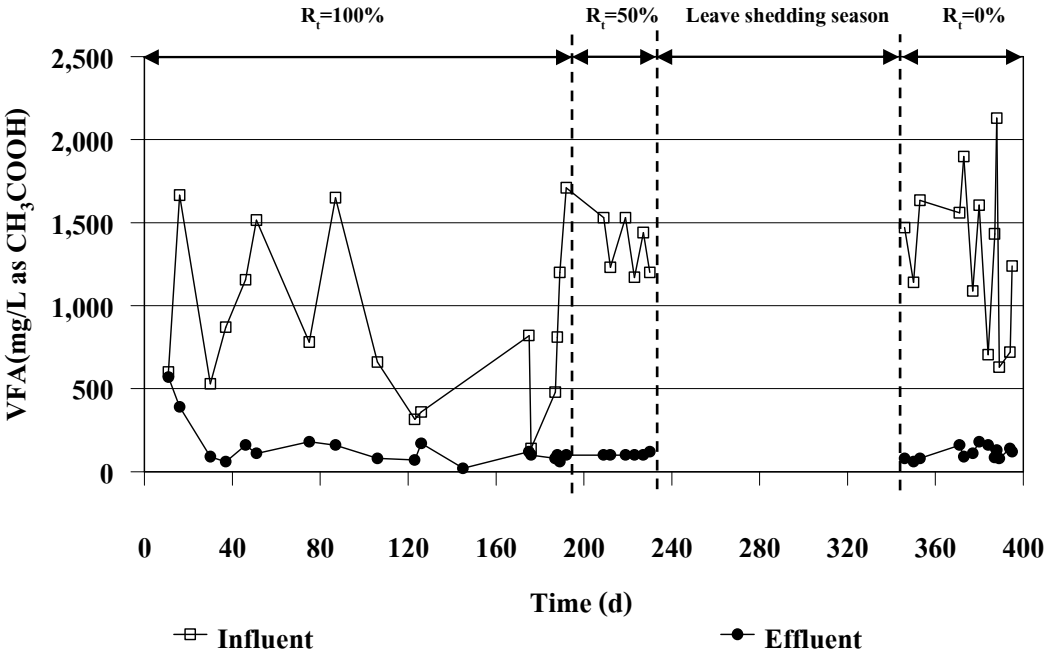
ภาพประกอบ 3-2 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ



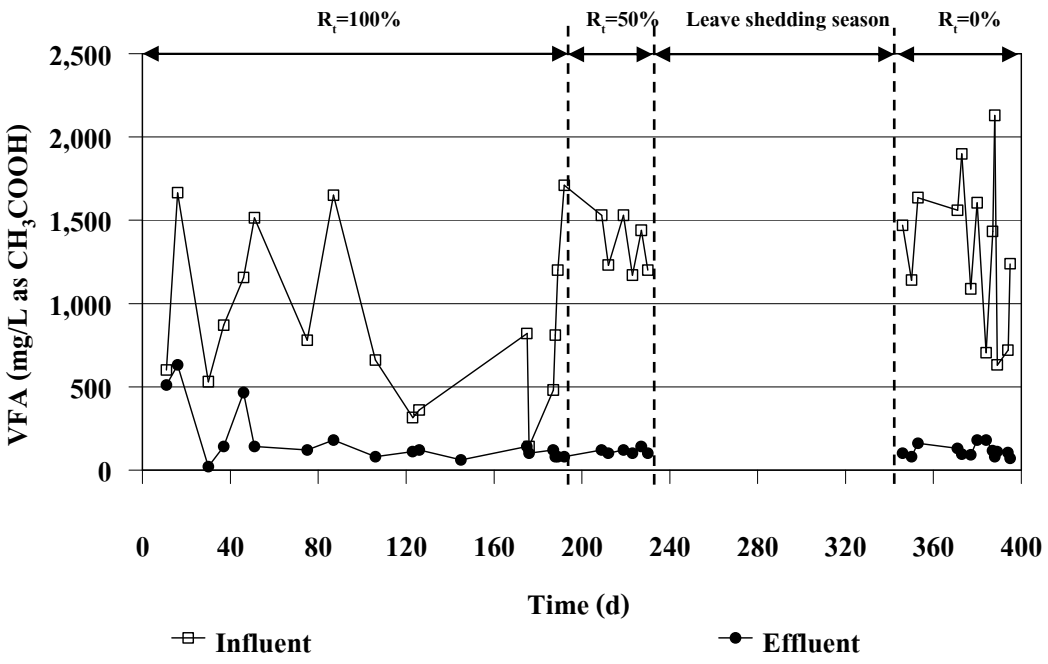
ภาพประกอบ 3-3 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ



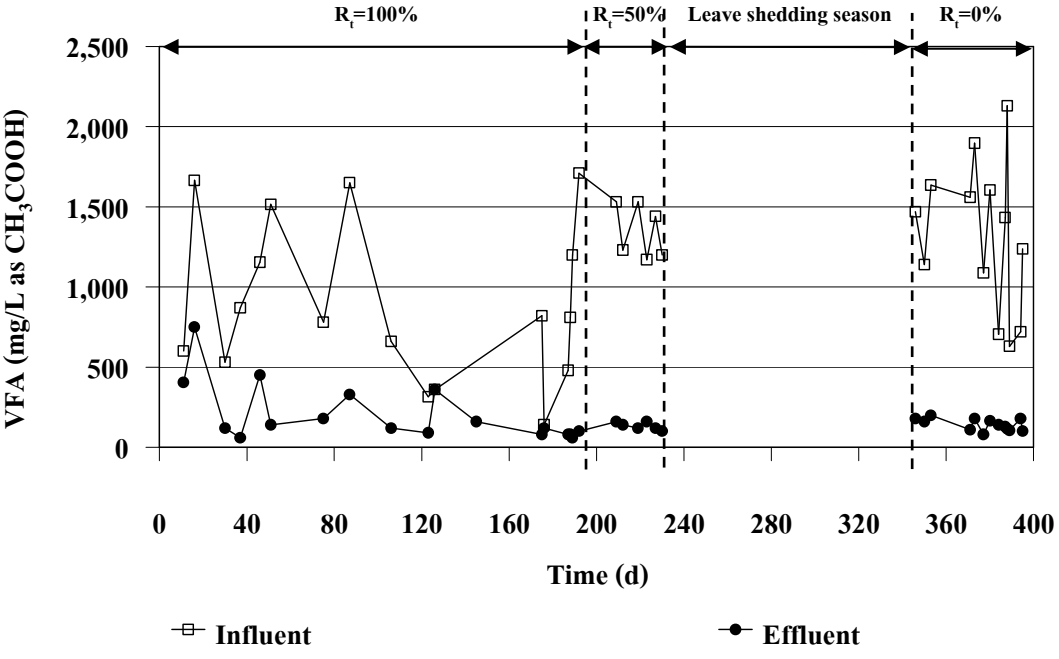
ภาพประกอบ 3-4 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ



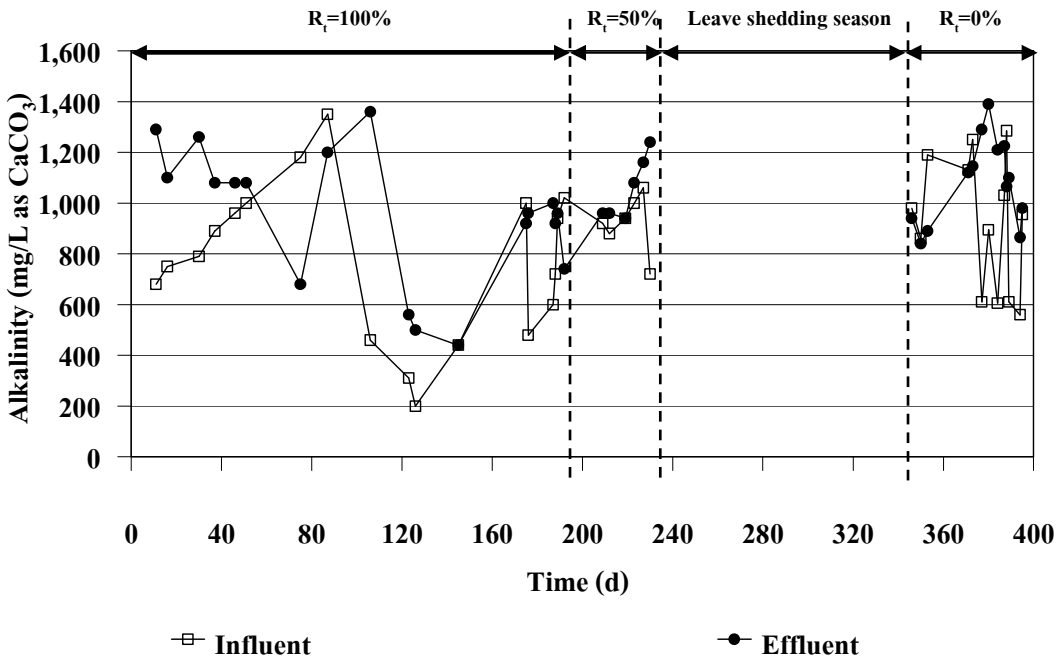
ภาพประกอบ 3-5 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ



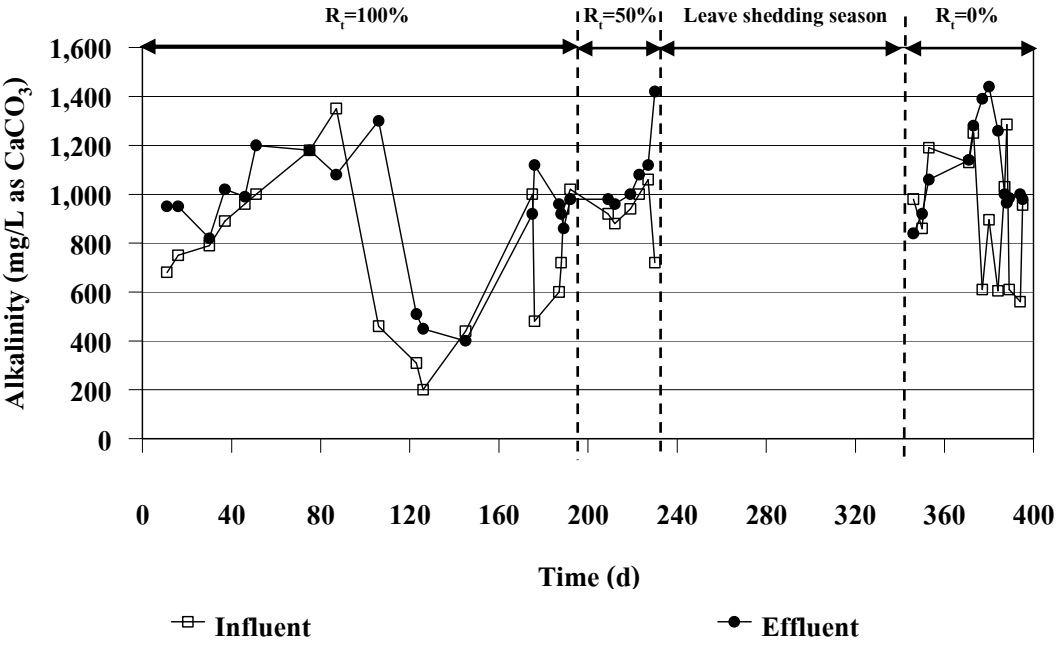
ภาพประกอบ 3-6 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ



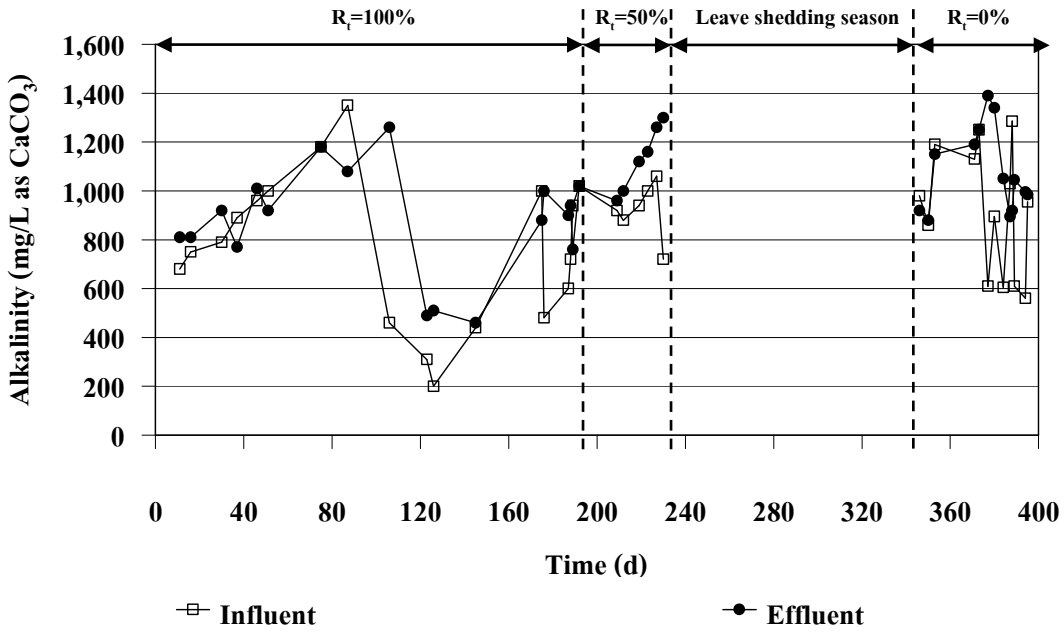
ภาพประกอบ 3-7 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-8 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-9 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-10 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ

ตารางที่ 3-2 เปรียบเทียบค่า pH ในน้ำทิ้งของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกิริยาที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	pH			
			Influent	Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
MABR-10	10	100	5.93±0.34	6.83±0.11	6.93±0.11	7.13±0.17
		50	5.26±0.17	6.68±0.22	6.87±0.04	6.98±0.08
		0	5.47±0.21	6.61±0.18	6.86±0.18	7.11±0.09
MABR-5	5	100	5.93±0.34	6.77±0.06	6.97±0.17	7.08±0.17
		50	5.26±0.17	6.77±0.25	6.88±0.07	6.95±0.05
		0	5.47±0.21	6.58±0.05	6.85±0.18	7.07±0.08
MABR -2.5	2.5	100	5.93±0.34	6.77±0.14	6.84±0.14	7.13±0.36
		50	5.26±0.17	6.70±0.20	6.90±0.04	7.01±0.06
		0	5.47±0.21	6.22±0.24	6.69±0.22	6.96±0.20

ตารางที่ 3-3 pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ในน้ำทิ้งของระบบ 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^{a}±115	0.10±0.03
		50	6.98±0.08	90±20	$1,160^{b}$±80	0.09±0.01
		0	7.06±0.13	118±26	$1,003^{ab}$±105	0.12±0.04
MABR-5	5	100	7.09±0.14	107±12	930^{a}±53	0.10±0.02
		50	6.95±0.05	113±23	$1,207^{b}$±186	0.10±0.03
		0	6.99±0.17	91±19	983^{a}±14	0.09±0.02
MABR-2.5	2.5	100	7.13±0.29	80±16	905^{a}±109	0.09±0.01
		50	7.01±0.06	127±31	$1,240^{b}$±72	0.11±0.03
		0	6.91±0.19	125±37	986^{a}±51	0.13±0.04

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

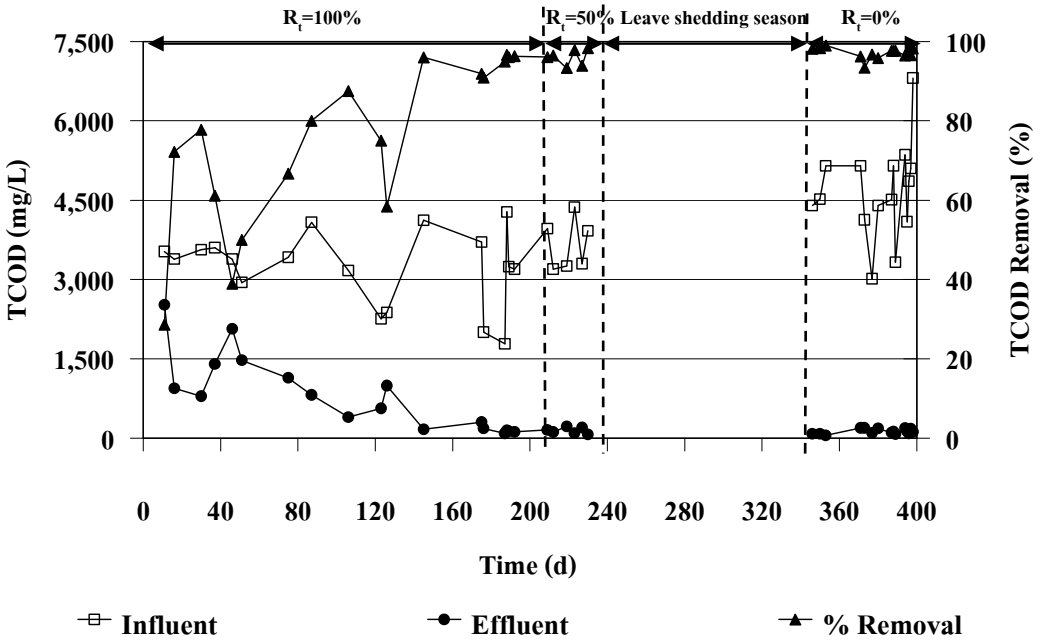
ค) การกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand : SCOD) ค่า TCOD และ SCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 1,782-6,811 mg/L และ 404-4,798 mg/L ตามลำดับ สำหรับน้ำทิ้งจากระบบและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ในการทดลองชุดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-4

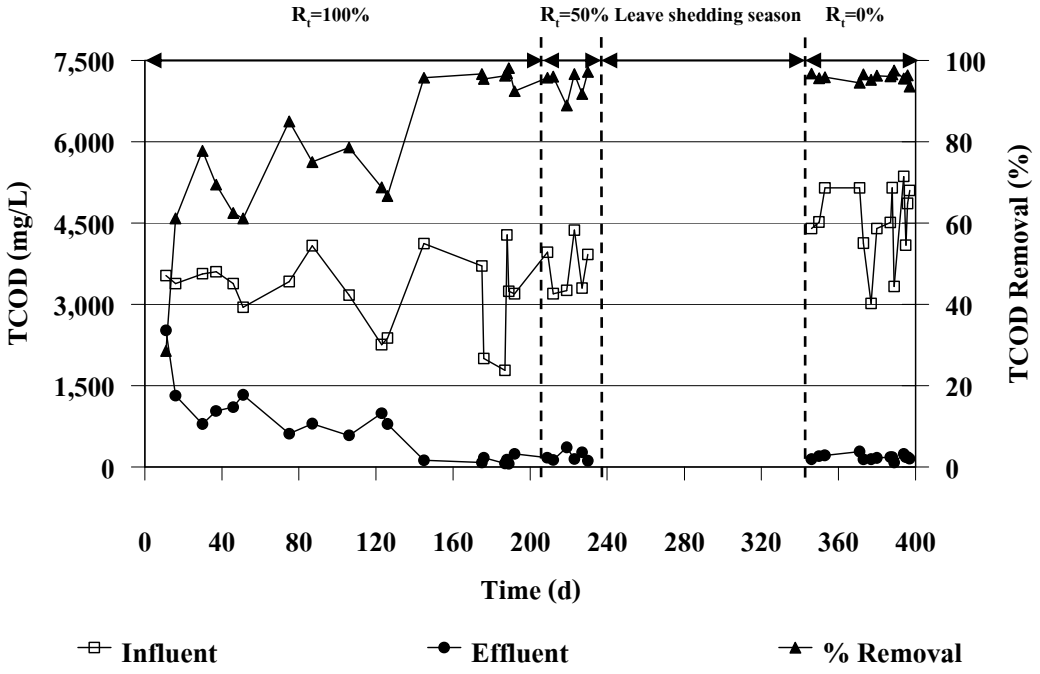
ผลจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และค่อนข้างคงที่หลังจากวันที่ 160 (ภาพประกอบ 3-11) จากนั้นเมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=50% และ 0% พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพประกอบ 3-12 และ 3-13) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ พบว่าที่ R_t=0%, 0% และ 50% ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 97.7%, 97.3% และ 95.4% ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD เฉลี่ยเท่ากับ 97.3%, 95.9% และ 96.0% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

การกำจัด TCOD ของระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าสูงกว่า 90% ในทุกชุดการทดลอง โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อ R_t เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอัตราส่วนการสูบกลับน้ำทิ้งต่อสมรรถภาพการทำงานของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic Baffled Reactor; ABR) ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น พบว่าการเพิ่มอัตราส่วน R เท่ากับ 0, 0.3 และ 0.5 ประสิทธิภาพการกำจัด COD จะลดลง (Saritpongteeraka and Chaiprapat, 2008) และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบที่ R_t=0% ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบสูงขึ้นหรือ OLR เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพลดต่ำลง ประกอบกับเวลาที่น้ำเสียจะสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสั้นลง จึงทำให้เหลือ TCOD ตกค้างในรูป VFA สูงขึ้น (ตารางที่ 3-4)

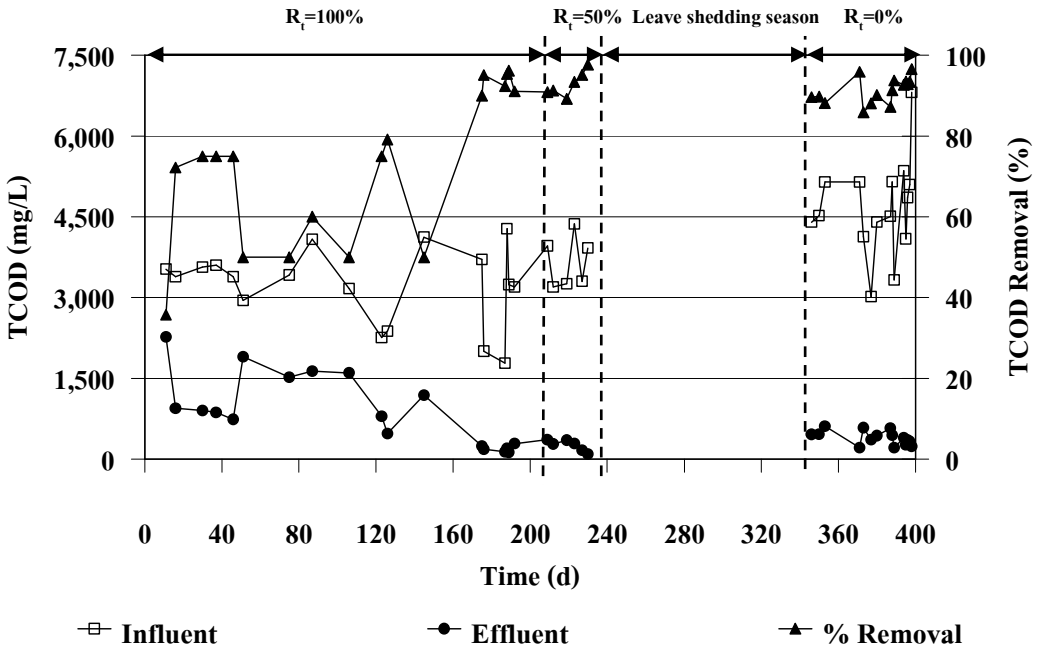
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละถังปฏิกิริยาของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากถัง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3-4) โดยที่ R_t=100% และ 50% มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในถัง 1 สูงกว่า ที่ R_t=0% ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง เนื่องจากที่ R_t สูง (R_t=100% และ 50%) มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบซึ่งเป็นการเจือจางน้ำเสีย และนำสารอินทรีย์บางส่วนที่ยังย่อยสลายไม่หมดจากถัง 2 กลับเข้าระบบเพื่อบำบัดอีกครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ R_t=100% และ 50% จากถัง 1, 2 และ 3 ใกล้เคียงกัน ขณะที่มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ R_t=0% จากถัง 1, 2 และ 3 เพิ่มสูงขึ้นโดยแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วผ่านเข้าสู่ถัง 3 จะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่อีกครั้งโดยถังนี้ถูกออกแบบมาสำหรับรองรับตะกอนจุลินทรีย์ที่หลุดมาจากถัง 2 และพักน้ำเสียก่อนออกจากระบบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD รวมของระบบเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีแนวโน้มลดลงเมื่อ HRT ต่ำลง เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพิ่มสูงขึ้น ทำให้จุลินทรีย์สร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าเป็นผลทำให้อัตราการผลิต VFA สูงกว่าอัตราการใช้กรดของจุลินทรีย์สร้างมีเทนเป็นผลให้เกิดการสะสม VFA ในระบบ และจากผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 120 mg/L พบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t=100% และ 50% และ MABR-5 ที่ R_t=100% มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจึงอาจมีบ่อรองรับสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากระบบอีกเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพประกอบ 3-11 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-12 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-13 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ

ง) การกำจัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD_5)

BOD_5 ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR ที่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วง 1,362-3,554 mg/L และจากการทดลองพบว่า BOD_5:TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% มีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบ นั่นแสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียมีสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียสำหรับการเจริญเติบโตส่งผลให้ BOD_5 ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำลง โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ มีค่าสูงกว่า 95% (ตารางที่ 3-6) และผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MABR-10 และ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบความเข้มข้นของ BOD_5 ของน้ำทิ้งจากทุกระบบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้มีค่า BOD_5 ไม่เกิน 20 mg/L พบว่าความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

ตารางที่ 3-4 TCOD และ SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TCOD (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal (%)
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
MABR-10	10	100	1,782-4,278	3,100±1,254	91-143	120±27	95.9
		50	3,300-4,368	3,863±536	67-200	120±70	96.7
		0	4,859-6,811	5,590±1,064	88-175	127±44	97.7
MABR-5	5	100	1,782-4,278	3,100±1,254	62-133	87±39	97.1
		50	3,300-4,368	3,863±536	112-272	177±84	95.2
		0	4,859-6,811	5,590±1,064	92-179	142±41	96.2
MABR -2.5	2.5	100	1,782-4,278	3,100±1,254	123-197	152±39	94.7
		50	4,090-6,811	5,590±1,148	90-287	179±100	95.4
		0	4,859-6,811	5,590±1,064	231-349	294±55	94.3
Treatment	HRT (d)	R_t (%)	SCOD (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal (%)
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
MABR-10	10	100	1,224-2,886	1,908±808	70-89	79±11	95.2
		50	2,600-3,626	2,964±575	39-80	62±21	97.9
		0	1,650-3,925	2,884±953	46-102	69±23	97.3
MABR-5	5	100	1,224-2,886	1,908±808	48-105	66±27	96.2
		50	2,600-3,626	2,964±575	54-160	90±61	96.8
		0	1,650-3,925	2,884±953	43-196	110±70	95.9
MABR -2.5	2.5	100	1,224-2,886	1,908±808	48-254	113±95	94.1
		50	2,600-3,626	2,964±575	55-230	126±92	96.0
		0	1,650-3,925	2,884±953	96-283	168±81	93.6

ตารางที่ 3-5 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ จากแต่ละถังปฏิกิริยาที่สภาวะคงตัว

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

ตารางที่ 3-6 BOD_5, BOD_5:TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	BOD_5 (mg/L)		BOD_5:TCOD		Removal
			Influent	Effluent	Influent	Effluent	(%)
MABR-10	10	100	2,432	85	0.79	0.71	96.2
		50	2,821	83	0.74	0.69	97.1
		0	2,523	51	0.56	0.45	97.8
MABR-5	5	100	2,432	63	0.79	0.73	97.3
		50	2,821	123	0.74	0.67	95.7
		0	2,523	91	0.56	0.55	96.2
MABR -2.5	2.5	100	2,432	95	0.79	0.64	95.5^{ab}
		50	2,821	126	0.74	0.66	99.3^{b}
		0	2,523	167	0.56	0.53	92.8^{a}

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

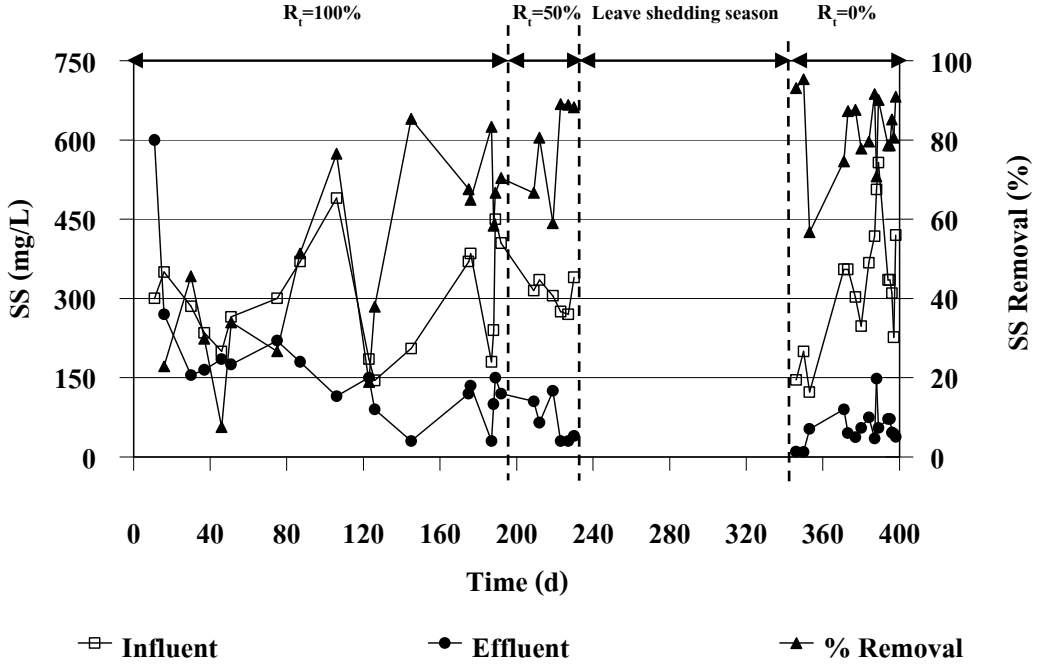
จ) การกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบ MABR ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 123-640 mg/L และผลของความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% ในระยะแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ พบว่าเกิดการ wash out ของ SS ออกจากระบบ เนื่องจากมูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นมีน้ำหนักเบาและความหนาแน่นต่ำ หลังจากวันที่ 75 ของการเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=50% พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบมีค่าสูงในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ จากนั้นมีแนวโน้มลดลงตลอดการทดลอง และที่ R_t=0% ซึ่งเดินระบบหลังช่วงฤดูยางผลัดใบ พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งในช่วงแรกของการเดินระบบมีค่าสูง จากนั้นมีแนวโน้มลดลงและค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพประกอบ 3-14, 3-15 และ 3-16)

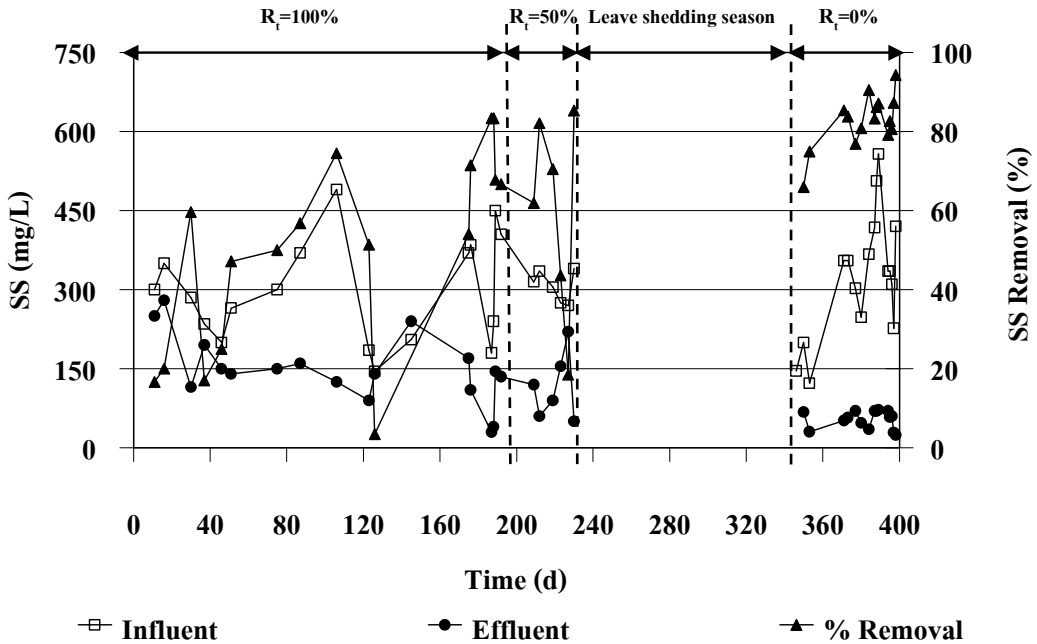
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100% มีค่าสูงกว่า R=50% และ 0% เนื่องจากที่ R_t สูง (100%) มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบด้วยระยะเวลาที่สูงกว่า R_t ต่ำ (50%) ซึ่งอาจจะไปรบกวนการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนในถังปฏิกิริยาช้าลง และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งตามค่า HRT พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ HRT ต่ำลง (10, 5 และ 2.5 วัน) เนื่องจากที่ HRT ต่ำมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูง ก๊าซชีวภาพในระบบจึงยกดันชั้นตะกอนจุลินทรีย์หรือ SS ให้หลุดออกมากับน้ำทิ้งสูงขึ้น (ตารางที่ 3-7) อีกทั้งที่ HRT ต่ำมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นหรือ OLR เพิ่มขึ้นทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA เพิ่มขึ้น ขณะที่อัตราการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพต่ำกว่า จึงทำให้มีสารอินทรีย์ในรูป SS หลุดออกมากับน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด SS จากแต่ละถังปฏิกิริยาของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS เพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากถัง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ R_t=50% ของระบบ MABR-5 และที่ R_t=100% ของระบบ MABR-2.5 มีประสิทธิภาพการกำจัด SS สูงที่สุดในถัง 2, 1 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากถัง 2 เข้าถัง 1 เป็นการนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดกลับมาสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์อีกครั้ง จึงเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ SS ที่หลุดเข้ามาในถัง 2 จึงลดลงและมีประสิทธิภาพการกำจัด SS เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 3-8) และจากผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมี

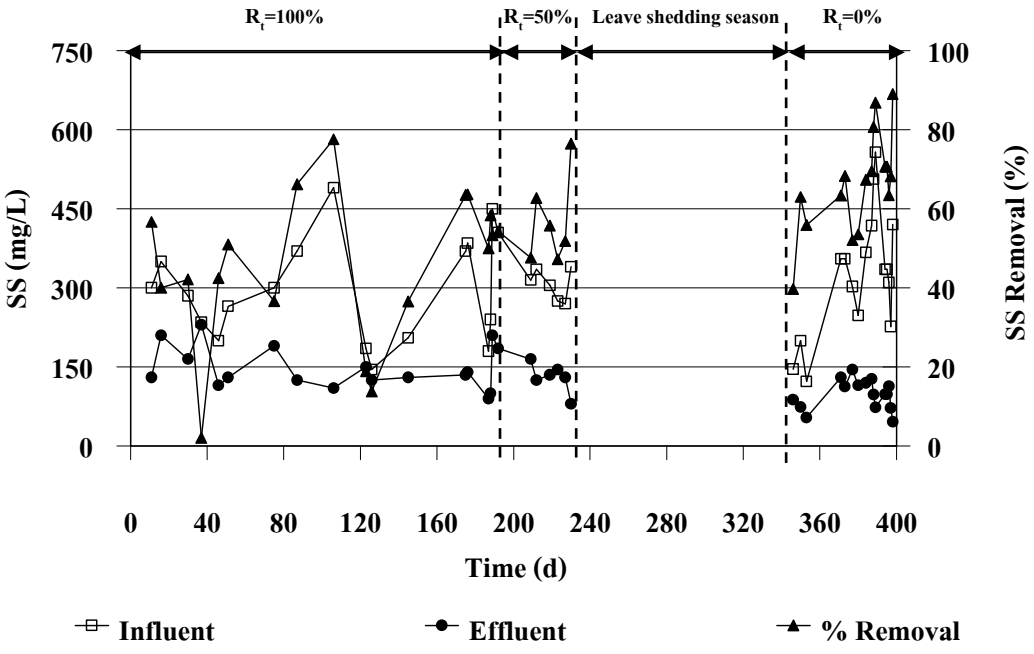
นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 50 mg/L พบว่าน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10 ที่ R_t=50% และ 0% และระบบ MABR-5 ที่ R_t=0% มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง



ภาพประกอบ 3-14 ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-10 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-15 ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-16 ความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ

ตารางที่ 3-7 ความเข้มข้น SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ในชุดการทดลองต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	SS (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	(%)
MABR-10	10	100	180-450	290±142	30-150	93±60	69.4
		50	270-340	295±39	30-40	33±6	88.7
		0	227-420	319±97	38-46	43±4	85.6
MABR-5	5	100	180-450	290±142	30-145	72±64	78.1
		50	270-340	295±39	50-220	142±86	49.1
		0	227-420	319±97	24-60	38±20	87.4
MABR-2.5	2.5	100	180-450	290±142	90-210	133±67	53.9
		50	270-340	295±39	80-145	118±34	58.5
		0	227-420	319±97	46-113	77±34	73.6

ตารางที่ 3-8 ประสิทธิภาพการกำจัด SS จากแต่ละถังปฏิกิริยาของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	SS Removal (%)		
			Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
MABR-10	10	100	37.2±26.0	41.2±9.4	69.4±12.7
		50	45.1±18.3	57.0±3.8	88.7±2.4
		0	44.4±8.3	83.0±3.3	85.6±5.2
MABR-5	5	100	42.3±28.5	58.6±18.6	78.1±9.0
		50	57.7±20.4	80.0±4.7	49.1±3.1
		0	48.5±6.0	73.9±13.0	87.4±6.8
MABR-2.5	2.5	100	42.4±30.4	62.4±8.4	53.9±4.2
		50	32.5±10.9	30.9±2.4	58.5±2.2
		0	24.1±27.3	59.1±18.9	73.6±13.6

ฉ) การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดเจดาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) ซึ่งไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศควรมีอัตราส่วน TCOD:TKN เท่ากับ 100:1.1 (McCarty, 1964) จากการทดลองพบว่าอัตราส่วน TCOD:TKN ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% มีค่าเท่ากับ 100:2.35, 100:3.36 และ 100:2.80 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่แนะนำไว้จึงไม่จำเป็นต้องเติมไนโตรเจนให้กับระบบ และความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัวของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลง โดยที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่า R_t=50% และ 0% (ตารางที่ 3-9) นั่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับด้วย R_t สูงอาจทำให้มีการย่อยสลายโปรตีนในหางน้ำยางที่มีอยู่ในน้ำเสียเข้าระบบเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนียได้เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ กับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ พบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อย และมีประสิทธิภาพการบำบัด TKN ต่ำกว่า 50% ทั้งนี้เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ ดังนั้นความเข้มข้น TKN ในน้ำทิ้งที่ลดลงนั้นเนื่องจากถูก

จุลินทรีย์ในระบบนำใช้ไปเป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ และผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TKN ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงตัวของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลงซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้น TKN ในน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด NH_4^+-N ที่ R_t=100% และ 50% ของระบบ MABR-10 และ MABR-5 มีค่าต่ำกว่า 50% โดย NH_4^+-N บางส่วนที่หายไปที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) สามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ (Leslie Grady *et al*., 1999) ขณะที่ความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งที่ R_t=0% จากระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ และเมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ พบว่าอยู่ในช่วง 50-200 mg/L ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (McCarty, 1964)

ช) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus:TP)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TP กับ TCOD ในน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศควรมีอัตราส่วน TCOD:TP เท่ากับ 100:0.2 (Senders and Bloodgood, 1965) และจากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วน TCOD:TP ของน้ำเสียเข้าระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% มีค่าเท่ากับ 100:1.48, 100:2.01 และ 100:1.77 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าค่าแนะนำจึงไม่จำเป็นต้องเติมฟอสฟอรัสให้กับระบบ และจากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t ต่างๆ มีค่าต่ำกว่า 50% โดยจะเห็นว่าที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในระบบใช้ TP เพื่อเป็นอาหารและแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น TP ทำให้ปริมาณ TP ส่วนที่เหลือหลุดออกมากับน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3-10)

ตารางที่ 3-9 ความเข้มข้น TKN และ NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TKN (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	(%)
MABR-10	10	100	62-95	73±19	34-73	56±20	41.1
		50	104-147	130±23	80-115	98±18	37.6
		0	91-195	157±58	88-116	100±14	30.3
MABR-5	5	100	62-95	73±19	22-84	62±34	37.7
		50	104-147	130±23	111-122	118±6	19.9
		0	91-195	157±58	98-104	101±3	46.9
MABR-2.5	2.5	100	62-95	73±19	31-84	57±27	23.6
		50	104-147	130±23	108-139	123±15	19.8
		0	91-195	157±58	59-119	96±33	38.3
Treatment	HRT (d)	R_t (%)	NH_4^+-N (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	(%)
MABR-10	10	100	73-123	93±26	62-78	71±9	21.7
		50	97-119	112±13	37-110	81±38	29.9
		0	41-140	88±50	99-113	107±7	*
MABR-5	5	100	73-123	93±26	45-73	62±15	32.4
		50	97-119	112±13	109-113	111±2	7.1
		0	41-140	88±50	77-109	93±16	*
MABR-2.5	2.5	100	73-123	93±26	56-67	60±6	31.9
		50	97-119	112±13	25-117	85±52	42.4
		0	41-140	88±50	86-99	92±6	*

* คือ น้ำทิ้งมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

ตารางที่ 3-10 ความเข้มข้น TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	TP (mg/L)				
			Influent		Effluent		Removal
			Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	(%)
MABR-10	10	100	32-59	46±13	22-45	30±13	54.5
		50	54-101	78±24	62-72	66±5	29.4
		0	79-115	99±18	62-70	66±4	28.3
MABR-5	5	100	32-59	46±13	72-92	79±11	*
		50	54-101	78±24	67-71	69±2	23.8
		0	79-115	99±18	52-58	55±3	37.3
MABR-2.5	2.5	100	32-59	46±13	69-98	80±16	*
		50	54-101	78±24	69-77	73±4	31.7
		0	79-115	99±18	45-58	53±7	36.9

* คือ น้ำทิ้งมากกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

ซ) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production Rate) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas Composition) และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการกับค่าทางทฤษฎี

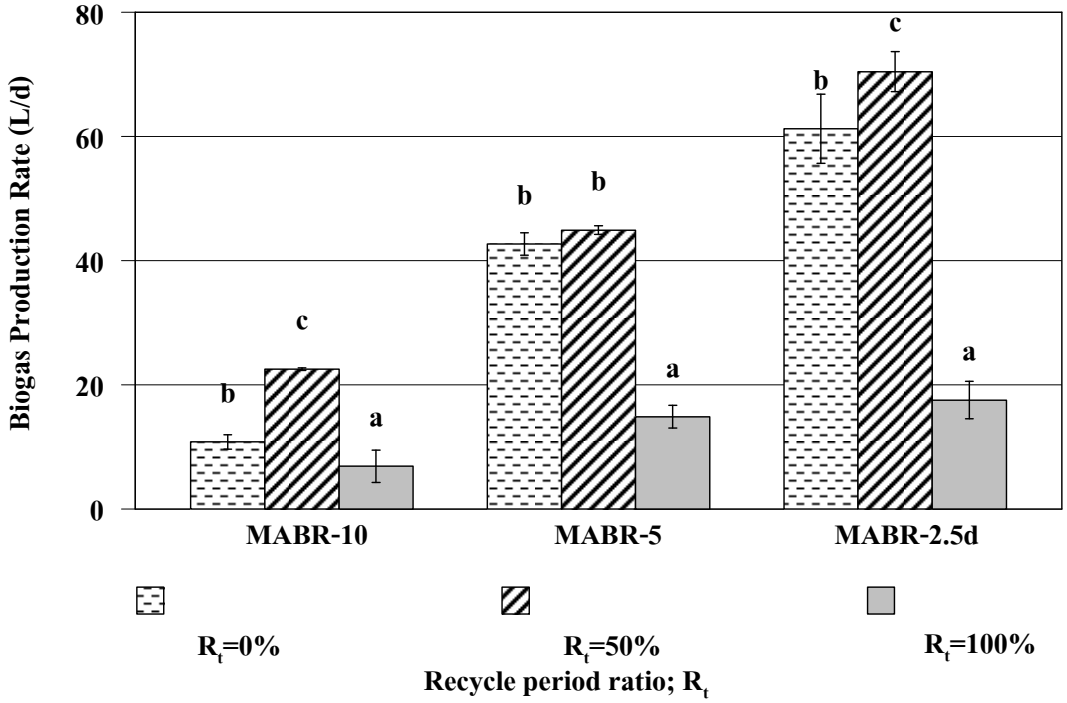
ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าที่ R_t=50% อาจเนื่องมาจากการเดินระบบที่ R_t สูง (100%) พบปัญหาการอุดตันของตะกอนจุลินทรีย์และ SS ในสายยางที่เชื่อมต่อระหว่างถังปฏิกิริยาในระยะที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบ โดยน้ำเสียจะไหลจากถัง 1 เข้าถัง 2 ช้าลงทำให้ระดับของน้ำเสียในถัง 1 สูงกว่าถัง 2 จึงมีผลให้ระดับน้ำเสียในระบบทั้ง 3 ถังปฏิกิริยาไม่อยู่ในระดับปริมาตรใช้งานจริง ส่งผลให้ระดับน้ำเสียในถัง 2 ต่ำกว่าขอบของฝาครอบสเตนเลสที่ใช้สวมครอบปิดด้านในของถังปฏิกิริยาเป็นผลให้ก๊าซชีวภาพเกิดการรั่วไหลออกนอกระบบ และเมื่อพิจารณาการกำจัด TCOD ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.5, 3.4 และ 4.2 g/L ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ R_t=100% มีการกำจัด TCOD ต่ำสุด และพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MABR เพิ่มสูงขึ้นเมื่อ HRT ต่ำลง เนื่องจากปริมาณ

สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็น VFA และอัตราการย่อยสลาย VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 3-17)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% พบว่าประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบ โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก (ตารางที่ 3-11) และนอกจากนี้ยังพบว่าที่ R_t=0% ของระบบ MABR ในทุกชุดการทดลองมีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับที่ R_t=100% และ 50% โดยมีค่าสูงกว่า 60% ซึ่งสามารถนำไปใช้โยชน์เป็นเชื้อเพลิงในสหกรณ์โรงอบ/รมยางได้ โดยในปัจจุบันทางสหกรณ์โรงอบ/รมยางได้นำก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพไปใช้ในการหุงต้มอาหารของคนงานและนำไปใช้รมควันยางแผ่นอีกด้วย

ผลจากการเปรียบเทียบอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ที่ R_t=100%, 50% และ 0% กับค่าแนะนำทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}$/g $TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) โดยคำนวณจากสมการ (20) พบว่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ในทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (ตารางที่ 3-12) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกใช้ในระบบไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ และบางส่วนอยู่ในรูปของ SS ที่ตกตะกอนในถังปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่าที่ R_t=100% ของทุกชุดการทดลองมีค่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ต่ำกว่าที่ R_t=50% และ 0% โดยพบว่าระบบ MABR-5 ที่ R_t ต่างๆ มีค่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD สูงสุด ซึ่งมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพที่สภาวะดังกล่าว

$$\text{Observed Methane Yield } (L_{methane}/g\ TCOD_{removed}) = \frac{\text{Total Biogas Production (L/d)} \times \%\ \text{Methane}}{[TCOD_{in}\ (g/L) - TCOD_{out}\ (g/L)] \times Q\ (L/d)} \quad (20)$$



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

ภาพประกอบ 3-17 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 3-11 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	Biogas Composition (%)		
			CH_4	CO_2	N_2
MABR-10	10	100	57.7	23.1	19.1
		50	41.3	13.8	44.9
		0	63.8	22.4	13.8
MABR-5	5	100	68.9	14.9	14.2
		50	69.3	15.9	14.9
		0	72.8	22.3	4.9
MABR-2.5	2.5	100	57.8	28.0	16.2
		50	64.5	22.3	12.3
		0	71.1	23.5	5.4

ตารางที่ 3-12 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ กับค่าทางทฤษฎี

Treatment	HRT (d)	R_t (%)	Feed (L/d)	$TCOD_{Inf}$ (mg/L)	$TCOD_{Eff}$ (mg/L)	Biogas Production Average (L/d)	Methane (%)	Observed Methane Yield ($L_{methane}/gTCOD_{removed}$)
MABR-10	10	100	20.4	3,100	120	6.9[a]	57.7	0.07±0.05
		50		3,863	120	22.5[c]	41.3	0.12±0.001
		0		5,590	127	10.8[b]	63.8	0.10±0.04
MABR-5	5	100	40.8	3,100	87	14.9[a]	68.9	0.08±0.02
		50		3,863	177	44.9[b]	69.3	0.24±0.03
		0		5,590	142	42.7[b]	72.8	0.20±0.05
MABR-2.5	2.5	100	81.6	3,100	152	17.5[a]	57.8	0.05±0.02
		50		3,863	179	70.5[c]	64.5	0.15±0.01
		0		5,590	294	61.3[b]	71.1	0.15±0.04

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

3.2.3 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ

การเริ่มต้นเดินระบบ MCL ทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยใช้มูลสุกรเป็นหัวเชื้อตั้งต้น (Seed) เติมลงทั้ง 2 บ่อของแต่ละชุดการทดลองให้มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 25,000 mg/L จากนั้นเติมน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 บ่อ ตั้งทิ้งไว้ 2 วันเพื่อให้มูลสุกรตกตะกอนและปรับตัวเข้ากับน้ำเสีย หลังจากนั้นเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองและเริ่มเดินระบบภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% ตามลำดับ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable condition) พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% จากนั้นเปลี่ยนมาเดินระบบที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) จำนวน 1 ชุดการทดลอง

ในระยะแรกของช่วงเริ่มต้นเดินระบบที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% พบว่าในช่วง 37 วันแรกระบบเกิดการชะล้าง (wash out) ตะกอนจำนวนมาก เนื่องจากมูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้น

มีน้ำหนักเบา และความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ และเมื่อเดินระบบมาถึงวันที่ 51 พบปัญหาการกักเก็บก๊าซชีวภาพของระบบเกิดการรั่วไหลจึงหยุดเดินระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองเพื่อปรับปรุงซ่อมแซม ผู้วิจัยได้แก้ไขโดยใช้ท่อพีวีซีทำเป็นโครงสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ผิวบ่อเล็กน้อย และใช้สายยางสอดไว้ด้านในโครงดังกล่าวเพื่อให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไหลเข้าในสายยาง และส่งต่อไปยังถุงเก็บก๊าซชีวภาพที่อยู่ด้านนอก และเมื่อเริ่มเดินระบบอีกครั้งพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำทิ้งลดลง เพราะในช่วงที่หยุดเดินระบบนั้นมูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นมีการปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและพัฒนาไปเป็นจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ตะกอนจุลินทรีย์จึงมีลักษณะเป็นตะกอนละเอียด มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสามารถตกตะกอนได้ดีทั้ง 4 ชุดการทดลอง และพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% เฉลี่ย 63.4%, 74.0%, 57.8% และ 76.0% ตามลำดับ อีกทั้งค่า pH, VFA และ Alkalinity ของระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบไร้อากาศ

3.2.3.1 ผลการทดลองของระบบ MCL

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) ตามลำดับ ใช้เวลาทั้งหมด 398 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

ก) อุณหภูมิ (Temperature)

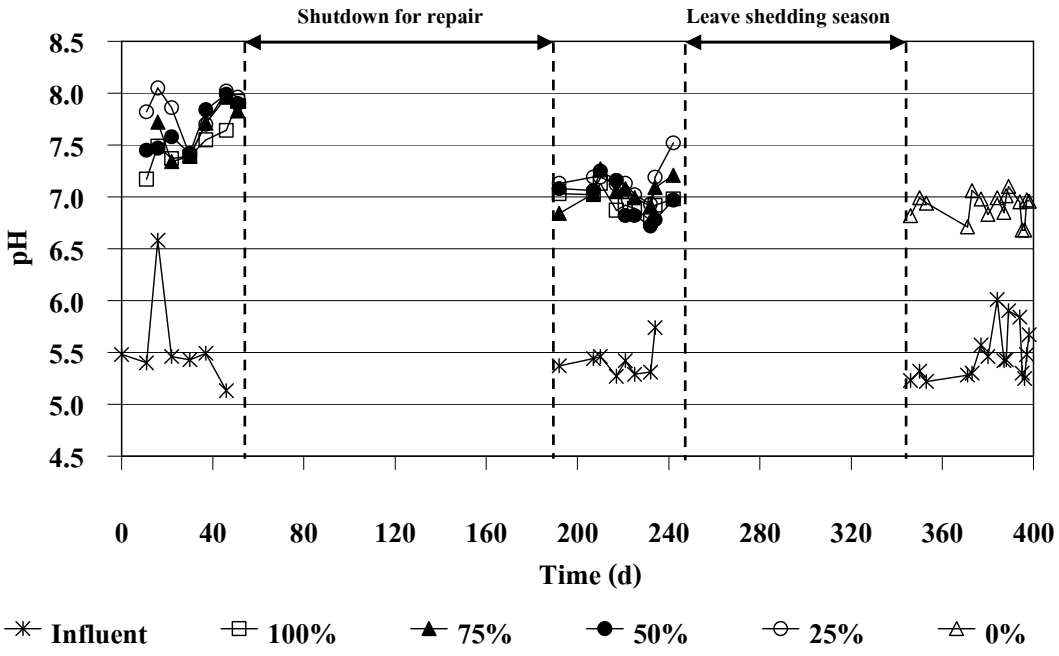
อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ MCL ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 24.4-32.2^{0}C และอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50% 25% และ 0% อยู่ในช่วง 23.5-31.7^{0}C ตามลำดับ

ข) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

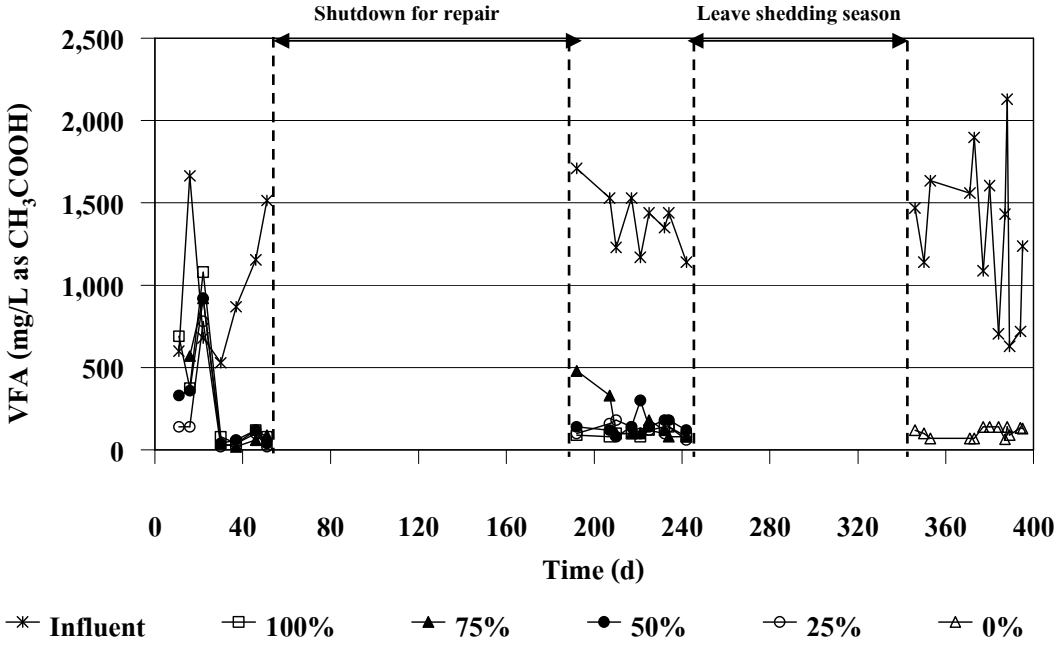
pH ของน้ำเสียเข้าระบบ MCL ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 5.13-6.58 และค่า pH ของน้ำทิ้งภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% ในช่วงแรกของการเดินระบบมีแนวโน้มปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น และหลังจากวันที่ 51 ของการเดินระบบพบปัญหาการรั่วซึมของระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพผู้วิจัยจึงหยุดเดินระบบเป็นเวลา 62 วันเพื่อซ่อมแซม จากนั้นเมื่อเริ่มเดินระบบอีกครั้งพบว่า pH ของน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (ภาพประกอบ 3-18) อาจเนื่องมาจากมูลสุกรที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นเริ่มปรับตัวทำงานได้ดีในน้ำเสีย จุลินทรีย์สร้างกรดสามารถย่อย

สารอินทรีย์ไปเป็น VFA ได้ดี ขณะที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนกำลังปรับตัวและเปลี่ยน VFA ไปเป็นก๊าซชีวภาพได้น้อยกว่า (ตารางที่ 3-14) เมื่อเดินระบบที่ R_t=0% หลังจากช่วงฤดูยางผลัดใบ พบว่าค่า pH ของน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเริ่มต้นเดินระบบจากนั้นค่อนข้างคงที่ อีกทั้งค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 2004) เมื่อเปรียบเทียบ pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ พบว่าที่ R_t=25% มีค่า pH สูงสุดเมื่อเทียบกับ R_t อื่นๆ (R_t=100%, 75%, 50% และ 0%) ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้ง (ภาพประกอบ 3-19) ขณะที่ค่า pH ของน้ำทิ้งที่ R_t=0% เมื่อเทียบกับ R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t=100%, 75%, 50% และ 25%) พบว่ามีค่าเท่ากับที่ R_t=50% และเมื่อพิจารณาค่า pH ของน้ำทิ้งจากแต่ละบ่อของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว (ตารางที่ 3-13) พบว่าค่า pH เพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อ 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 เป็นช่วงที่จุลินทรีย์สร้างมีเทนจะเจริญเติบโตได้ดี (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) และจากผลทางสถิติพบว่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และระดับความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ อยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และผลทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

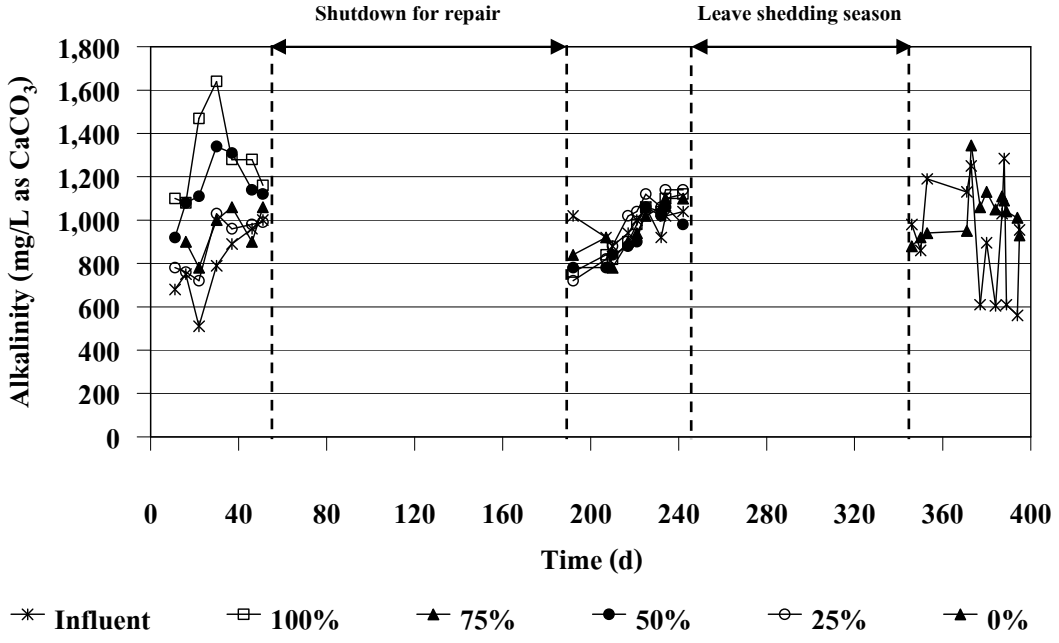
เมื่อพิจารณา Alkalinity ของระบบ MCL ที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% พบว่าในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ Alkalinity ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น และหลังจากหยุดซ่อมแซมพบว่า Alkalinity มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่ สำหรับ Alkalinity ที่ R_t=0% ในช่วงเริ่มต้นการเดินระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเล็กน้อย (ภาพประกอบ 3-20) และ Alkalinity ของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,000-5,000 mg/L $CaCO_3$ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และผลทางสถิติพบว่า Alkalinity ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่า VFA:Alkalinity ของระบบที่ R_t ต่างๆ อยู่ในช่วง 0.09-0.15 ซึ่งต่ำกว่า 0.40 แสดงให้เห็นว่าในระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอที่จะสะเทินกรดและต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH อีกทั้งตลอดการทดลองที่สภาวะต่างๆ ไม่พบปัญหาในการเดินระบบ (ตารางที่ 3-14)



ภาพประกอบ 3-18 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-19 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ



ภาพประกอบ 3-20 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_tต่างๆ

ตารางที่ 3-13 เปรียบเทียบค่า pH ของน้ำทิ้งจากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	pH		
	Influent	Pond-1	Pond-2
100	5.45±0.25	6.63±0.06	6.89±0.11
75		6.68±0.15	7.07±0.15
50		6.29±0.41	6.82±0.13
25		6.97±0.17	7.21±0.30
0	5.47±0.21	6.53±0.14	6.87±0.16

ตารางที่ 3-14 pH, VFA, Alkalinity และ VFA:Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ของ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Parameter			
	pH	VFA	Alkalinity	VFA:Alkalinity
100	6.89±0.09	120±28	1,080±37	0.11±0.03
75	7.05±0.13	115±47	1,070±38	0.11±0.05
50	6.82±0.11	155±30	1,030±38	0.15±0.03
25	7.17±0.26	105±34	1,115±38	0.09±0.03
0	6.82±0.16	124±23	1,018±67	0.12±0.02

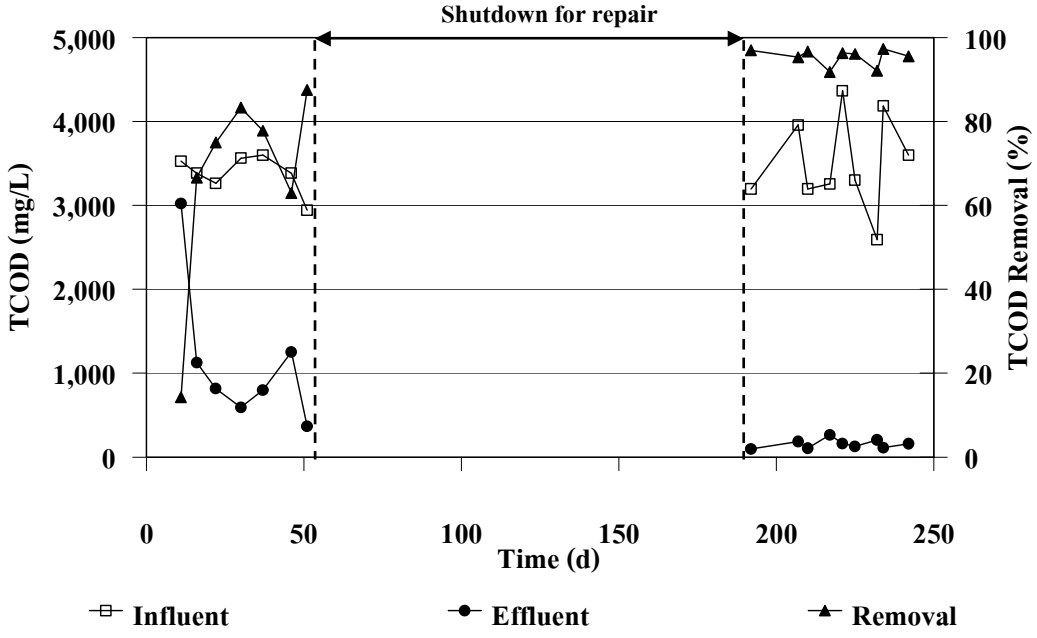
ค) การกำจัดซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด COD ซึ่งมีการวิเคราะห์ทั้งซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand : SCOD) พบว่าค่า TCOD และ SCOD ของน้ำเสียเข้าระบบ MCL ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 2,592-6,811 mg/L และ 1,433-4,797 mg/L ตามลำดับ สำหรับน้ำทิ้งจากระบบและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% ที่สภาวะคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 3-15

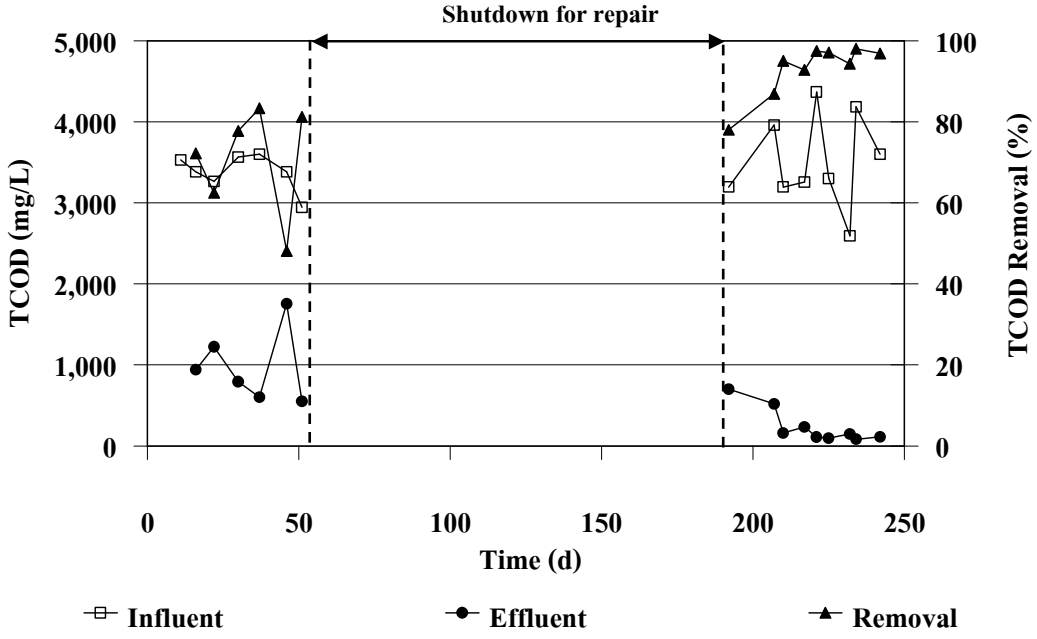
ผลจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t=100%, 75% และ 50% มีแนวโน้มลดลงในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ หลังจากซ่อมแซมระบบและเริ่มเดินระบบอีกครั้ง พบว่าระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เพิ่มสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ที่สภาวะคงตัว ที่ R_t=100%, 75% และ 50% เฉลี่ย 95.0%, 96.4%, 95.3% และ 97.7%, 98.2%, 92.4% ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3-21, 3-22 และ 3-23) ที่ R_t=25% ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากมีการสะสมของ VFA เพิ่มขึ้นในระบบอย่างรวดเร็วจึงไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทน และหลังการซ่อมแซมระบบแล้วเริ่มเดินระบบอีกครั้งพบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งจากระบบลดลงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เพิ่มสูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ย 96.3% และ 97.4% ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3-24) สำหรับที่ R_t=0% พบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งของช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีแนวโน้มลดลง และหลังจากช่วงที่ฝนตกพบว่าความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้น จากนั้น

เริ่มลดลงจนค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ที่สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ 97.1% และ 95.9% ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3-25)

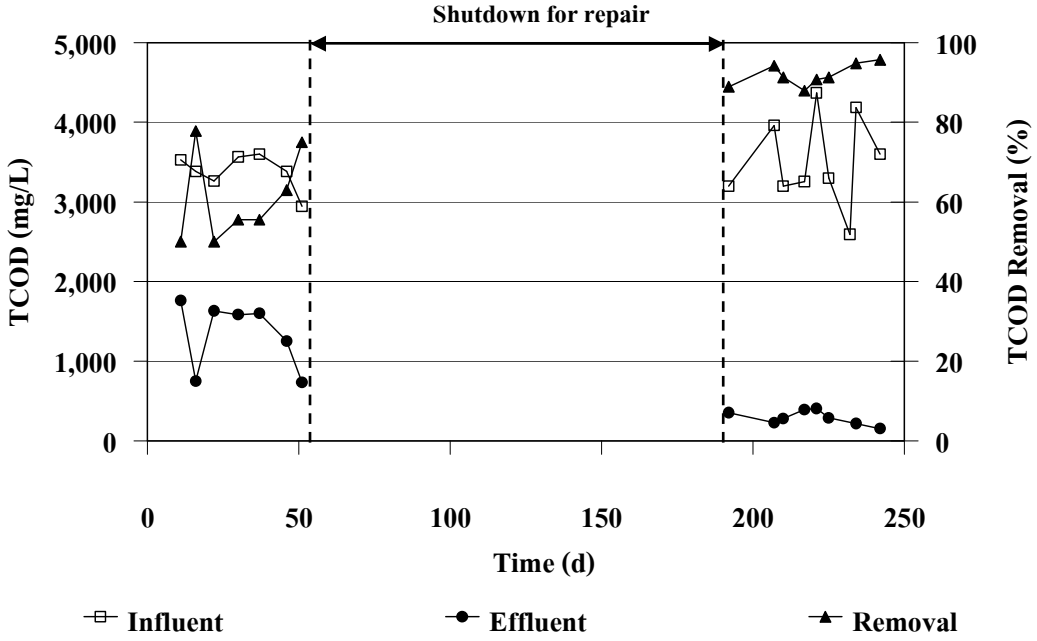
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% โดยที่ R_t=0% มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบสภาพแวดล้อมในระบบยังมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน และจากผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด SCOD ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ได้กำหนดให้มีค่า COD ไม่เกิน 120 mg/L และจากผลการทดลองพบว่าที่ R_t=75% มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ขณะที่ R_t=100%, 50%, 25% และ 0% มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อยจึงอาจมีบ่อรองรับสำหรับบำบัดน้ำทิ้งจากระบบ MCL เพิ่มอีกเล็กน้อยเท่านั้น



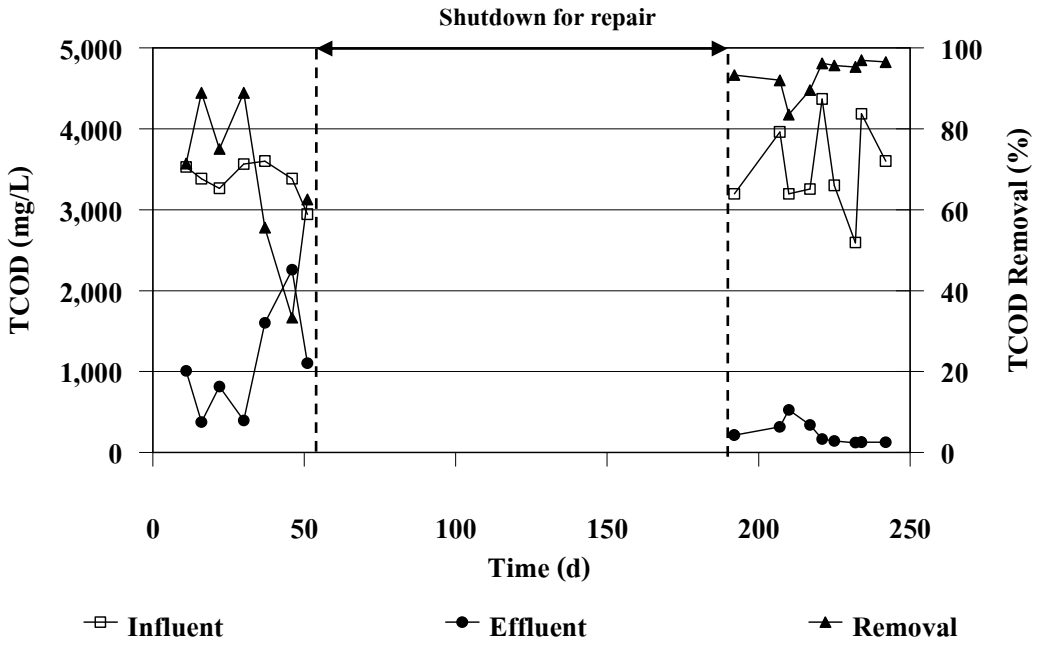
ภาพประกอบ 3-21 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=100%



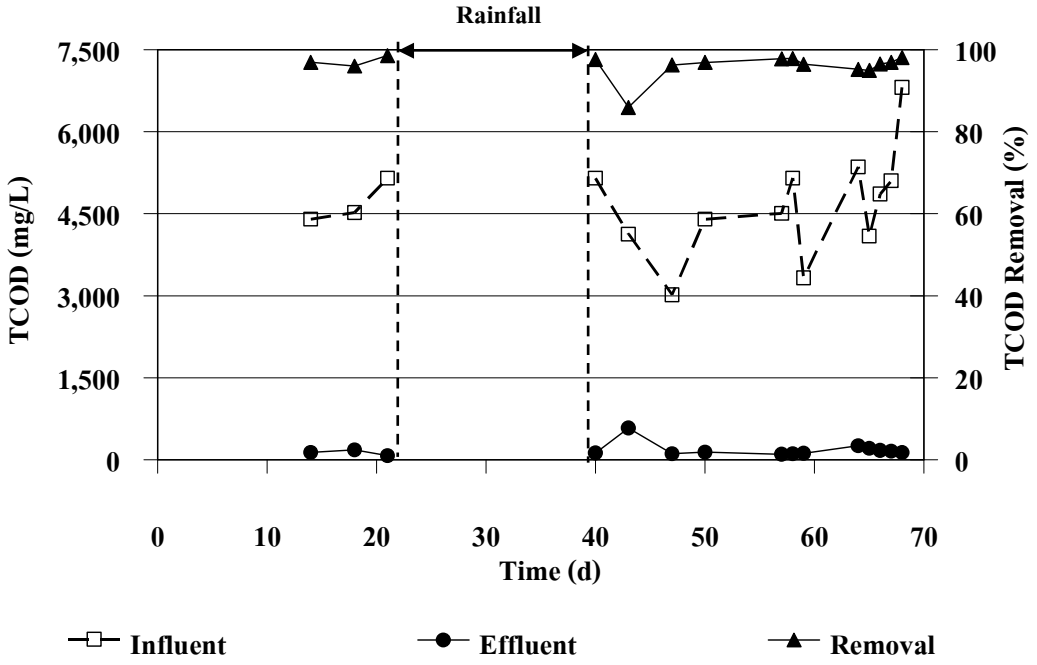
ภาพประกอบ 3-22 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=75%



ภาพประกอบ 3-23 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=50%



ภาพประกอบ 3-24 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=25%



ภาพประกอบ 3-25 ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากระบบ MCL ที่ R_t=0%

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละบ่อของระบบที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% (ตารางที่ 3-16) พบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อน้ำเสียผ่านจากบ่อ 1 มีค่าสูงกว่า 50% และเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 90% เมื่อผ่านการบำบัดจากบ่อ 2 ทั้งนี้เพราะระบบ MCL ถูกออกแบบมาเพื่อกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในบ่อ 1 และบ่อ 2 จะเป็นบ่อพักน้ำเสียก่อนปล่อยออกจากระบบ อีกทั้งจะเห็นว่าเมื่อมีการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบเป็นการหมุนเวียนสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดกลับมาย่อยให้สลายให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD รวมของระบบเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 3-15 TCOD และ SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ 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	95.0
75			82-147	114±33	96.4
50			155-217	186±44	95.3
25			122-127	125±3	96.3
0	4,859-6,811	5,590±1,064	132-172	154±20	97.1
R_t (%)	SCOD (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	2,208-3,615	2,724±483	28-90	66±34	97.7
75			28-70	49±21	98.2
50			142-170	156±20	94.7
25			57-80	69±11	97.4
0	1,650-3,027	2,538±801	40-175	109±67	95.9

ตารางที่ 3-16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TCOD จากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	TCOD Removal (%)	
	Pond-1	Pond-2
100	77.1±2.6	95.0±2.7
75	76.7±9.7	96.4±1.9
50	57.5±25.6	95.3±7.6
25	88.9±5.2	96.3±0.9
0	81.2±3.0	97.1±0.8

ง) การบำบัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD_5)

BOD_5 ของน้ำเสียเข้าระบบที่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วง 1,548-3,554 mg/L และพบว่าอัตราส่วน BOD_5:TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% มีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบ (ตารางที่ 3-17) แสดงว่าน้ำเสียเข้าระบบประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตได้ดีจึงทำให้ BOD_5ในน้ำทิ้งมีค่าลดลง และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ที่ R_t =75% และ 25% มีค่าสูงกว่า R_t=100% และ 50% ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD อาจเนื่องจากที่ R_t=75% และ 25% เป็นสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่มีสภาวะเหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ ขณะที่ R_t=0% มีประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ใกล้เคียงกับ R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t=100%, 75%, 50% และ 25%) ซึ่งผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อีกทั้งความเข้มข้นของ BOD_5 ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 mg/L

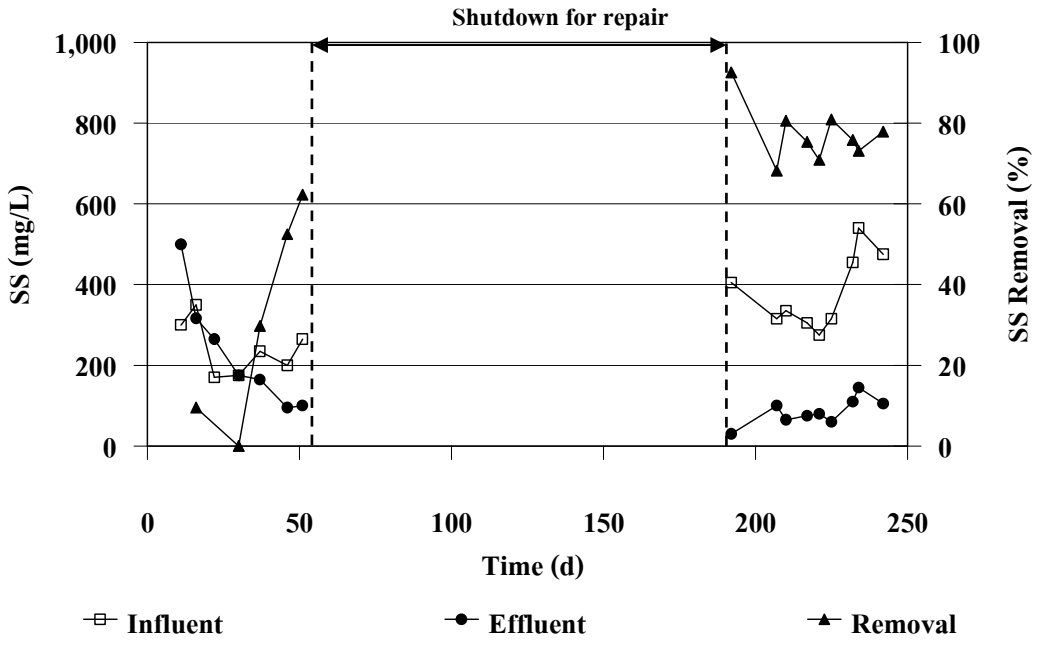
ตารางที่ 3-17 BOD_5, BOD_5:TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	BOD_5 (mg/L)		BOD_5:TCOD		Removal (%)
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	
100	2,685	91	0.77	0.56	96.0
75		64		0.56	97.3
50		229		0.56	89.6
25		64		0.51	97.6
0	2,437	84	0.52	0.44	96.2

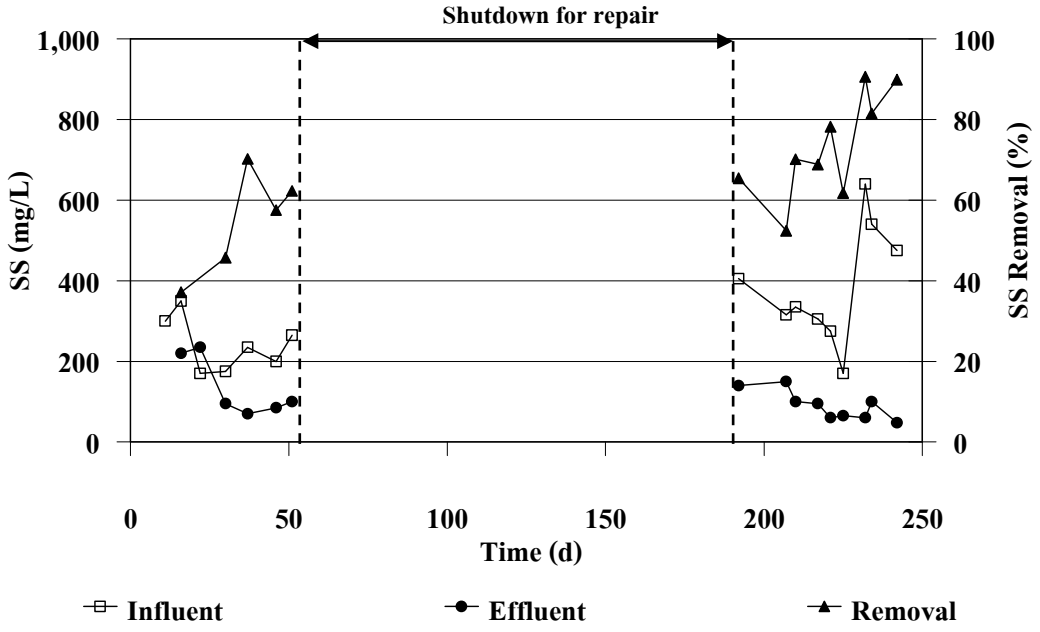
จ) การกำจัดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบ MCL ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 123-640 mg/L และผลจากการทดลองความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100% และ 50% พบว่าในช่วงเริ่มต้นเดินระบบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลง ซึ่งหลังจากหยุดซ่อมแซมระบบและเริ่มเดินระบบอีกครั้งนั้นพบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งต่ำกว่าช่วงแรกของการเดินระบบและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งที่ R_t=100% และ 50% เท่ากับ 120±22 mg/L และ 127±8 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS เท่ากับ 75.6% และ 74.1% ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3-26 และ 3-28) ที่ R_t=75% ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลง หลังจากหยุดซ่อมแซมระบบและเริ่มเดินระบบอีกครั้งพบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งลดลง โดยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งเท่ากับ 69±27 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS เท่ากับ 86.1% (ภาพประกอบ 3-28) ที่ R_t=25% ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังจากหยุดซ่อมแซมระบบและเริ่มเดินระบบอีกครั้ง พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งได้เพิ่มสูงขึ้นและค่อนข้างจะคงที่ โดยมีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งเท่ากับ 123±3 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS เท่ากับ 74.7% (ภาพประกอบ 3-29) สำหรับที่ R_t=0% พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง และมีค่าต่ำกว่า R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t=100%, 75%, 50% และ 25%) โดยมีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งเท่ากับ 34±14 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด SS เท่ากับ 89.5% (ภาพประกอบ 3-30)

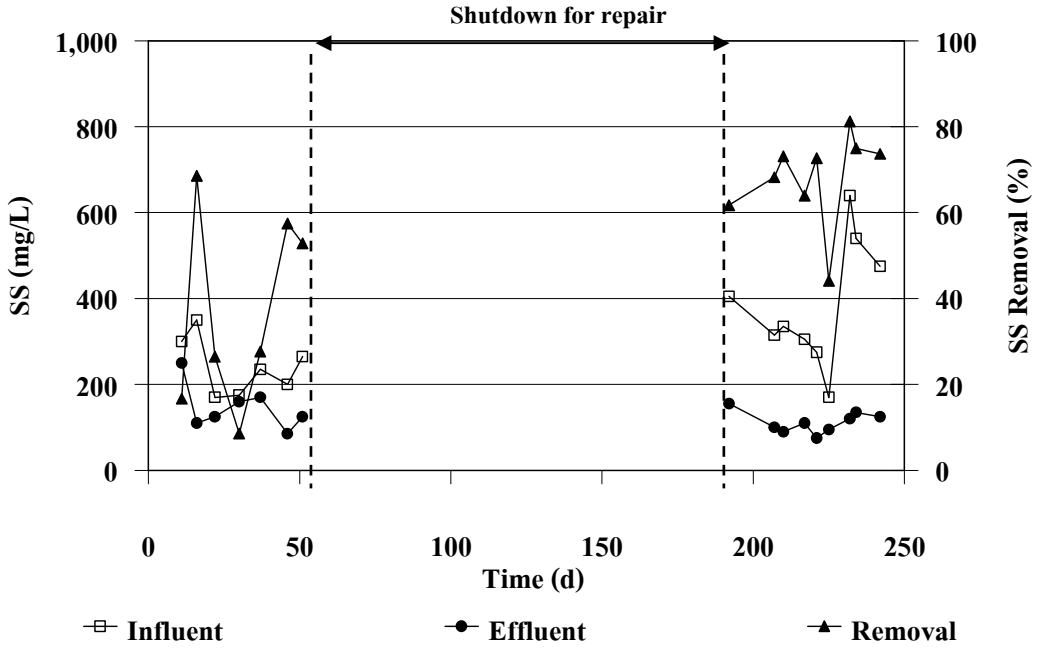
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% พบว่าที่ R_t=75% มีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งต่ำสุด (ตารางที่ 3-18) แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะนี้อาจเป็นสัดส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับที่มีความเหมาะสม (สูบน้ำเสียย้อนกลับ 3 ชม. หยุดสูบ 1 ชม.) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์และ SS สามารถตกตะกอนได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งที่ R_t=0% กับ R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ พบว่าที่ R_t=0% มีความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งต่ำสุด เพราะที่สภาวะนี้ไม่มีการสูบน้ำย้อนกลับเข้าระบบ ตะกอนจุลินทรีย์และ SS สามารถตกตะกอนได้ดีในระบบ อีกทั้งปริมาณความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งที่ลดลงนั้นมาจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในระบบเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น VFA และก๊าซชีวภาพ และผลทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 50 mg/L พบว่าที่ R_t=0% มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งเล็กน้อย ขณะที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% มีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง



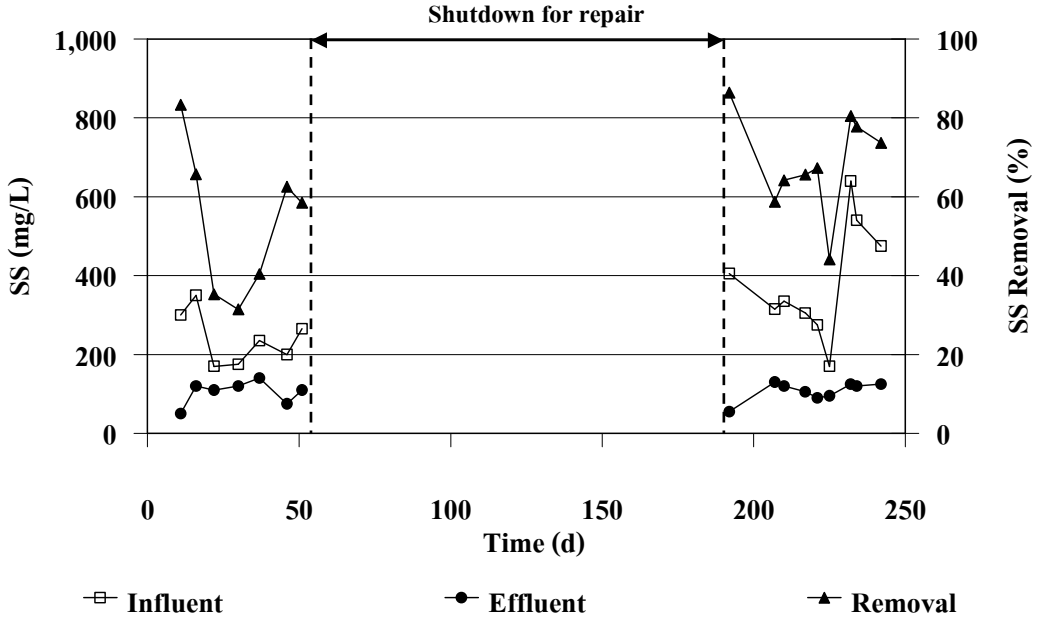
ภาพประกอบ 3-26 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=100%



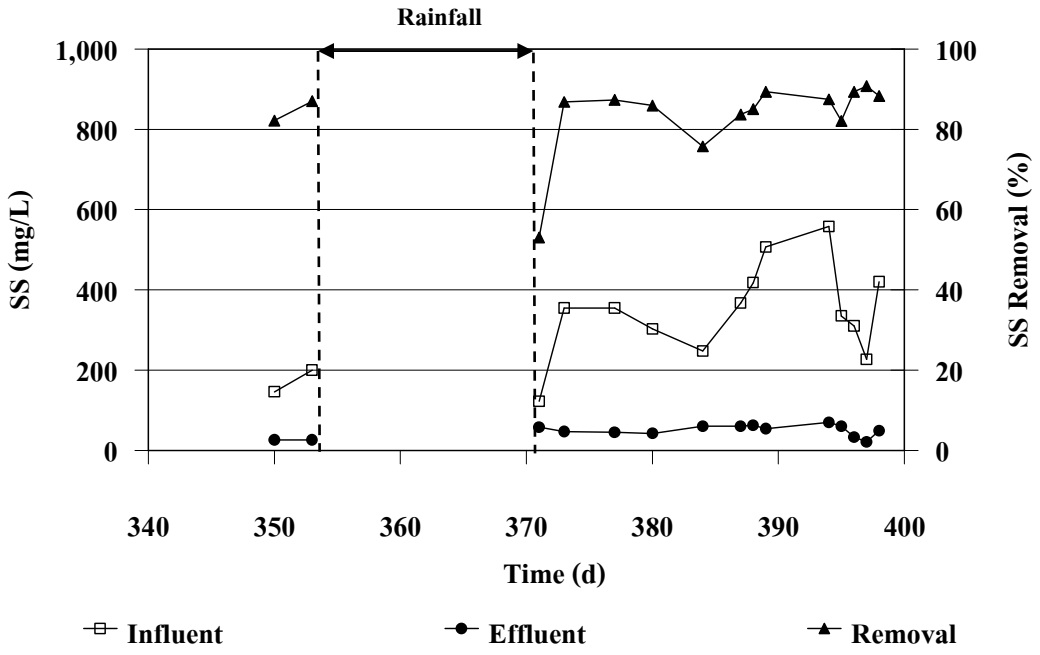
ภาพประกอบ 3-27 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=75%



ภาพประกอบ 3-28 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=50%



ภาพประกอบ 3-29 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=25%



ภาพประกอบ 3-30 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ที่ R_t=0%

ตารางที่ 3-18 ความเข้มข้นของ SS ของน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	SS (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	455-540	490±44	105-145	120±22	75.6[a]
75			48-100	69±27	86.1[b]
50			120-135	127±8	74.1[a]
25			120-125	123±3	74.7[a]
0	227-420	319±97	21-49	34±14	89.5[b]

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

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีค่าลดลงจากบ่อ 1 และ 2 ตามลำดับ เนื่องจากบ่อ 1 ถูกออกแบบเพื่อกักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบ อีกทั้งการสูบน้ำเสียย้อนกลับเข้าระบบจะช่วยนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่หมดกลับมาย่อยสลายให้สมบูรณ์อีกครั้งทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ SS ที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งลดลง ประสิทธิภาพการกำจัด SS รวมของระบบจึงเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 3-19)

ตารางที่ 3-19 เปรียบเทียบความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของแต่ละบ่อของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	SS (mg/L)			SS Removal (%)	
	Influent	Effluent			
		Pond-1	Pond-2	Pond-1	Pond-2
100	490±83	198±81	120±8	58.8±9	75.6±1.0
75		227±127	69±27	54.0±20.8	86.1±5.1
50		293±159	127±40	41.4±29.4	74.1±5.3
25		125±58	123±98	74.4±8.1	74.7±16.1
0	319±97	106±30	34±14	69.2±21.7	89.5±1.2

ฉ) การเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดเจดาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) ซึ่งไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศควรมีอัตราส่วน TCOD:TKN เท่ากับ 100:1.1 (McCarty, 1964) จากการทดลองพบว่าอัตราส่วน TCOD:TKN ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% เฉลี่ยเท่ากับ 100:2.91 และที่ R_t =0% เฉลี่ยเท่ากับ 100:1.82 ทั้งนี้จะเห็นว่าอัตราส่วน TCOD:TKN ที่ R_t ต่างๆ มีค่าสูงกว่าค่าที่แนะนำไว้ จึงไม่จำเป็นต้องมีการเติมไนโตรเจนให้กับระบบ และจากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ TKN และ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3-20) และมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า 50% ทั้งนี้เพราะระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ โดย TKN ที่หายไปบางส่วนนั้นเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่ อีกทั้งความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในระบบนั้นมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนแล้วปล่อย NH_4^+-N ออกมาซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบได้ (Leslie Grady *et al.*, 1999) และเมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของ NH_4^+-N ในน้ำทิ้งจากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ พบว่าอยู่ในช่วง 50-200 mg/L ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (McCarty,1964) และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TKN และ NH_4^+-N ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ช) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ TP กับ TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบไร้อากาศควรมีอัตราส่วน TCOD:TP เท่ากับ 100:0.2 (Senders and Bloodgood, 1965) และจากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วน TCOD:TP ของน้ำเสียเข้าระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100:1.72 และที่ R_t=0% เฉลี่ยเท่ากับ 100:1.00 จะเห็นว่าอัตราส่วน TCOD:TP ของน้ำเสียเข้าระบบสูงกว่าค่าที่แนะนำไว้ จึงไม่จำเป็นต้องเติมฟอสฟอรัสให้กับระบบ และพบว่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งจากระบบที่ R_t ต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และมีประสิทธิภาพการบำบัด TP เฉลี่ยต่ำกว่า 50% (ตารางที่ 3-21) เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้ โดย TP บางส่วนที่หายไปเกิดจากจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงาน ทำให้ปริมาณ TP ที่เหลือจึงหลุดออกมากับน้ำทิ้งจากระบบ และผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3-20 ความเข้มข้นของ TKN และ NH_4^+-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

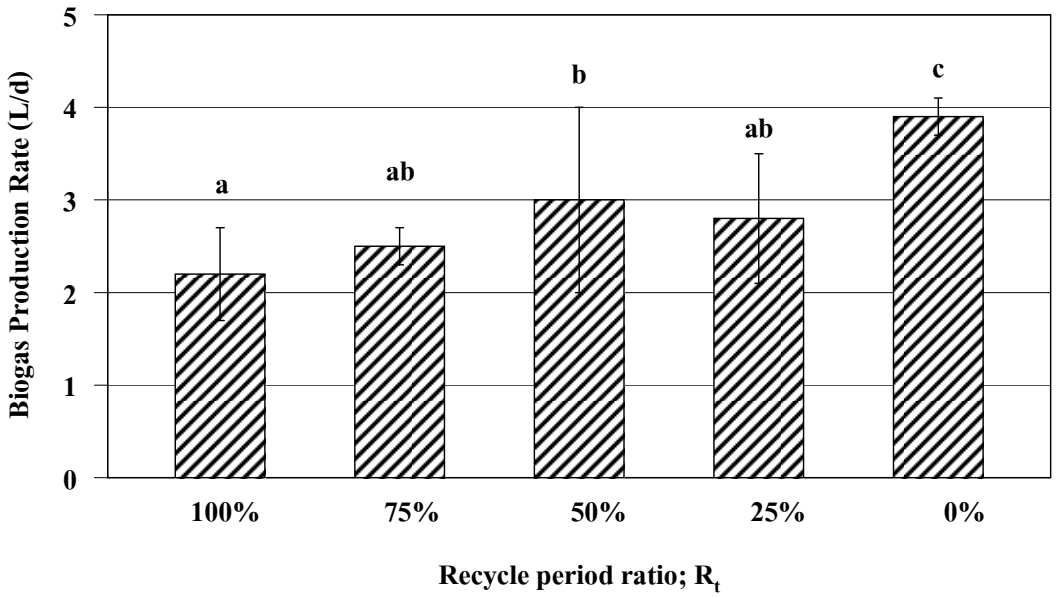
R_t (%)	TKN (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	104-182	151±42	98-111	103±7	43.1
75			98-106	102±4	42.8
50			91-99	96±5	32.0
25			98-105	102±4	42.0
0	91-195	157±58	97-111	102±8	45.3
R_t (%)	NH_4^+-N (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	84-165	111±47	70-101	90±17	28.7
75			63-105	89±23	32.4
50			49-87	74±21	44.6
25			77-99	91±12	24.9
0	41-140	88±49	75-102	92±15	19.7

ตารางที่ 3-21 ความเข้มข้นของ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	TP (mg/L)				Removal (%)
	Influent		Effluent		
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	
100	69-101	83±13	54-66	61±5	25.1
75			42-66	58±11	29.3
50			44-67	60±11	26.3
25			48-70	59±11	36.7
0	79-115	99±18	52-59	56±4	41.7

ซ) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production Rate) องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas Composition) และการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการกับค่าทางทฤษฎี

ผลของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%, 75%, 50% และ 25% พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ R_t ลดลง โดยที่สภาวะคงตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.2±0.5, 2.5±0.2, 3.0±1.0 และ 2.8±0.7 L/d ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_t=0%) พบว่ามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.9±0.2 L/d (ภาพประกอบ 3-31) และผลองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของระบบที่ R_t ต่างๆ ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก และพบว่าที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 62.7%, 68.9%, 70.0%, 67.7% และ 70.6% ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าที่ R_t=0% มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุด (ตารางที่ 3-20) และเมื่อคิดอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ (สมการ 20) กับค่าทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}/g\ TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) (ตารางที่ 3-22) พบว่าอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ที่ R_t ต่างๆ มีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีเศษยางและ SS รวมอยู่ด้วย โดย SS บางส่วนสามารถย่อยสลายได้ และบางส่วนจะตกตะกอนอยู่ในถังปฏิกิริยาทำให้สารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดในระบบไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพทั้งหมด



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

ภาพประกอบ 3-31 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

ตาราง 3-22 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Biogas Composition (%)		
	CH_4	CO_2	N_2
100	67.2	20.3	12.5
75	68.9	17.0	14.1
50	70.0	13.6	16.4
25	67.7	13.1	19.2
0	70.6	23.1	6.3

ตารางที่ 3-23 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ กับค่าทางทฤษฎี

R_t (%)	Feed (L/d)	$TCOD_{Inf}$ (mg/L)	$TCOD_{Eff}$ (mg/L)	Biogas Production Average (L/d)	Methane (%)	Observed Methane Yield ($L_{methane}/gTOD_{removed}$)
100	16.8	3,459	159	2.2[a]	67.2	0.039±0.008
75			114	2.5[ab]	68.9	0.040±0.005
50			183	3.0[b]	70.0	0.054±0.009
25			125	2.8[ab]	67.7	0.059±0.012
0	16.8	5,590	154	3.9[c]	70.6	0.049±0.007

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

3.2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง

บ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทองอยู่ในโครงการปรับปรุงและเพิ่มศักยภาพระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมชุมชนยางแผ่นรมควันขนาดเล็ก เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเดิมให้มีประสิทธิภาพและน้ำทิ้งผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ

โครงสร้างของบ่อมีลักษณะเป็นบ่อดินบดอัดแน่น ลึกประมาณ 2.5-3 m กว้างประมาณ 5 m และยาวประมาณ 8 m มีแผ่นพลาสติกพีวีซีกั้นกึ่งกลางระหว่างบ่อ แบ่งบ่อออกเป็น 2 ส่วนส่วนแรกจะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และกระบวนการสร้างกรด (Acidification) ซึ่งมีท่อกระตุ้นตะกอนตรงท้องบ่อเพื่ออัดก๊าซชีวภาพมาช่วยกระตุ้นตะกอนตรงท้องบ่อให้เกิดการผสมกับน้ำเสีย จากนั้นน้ำเสียจากส่วนแรกจะไหลเข้าสู่ส่วนที่สอง ส่วนที่สองจะเป็นกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) แล้วคลุมปิดบ่อด้วยพลาสติกพีวีซีไว้เพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นรบกวน และกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น มี HRT 26 วัน สามารถรองรับ OLR 0.26 kgCOD/ m^3·d (บริษัท พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานไทย จำกัด, 2549) เนื่องด้วยบ่อนี้มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ในการ

วิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์คุณลักษณะตามพารามิเตอร์ต่างๆ (ตารางที่ 3-24) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงาน โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือน ม.ค.-มี.ค. 2551 จำนวน 5 ครั้ง พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 68.4% ซึ่งต่ำกว่าระบบ MCL (ตารางที่ 3-15) เนื่องจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมี HRT น้อยกว่าระบบ MCL 4 วัน คิดเป็น 13% และลักษณะของการกวนผสมให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสีย ซึ่งบ่อหมักไร้อากาศใช้การอัดก๊าซชีวภาพมากวนผสม ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในน้ำเสียทำให้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในบ่อ (Engineeringtoolbox, 2008) จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ลดลง ขณะที่ระบบ MCL ใช้น้ำเสียในการกวนผสมซึ่งเป็นการช่วยลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบและทำให้ระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกที่เพิ่มขึ้นได้

ตารางที่ 3-24 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (เก็บตัวอย่างในช่วง ม.ค.-มี.ค. 2551 จำนวน 5 ครั้ง)

Parameter	Influent		Effluent		Removal
	Range	$\overline{X} \pm SD$	Range	$\overline{X} \pm SD$	(%)
Temperature (^{0}C)	25.0-34.2	29.0±3.8	24.8-31.5	27.9±3.0	-
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_3COOH)	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	68.4
SCOD (mg/L)	242-3,440	2,202±1,199	420-890	670±184	75.0
SS (mg/L)	325-770	552±202	175-460	326±107	33.4

3.3 ผลการทดลองระยะที่ 2 การติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบ

การทดลองระยะที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบหลังฤดูยางผลัดใบ ซึ่งในช่วงฤดูยางผลัดใบได้หยุดเดินระบบประมาณ 3 เดือน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีการผลิตยางแผ่นรมควันและไม่มีน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ซึ่งได้ทำการทดลองเดินระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) ซึ่งข้อมูลของการทดลองระยะนี้เป็นข้อมูลชุดเดียวกันกับการทดลองระยะที่ 1 ที่สภาวะดังกล่าวทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบดูผลการฟื้นตัวของระบบ

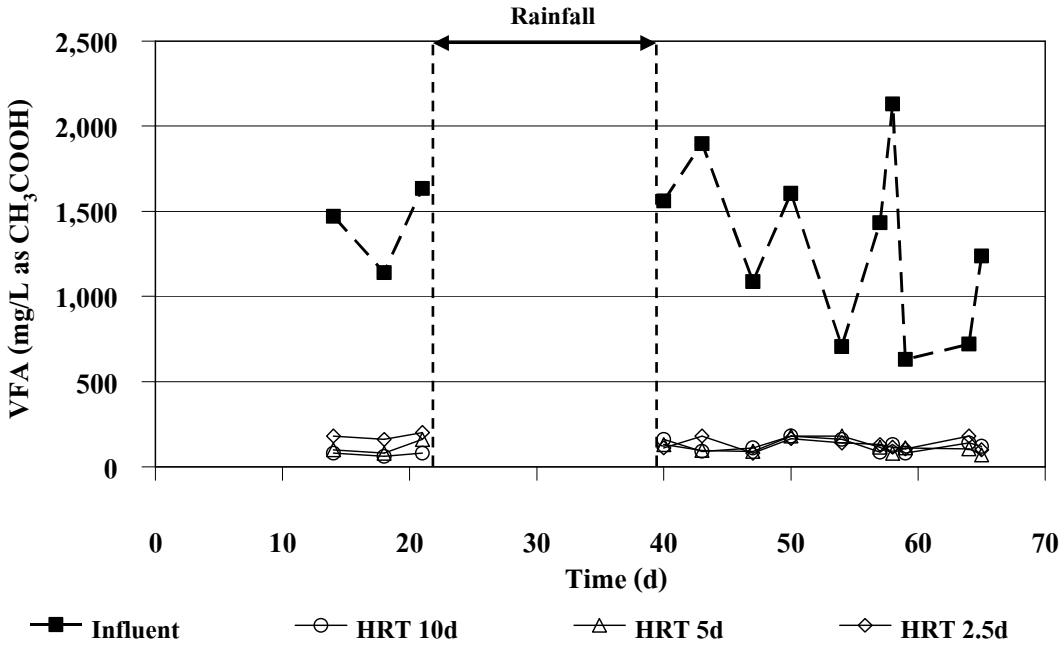
3.3.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR)

การทดลองเดินระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% หลังฤดูยางผลัดใบใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 68 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

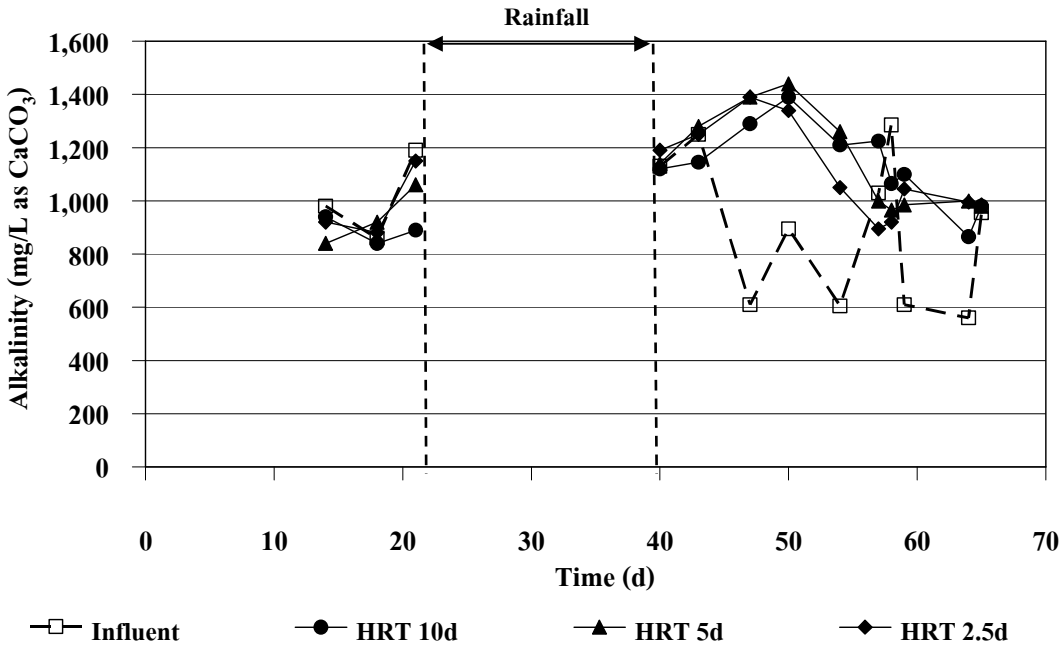
ผู้วิจัยเริ่มเก็บน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบ MABR หลังเดินระบบได้ประมาณ 21 วัน เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ VFA ที่ HRT ต่างๆ ในช่วงแรกของการเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ VFA ค่อนข้างคงที่และมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH ซึ่งเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ อีกทั้งแสดงให้เห็นถึงจุลินทรีย์ในระบบเริ่มปรับตัวทำงานในน้ำเสียได้ดีและระบบเริ่มฟื้นตัวได้ สำหรับในช่วงวันที่ 20-40 ของการเดินระบบมีฝนตก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ป้อนน้ำเสียเข้าระบบแต่ไม่ได้เก็บน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เนื่องจากมีความผันแปรของค่าความเข้มข้น TCOD เข้าระบบที่ถูกเจือจางจากน้ำฝนในบ่อรวมน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยางที่ใช้ป้อนน้ำเสียเข้าระบบ และหลังวันที่ 40 ของการเดินระบบพบว่าความเข้มข้นของ VFA ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพประกอบ 3-32) ซึ่งเมื่อพิจารณา Alkalinity ที่ HRT ต่างๆ พบว่า Alkalinity ของน้ำทิ้งจากระบบมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบและมีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศคือ 1,000-5,000 mg/L as $CaCO_3$ (ภาพประกอบ 3-33) แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอที่จะต้านทานการเปลี่ยนแปลงของ pH และการสะสมของ VFA ในระบบ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบที่ HRT ต่างๆ จะเห็นว่าในช่วงแรกของการเดินระบบมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ HRT ต่างๆ สูงกว่า 85% โดยที่ HRT 10 และ 5 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 95% ทั้งนี้อาจเนื่องจากที่ HRT สูงมีปริมาณการป้อนน้ำเสียเข้าระบบน้อยกว่าที่ HRT ต่ำ (HRT 2.5 วัน) ทำให้จุลินทรีย์ในระบบค่อยๆ ปรับตัวทำงานในน้ำเสียได้ดีกว่า และหลังจากวันที่ 40 ของการเดินระบบจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ HRT ต่างๆ

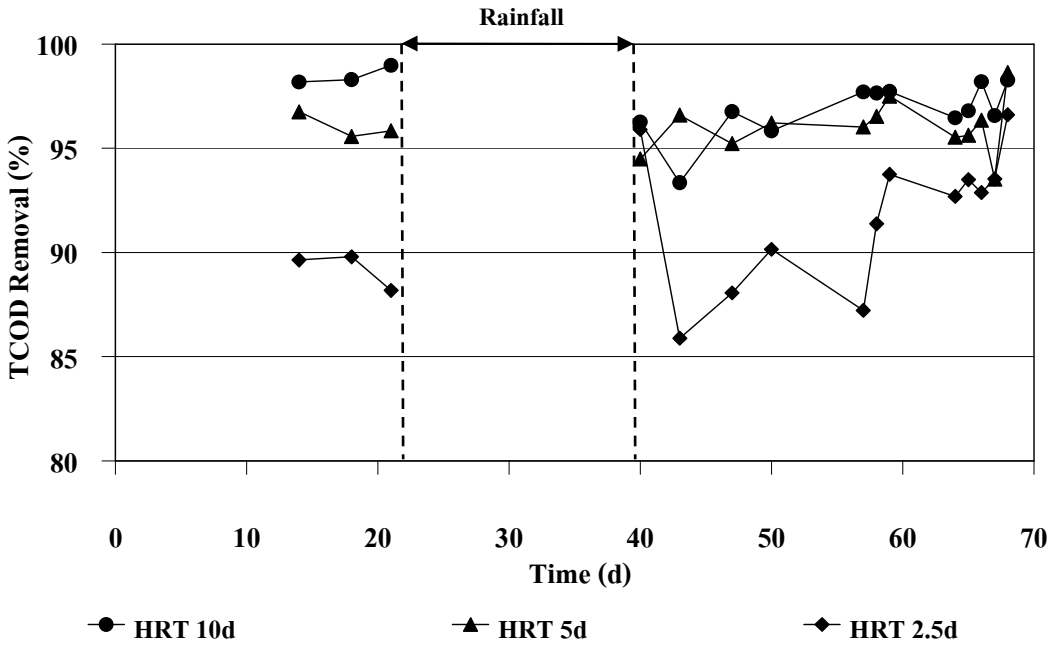
ลดลงเล็กน้อยจนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ยเท่ากับ 97.7%, 96.2% และ 94.3% ที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ตามลำดับ (ภาพประกอบ 3-34) และเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ HRT ต่างๆ จะเห็นได้ว่าหลังจากเดินระบบประมาณ 21 วัน สามารถตรวจวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบได้ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบนั้นสามารถบ่งชี้ว่ามีการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทนเกิดขึ้นในระบบ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 10.8, 42.7 และ 61.3 L/d ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.15 $L_{methane}/gTCOD_{removed}$ ตามลำดับ และมีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 63.8%, 72.8% และ 71.1% ที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ตามลำดับ



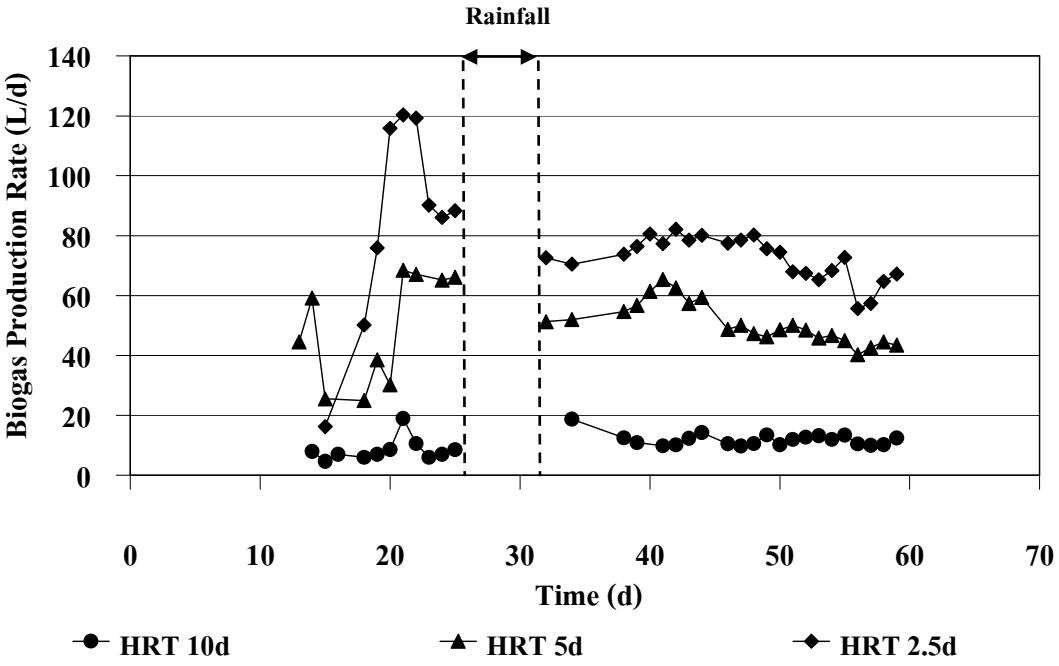
ภาพประกอบ 3-32 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-33 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-34 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-35 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)

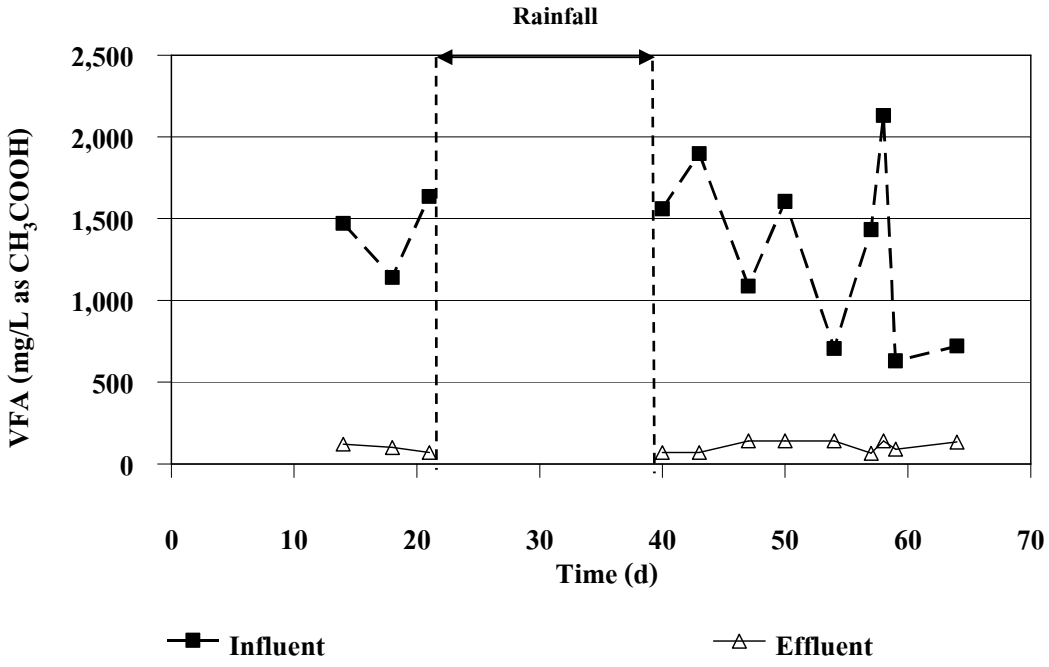
3.3.2 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (MCL)

การทดลองเดินระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบย้อนน้ำเสียย้อนกลับ) ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมด 68 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

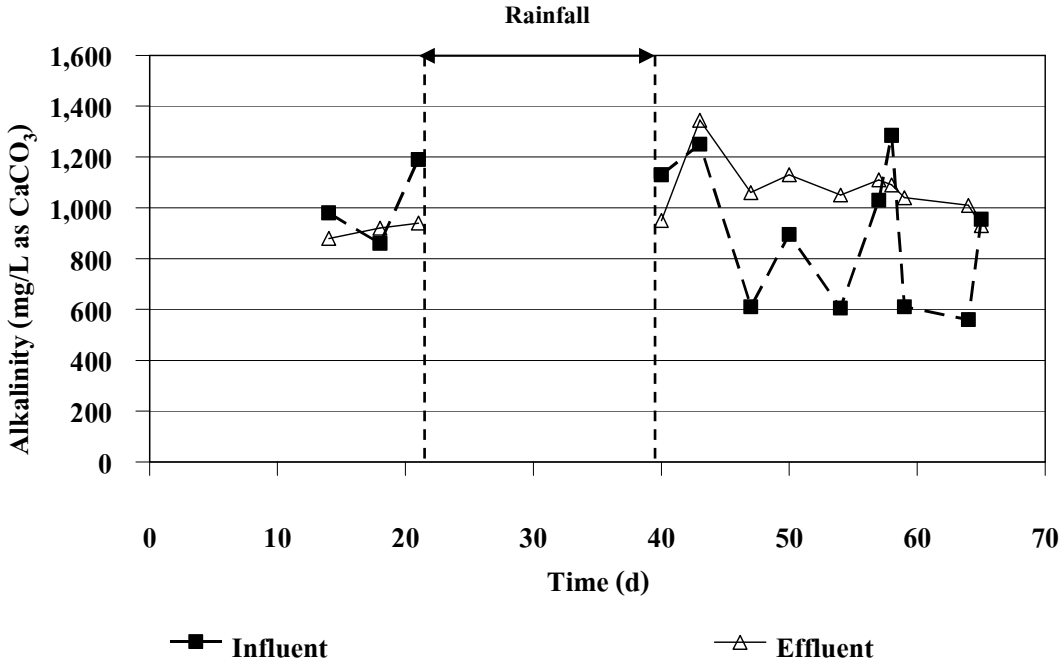
ผู้วิจัยเริ่มเก็บน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบ MCL หลังจากเดินระบบได้ประมาณ 21 วัน เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และจากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของ VFA ของระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH บ่งชี้ให้เห็นถึงจุลินทรีย์ตอบสนองต่อน้ำเสียที่เข้าระบบและปรับตัวทำงานในน้ำเสียได้ดี ระบบสามารถฟื้นตัวกลับได้หลังจากหยุดเดินระบบมาประมาณ 3 เดือน (ภาพประกอบ 3-36) และพบว่า Alkalinity ของระบบตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ คือ 1,000-5,000 mg/L as $CaCO_3$ (ภาพประกอบ 3-37) แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอที่จะต้านทานการสะสมของ VFA และ pH ที่ลดต่ำลงในระบบ

สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ในช่วงแรกของการเดินระบบพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 95% เนื่องจากระบบ MCL มี HRT นานถึง 30 วัน ทำให้จุลินทรีย์ในระบบค่อยๆ ปรับตัวทำงานในน้ำเสียได้ดี และในช่วงวันที่ 20-40 ของการเดินระบบมีฝนตก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ป้อนน้ำเสียเข้าระบบแต่ไม่ได้เก็บน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และ

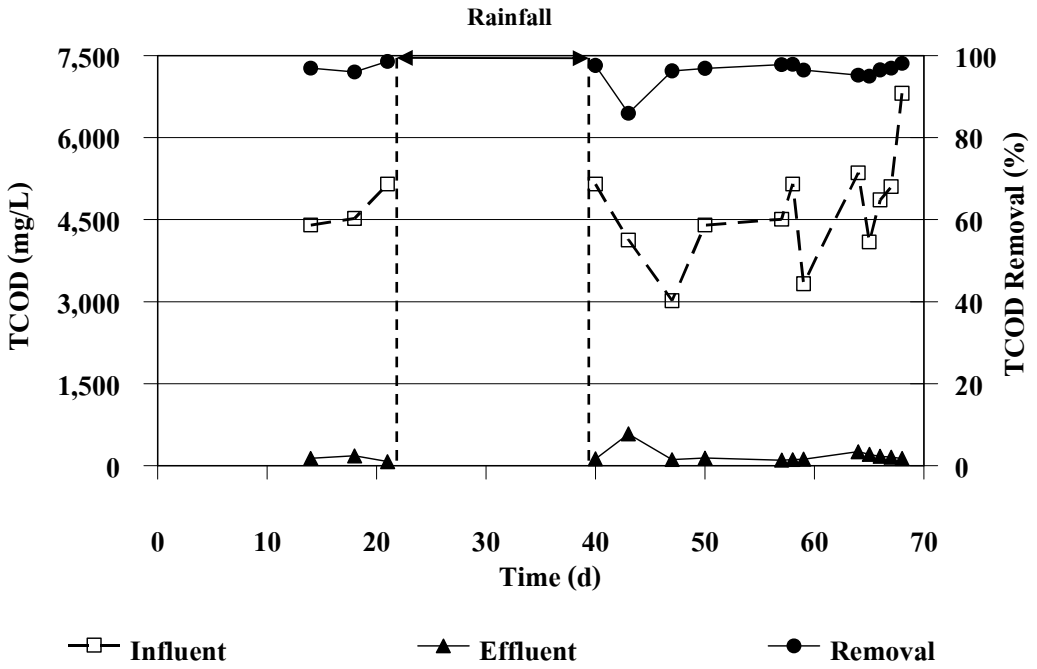
หลังจากวันที่ 40 ของการเดินระบบพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด TCOD มีค่าลดลงเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่จนเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ย 97.1% (ภาพประกอบ 3-39) และเมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ พบว่าหลังเดินระบบได้ประมาณ 21 วัน (ภาพประกอบ 3-39) สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบได้ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในวันที่ 21 และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 3.9 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.049 $L_{CH4}/gTCOD_{removed}$ และมีองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 70.6%



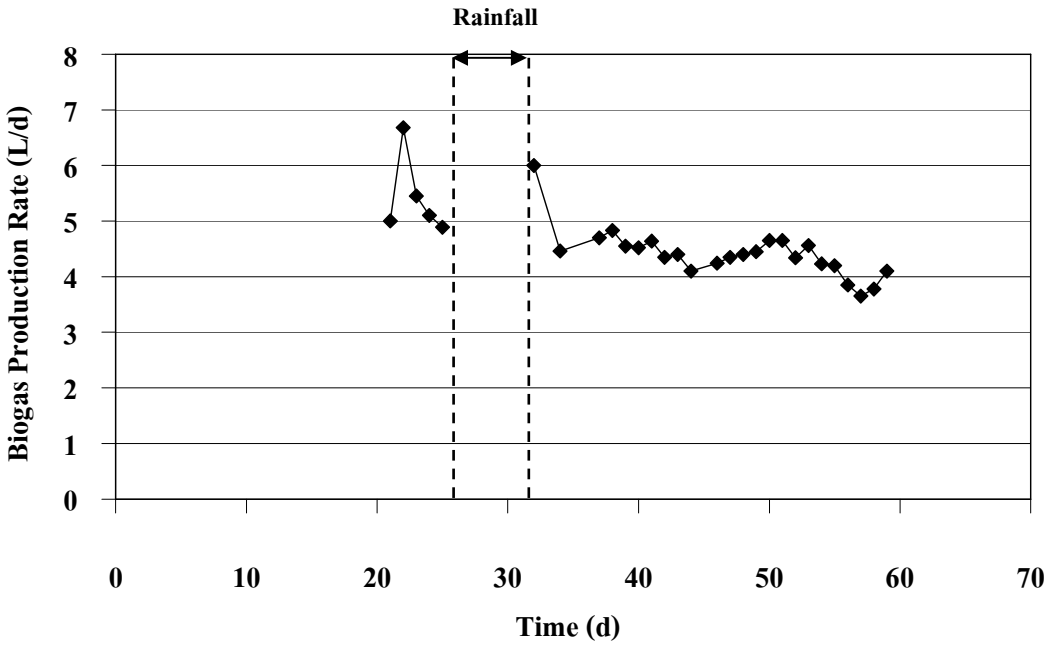
ภาพประกอบ 3-36 VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_i=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-37 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_f=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-38 ปริมาณสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_f=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)



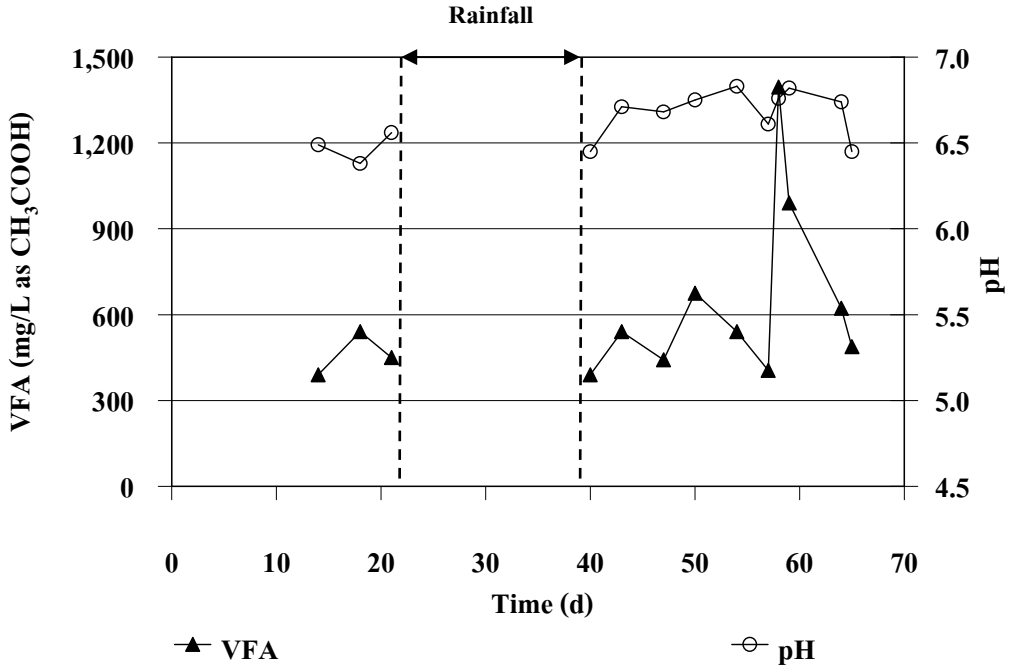
ภาพประกอบ 3-39 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)

3.3.3 ประสิทธิภาพการทำงานของบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)

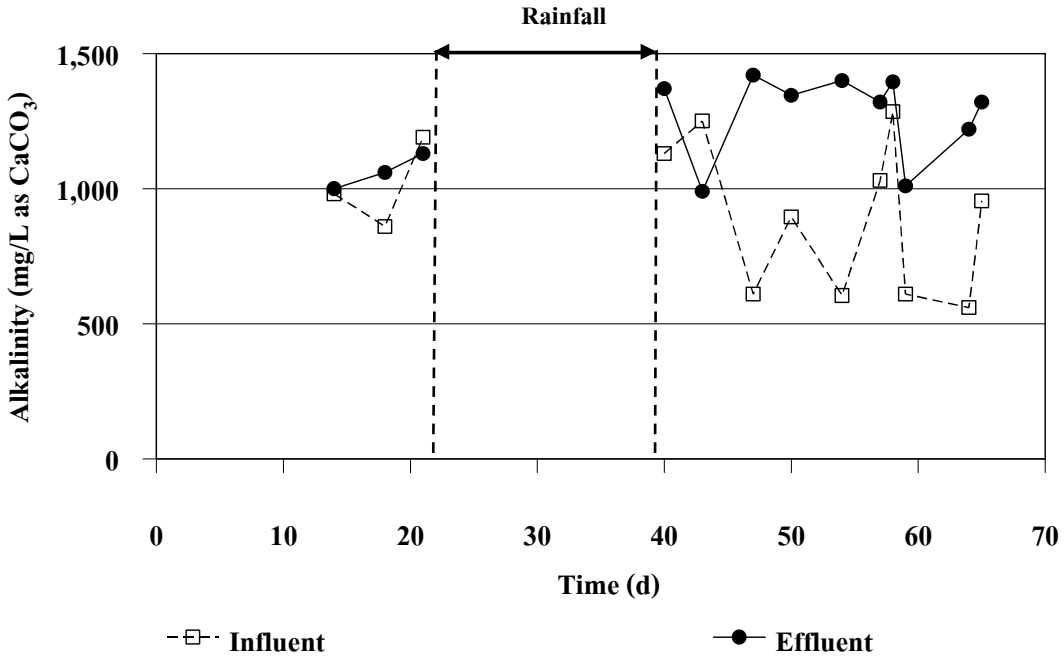
สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทองเริ่มผลิตยางแผ่นรมควันหลังจากฤดูยางผลัดใบประมาณปลายเดือน พ.ค. 2551 ผู้วิจัยจึงเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจำนวน 12 ครั้ง (มิ.ย.-ส.ค. 2551) เพื่อติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบหลังฤดูยางผลัดใบซึ่งเป็นช่วงเดียวกับที่เดินระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% หลังฤดูยางผลัดใบ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง พบว่า pH มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดลงในวันที่ 58 เนื่องจากมีการสะสม VFA เพิ่มสูงขึ้นในระบบ (ภาพประกอบ 3-40) ซึ่งตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลมีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 6.63±0.15 และมีความเข้มข้นของ VFA อยู่ในช่วง 390-1,395 mg/L as CH_3COOH เฉลี่ยเท่ากับ 605±287 mg/L as CH_3COOH ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ VFA ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าระดับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศคือ 50-500 mg/L as CH_3COOH ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบมีการฟื้นตัวกลับได้หลังจากหยุดเดินระบบประมาณ 3 เดือน และมีการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดได้ดีกว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทน ซึ่งเมื่อพิจารณา Alkalinity ของระบบพบว่าช่วงแรกของการเดินระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และค่อนข้างคงที่ในช่วงหลังโดยมี

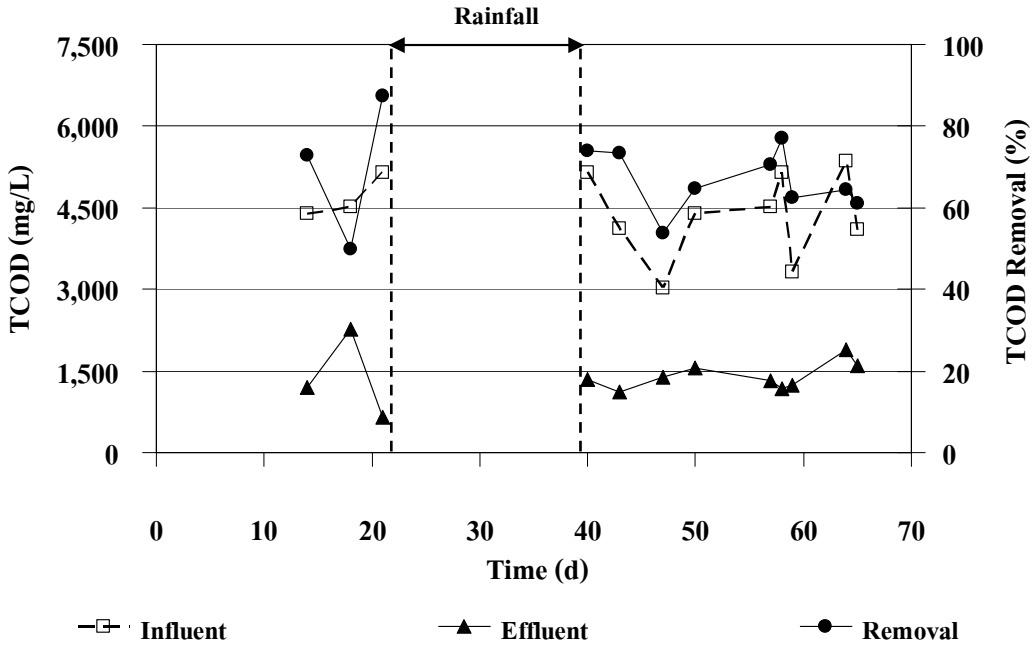
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,229±168 mg/L as $CaCO_3$ (ภาพประกอบ 3-41) ซึ่งค่า Alkalinity ของระบบมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ คือ 1,000-5,000 mg/L as $CaCO_3$ อีกทั้งมีค่า VFA:Alkalinity เฉลี่ย 0.50±0.23 ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวสูงกว่า 0.4 แต่ต่ำกว่า 0.8 แสดงว่าระบบยังสามารถทำงานได้ดีและมีบัฟเฟอร์เพียงพอเพื่อต้านการสะสมของ VFA ในระบบ แต่ทั้งนี้ผู้ดูแลระบบควรติดตามคุณภาพน้ำทิ้งอย่างใกล้ชิดเพื่อไม่ให้อัตราส่วนดังกล่าวสูงกว่า 0.8 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ pH ลดต่ำลงจนระบบอาจล้มเหลวได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2546ข) อีกทั้งประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 67.7% (ภาพประกอบ 3-42)



ภาพประกอบ 3-40 ความสัมพันธ์ของ pH และ VFA ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-41 Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)



ภาพประกอบ 3-42 ปริมาณสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง (หลังฤดูยางผลัดใบ)

3.4 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบ MABR และ MCL เพื่อไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินในประเด็นค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุด และการเดินระบบที่ R_t=0% ซึ่งไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับนั้นเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ รวมทั้งประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2538 จากนั้นเปรียบเทียบผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MABR และ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางทั้ง 2 รุ่นออกแบบ เพื่อเสนอความเป็นไปได้ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

3.4.1 ระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR)

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=0% ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เท่ากับ 94.3% มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ 71.1% โดยคำนวณหาปริมาตรของระบบจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1.1 คำนวณหาปริมาตรของระบบ MABR ได้ดังนี้

1) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 9.28 m^3/d
2) ปริมาณน้ำยางสดที่นำมาทำแผ่น = 6,000 kg
3) อัตราการเกิดน้ำเสียต่อตันน้ำยาง = 9.28/6
   = 1.54 m^3/ton
4) การออกแบบที่การผลิตสูงสุด = 10,000 kg/d
5) ปริมาณการออกแบบ = 1.54 m^3/ton.d x 10 ton
   = 15.40 m^3/d $\approx$ 15.50 m^3/d

ดังนั้น คำนวณหาปริมาตรของระบบ MABR จากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 15.50 m^3/d จากสมการ (21)

$$HRT = \frac{V}{Q} \qquad (21)$$

เมื่อ

HRT = ระยะเวลาที่น้ำเสียถูกกักพักอยู่ในถังปฏิกิริยา, d

V = ปริมาตรของถังปฏิกิริยา, m^3

Q = อัตราการไหลของน้ำเสีย, m^3/d

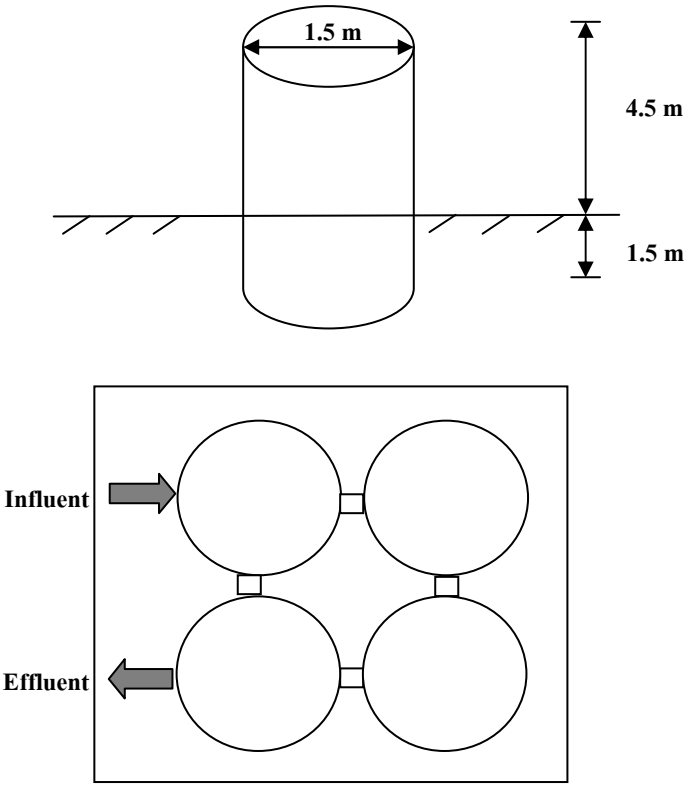
จะได้ $$2.5d = \frac{V}{15.50m^3 / d}$$

$$V = 2.5d \times 15.50m^3 / d$$

$$V = 38.75m^3 \approx 40m^3$$

$$V = \frac{40m^3}{4} \approx 10m^3 / reactor$$

ดังนั้น ปริมาตรของถังปฏิกิริยาเท่ากับ 10 m^3 จำนวน 4 ถัง มีปริมาตรรวม 40 m^3 ซึ่งมีแบบจำลองระบบ MABR ดังภาพประกอบ 3-43



หมายเหตุ : เนื่องจากถ้าสร้างระบบ MABR จำนวน 3 ถัง ความสูงของถังปฏิกิริยาจะสูงมากจึงออกแบบให้เป็น 4 ถังปฏิกิริยา

ภาพประกอบ 3-43 แบบจำลองระบบ MABR

3.4.1.2 ประเมินค่าก่อสร้างระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ของระบบ MABR ดังแสดงในตารางที่ 3-25

ตารางที่ 3-25 รายการประเมินค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบ MABR

รายการ	หน่วย
1. ค่าก่อสร้างระบบ	
1.1 ค่าถังปฏิกิริยา ใช้วงขอบซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m สูง 0.4 m จำนวน 60 ใบ × 500 บาท	30,000 บาท
1.2 ค่าขนย้ายวงขอบซีเมนต์ จำนวน 60 ใบ × 150 บาท	9,000 บาท
1.3 ค่าฐานรากซีเมนต์ เท่ากับ 3.5 m × 3.5 m × 0.25 m*	18,375 บาท
1.4 ค่าแรงยกเชื่อมต่อแนวท่อ จำนวน 60 ใบ x 150 บาท*	30,000 บาท
1.5 ค่างานฉาบผิวกันซึม 113.04 m^2 × 150 บาท*	16,956 บาท
1.6 งานขุดดิน	7,000 บาท
1.7 ค่าจ้างแรงงาน (คิดเป็น 20% ของราคาทั้งหมด ข้อ 1.1-1.6)	22,266 บาท
1.8 ค่าเครื่องสูบน้ำ ขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง	5,790 บาท
1.9 ค่าสร้างถุงเก็บก๊าซชีวภาพ	26,500 บาท
รวม	**165,887 บาท**
2. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ	
ค่าไฟฟ้า ในการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม./วัน เท่ากับ 135 บาท/เดือน	1,620 บาท/ปี

หมายเหตุ : * คือ วิธีคำนวณค่าใช้จ่ายข้อ 1.3-1.5 ดังแสดงในภาคผนวก ง

ดังนั้น ค่าก่อสร้างระบบ MABR เท่ากับ 165,887 บาท และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเท่ากับ 1,620 บาท/ปี

3.4.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=0% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 94.3% และประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ พร้อมทั้งคิดเทียบกับพลังงานแทนและคิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MABR

1.1) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 9.28 m^3/d

1.2) ปริมาณสารอินทรีย์ (TCOD) = 5,590 mg/L

1.3) ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD = 94.3%

TCOD Loading = 9.28 m^3/d × 5,590 mg/L

= 51.87 kgTCOD/d

TCOD Removal Efficiency = 94.3%

TCOD removed = 51.87 × 0.943

= 48.91 $kgTCOD_{removed}$/d

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 0.15 $m^3_{biogas}/kgTCOD_{removed}$

ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 48.91 × 0.15

= 7.33 m^3_{biogas}/d

2) คิดเทียบกับพลังงานแทน

2.1) คิดเทียบกับไม้ฟืน (1.5 kg/m^3) = 7.33 × 1.5 (kg/m^3)

= 11.00 kg /d

คิดเป็นเงิน (1 Baht/kg) = 11.00 Baht/d

2.2) คิดเทียบกับก๊าซหุงต้ม (0.46 kg/m^3) = 7.33 × 0.46 kg/m^3

= 3.37 kg/d

คิดเป็นเงิน (20 Baht/kg) = 67.40 Baht/d

2.3) คิดเทียบกับค่าไฟฟ้า (1.2 kW-hr) = 7.33 × 1.2 kW-hr

= 8.80 kW-hr/d

คิดเป็นเงิน (3 Baht/unit) = 26.40 Baht/d

3) คิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้

ระยะเวลาการทำงานของสกย.ใน 1 ปี = 365 – 90* วัน

= 275 วัน

* คือ ระยะเวลาที่สกย.หยุดผลิตในช่วงฤดูยางผลัดใบกับช่วงที่ฝนตกตลอดปี

3.1) คิดเทียบกับไม้ฟืน = 11.00 Baht × 275

= 3,025 Baht /year

3.2) คิดเทียบกับก๊าซหุงต้ม = 67.40 Baht × 275

= 18,535 Baht /year

3.3) คิดเทียบกับค่าไฟฟ้า = 26.40 Baht × 275

= 7,260 Baht /year

ผลการประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MABR ภายใต้ HRT 2.5 วัน โดยไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากค่าการออกแบบที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง พบว่ามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 7.33 m^3/d สามารถคิดเทียบกับไม้ฟืน ก๊าซหุงต้ม และค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 11.0 kg/d, 3.37 kg/d และ 8.80 kW-hr/d ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้เท่ากับ 3,025 Baht/year, 18,535 Baht/year และ 7,260 Baht /year ตามลำดับ

3.4.2 ระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (MCL)

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เท่ากับ 97.1% มีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพ 70.6% โดยคำนวณหาปริมาตรของระบบ MCL จากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.1 คำนวณหาปริมาตรของระบบ MCL

1) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 9.28 m^3/d

2) ปริมาณน้ำยางสดที่นำมาทำแผ่น = 6,000 kg

3) อัตราการเกิดน้ำเสียต่อตันน้ำยาง = 9.28/6

= 1.54 m^3/ton

4) การออกแบบที่การผลิตสูงสุด = 10,000 kg/d

5) ปริมาณการออกแบบ = 1.54 m^3/ton.d x 10 ton

= 15.40 m^3/d $\approx$ 15.50 m^3/d

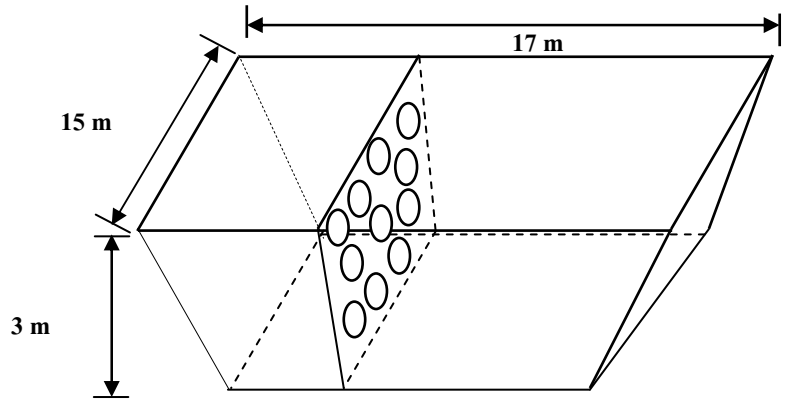
และคำนวณหาปริมาตรขนาดของระบบ MCL จากสมการ (21) จะได้

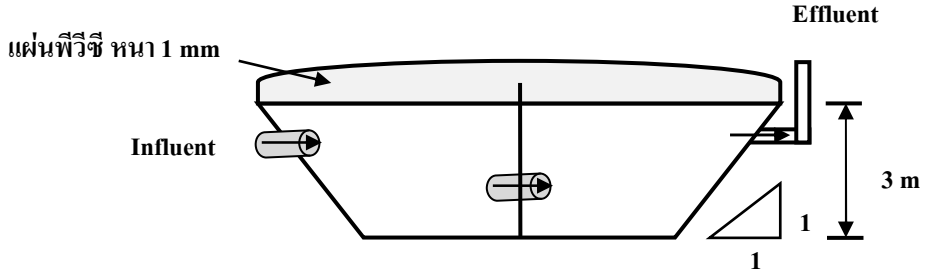
$$30d = \frac{V}{15.50m^3/d}$$

$$V = 30d \times 15.50m^3/d$$

$$V = 465m^3$$

ดังนั้นปริมาตรรวมของบ่อเท่ากับ 465 m^3 และออกแบบให้มีขนาดบ่อกว้าง 15 m ยาว 17 m ลึก 3 m โดยคำนวณแบบ Trapezoid Tank ซึ่งแบบจำลองระบบ MCL ดังภาพประกอบ 3-44





ภาพประกอบ 3-44 แบบจำลองระบบ MCL

2. ประเมินค่าก่อสร้างระบบ และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบ MCL ดังแสดงในตารางที่ 3-26

ตารางที่ 3-26 รายการประเมินค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบ MCL

รายการ		หน่วย
1. ค่าก่อสร้างระบบ		
1.1 ค่าขุดดินพร้อมบดอัดแน่นคันบ่อ (ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่)		6,000 บาท
1.2 ค่าแผ่นพลาสติก พีวีซี หนา 1 mm ราคา 250 บาท/m^2		
1.2.1 คลุมบ่อขนาด กว้าง 19 m ยาว 21 m คิดเป็นพื้นที่ 399 m^2		99,750 บาท
1.2.2 คลุมคันบ่อ กว้าง 2.5 m ยาว 17 m รวม 2 ด้าน คิดเป็นพื้นที่ 85 m^2		21,250 บาท
1.3 ค่าติดตั้งแผ่นพลาสติก (เหมาจ่าย)		20,000 บาท
1.4 ค่าแรงงาน (เหมาจ่าย)		10,000 บาท
1.5 ค่าเครื่องสูบน้ำ ขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง		5,790 บาท
	รวม	**162,790 บาท**
2. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ		
ค่าไฟฟ้า ในการสูบน้ำเสียเข้าระบบ 2 ชม./วัน เท่ากับ 135 บาท/เดือน		1,620 บาท/ปี

ดังนั้น ค่าก่อสร้างของระบบ MCLเท่ากับ 162,790 บาท และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเท่ากับ 1,620 บาท/ปี

3.4.2.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MCL พิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 97.1% และประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ พร้อมทั้งคิดเทียบกับพลังงานแทนและคิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MCL

1.1) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 9.28 m^3/d

1.2) ปริมาณสารอินทรีย์ (TCOD) = 5,590 mg/L

1.3) ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD = 97.1%

TCOD Loading = 9.28 m^3/d × 5,590 mg/L

= 51.87 kgTCOD/d

TCOD Removal Efficiency = 97.1%

TCOD removed = 51.87 × 0.971

= 50.36 $kgTCOD_{removed}$/d

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 0.049 m^3_{biogas}/kgTCOD$_{removed}$

ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 50.36 × 0.049

= 2.46 m^3_{biogas}/d

2) คิดเทียบกับพลังงานแทน

2.1) คิดเทียบกับไม้ฟืน (1.5 kg/m^3) = 2.46 × 1.5 (kg/m^3)

= 3.69 kg /d

คิดเป็นเงิน (1 Baht/kg) = 3.69 Baht/d

2.2) คิดเทียบกับก๊าซหุงต้ม (0.46 kg/m^3) = 2.46 × 0.46 kg/m^3

= 1.13 kg/d

คิดเป็นเงิน (20 Baht/kg) = 22.60 Baht/d

2.3) คิดเทียบกับค่าไฟฟ้า (1.2 kW-hr) = 2.46 × 1.2 kW-hr

= 2.95 kW-hr/d

คิดเป็นเงิน (3 Baht/unit) = 8.85 Baht/d

3) คิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้

ระยะเวลาการทำงานของสกย.ใน 1 ปี = 365 – 90* วัน

= 275 วัน

* คือ ระยะเวลาที่สกย.หยุดผลิตในช่วงฤดูยางผลัดใบกับช่วงที่ฝนตกตลอดปี

3.1) คิดเทียบกับไม้ฟืน = 3.69 Baht × 275

= 1,014.75 Baht /year

3.2) คิดเทียบกับก๊าซหุงต้ม = 22.60 Baht × 275

= 6,215 Baht /year

3.3) คิดเทียบกับค่าไฟฟ้า = 8.85 Baht × 275

= 2,433.75 Baht /year

ผลการประเมินการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน โดยไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับจากค่าการออกแบบที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง พบว่ามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.46 m^3/d สามารถคิดเทียบกับไม้ฟืน ก๊าซหุงต้มและค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 3.69 kg/d, 1.13 kg/d และ 2.95 kW-hr/d ตามลำดับ สามารถคิดเป็นมูลค่าพลังงานที่สามารถทดแทนได้เท่ากับ 1,014.75 Baht/year, 6,215 Baht/year และ 2,433.75 Baht/year ตามลำดับ

3.4.3 ค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 ประกอบด้วยบ่อบำบัดขั้นต้น บ่อเติมอากาศ จำนวน 2 บ่อ และบ่อผึ่ง (ภาพประกอบ 1-2 (a)) และปี พ.ศ. 2538 ประกอบด้วยบ่อบำบัดขั้นต้น บ่อหมักไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ และบ่อผึ่ง (ภาพประกอบ 1-2 (b)) จะเห็นว่ารุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 มีจำนวนบ่อเติมอากาศมากกว่าปี พ.ศ. 2538 จำนวน 1 บ่อ สำหรับค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดแสดงดังตารางที่ 3-27

ตารางที่ 3-27 รายการประเมินค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

ระบบบ่อรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537	
รายการ	**หน่วย**
1. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ*	
ค่าไฟฟ้า ในการเติมอากาศเข้าระบบ 24 ชม./วัน เท่ากับ 3,240 บาท/เดือน	38,880 บาท/ปี
2. ประสิทธิภาพการบำบัด**	
ประสิทธิภาพการกำจัด COD	90.5%
ระบบบ่อรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538	
รายการ	**หน่วย**
1. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ*	
ค่าไฟฟ้า ในการเติมอากาศเข้าระบบ 24 ชม./วัน เท่ากับ 1,620 บาท/เดือน	19,440 บาท/ปี
2. ประสิทธิภาพการบำบัด**	
ประสิทธิภาพการกำจัด COD	80.9%

หมายเหตุ : * คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และ ** คือ ประสิทธิภาพการบำบัด ดังแสดงในภาคผนวก ง

3.4.4 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ระบบ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบของระบบ MABR และระบบ MCL พบว่า ระบบ MCL (162,790 บาท) มีค่าก่อสร้างระบบถูกกว่าระบบ MABR (165,887 บาท) ส่วนค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ MCL และ MABR มีค่าเท่ากัน คือ 1,620 บาท/ปี ซึ่งถูกกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 (38,880 บาท/ปี) และ 2538 (19,440 บาท/ปี) อีกทั้งระบบ MCL ยังมีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงกว่าระบบ MABR และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางทั้ง 2 รุ่นออกแบบ นอกจากนี้ระบบ MABR และ MCL สามารถรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของระบบ และนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น รมควันยางแทนไม้ฟืน และคนงานของสหกรณ์โรงอบ/รมยางนำไปใช้แทนก๊าซหุงต้ม เป็นต้น

ตารางที่ 3-28 ผลการเปรียบเทียบค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR ระบบ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

ระบบ	ค่าก่อสร้างระบบ (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ (บาท/ปี)	COD Removal (%)	Biogas Production Rate (m^3/d)
MABR	165,887	1,620	94.3	7.33 (25.18)*
MCL	162,790	1,620	97.1	2.46 (24.45)*
ปี 2537**	***	38,880	90.5	-
ปี 2538**	***	19,440	80.9	-

หมายเหตุ : * คือ ค่า Biogas Production Rate ในวงเล็บเป็นค่าที่คำนวณได้ตามค่าทฤษฎี
= 0.5 m^3_{biogas}/kg $TCOD_{removed}$ ที่คำนวณจาก Observed Methane Yield = 0.35 m^3_{biogas}/kg $TCOD_{removed}$
หารด้วยร้อยละของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพซึ่งมีประมาณ 70%
** คือ รุ่นออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง
*** คือ ไม่มีข้อมูล

3.4.5 ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MABR และ MCL

จากการเดินระบบ MABR และ MCL ภายใต้สภาวะการทดลองต่างๆ สามารถสรุปข้อดีข้อเสียได้ดังแสดงในตารางที่ 3-29 และ 3-30

ตารางที่ 3-29 ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MABR

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) สั้น	1. มีความยุ่งยากในการเดินระบบ
2. มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SS สูง	2. ต้องสร้างถุงเก็บก๊าซชีวภาพเชื่อมต่อกับระบบก่อนนำไปใช้ประโยชน์
3. ประหยัดพื้นที่ในการสร้างระบบ	3. เกิดการอุดตันระหว่างท่อที่เชื่อมต่อระหว่างถังปฏิกิริยาได้ง่าย
4. ไม่ต้องใช้เครื่องจักรในการกวนผสม	4. มีปัญหาเรื่องการควบคุมความเร็วของการไหลขึ้นของน้ำเสีย (Upflow Velocity)
5. กักเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในแต่ละถังปฏิกิริยาของระบบ MABR	5. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบสูง
6. มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมภายในระบบ เช่น pH และอุณหภูมิ	
7. มีอายุสลัดจ์ (Sludge retention time; SRT) นาน	

ตารางที่ 3-30 ข้อดีและข้อเสียจากการเดินระบบ MCL

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เดินระบบง่าย ไม่ซับซ้อน	1. ใช้เวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) นาน
2. มีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SS สูง	2. ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบมาก
3. สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์โรงอบ/รมยางได้ทันที	
4. ต้องการดูแลรักษาน้อย	
5. ลดปัญหาการซึมของน้ำเสียลงสู่น้ำใต้ดิน	
6. มีบัฟเฟอร์ช่วยในการกวนผสม และการกระจายของน้ำเสีย	

บทที่ 4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด และสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้นประยุกต์ (MABR) และระบบบ่อหมักย่อยประยุกต์ (MCL) ในการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง โดยผู้วิจัยเข้าไปติดตั้ง ณ สหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง ตั้งอยู่หมู่ 3 ต. ท่าช้าง อ. บางกล่ำ จ. สงขลา และทดลองเดินระบบระหว่างเดือน ก.ค. 2550 - ส.ค. 2551 โดยใช้ระบบ MABR จำนวน 3 ชุดการทดลองและระบบ MCL จำนวน 4 ชุดการทดลอง โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MABR-10 (HRT 10 วัน), MABR-5 (HRT 5 วัน) และ MABR-2.5 (HRT 2.5 วัน) ที่ R_t ระดับ 100%, 50% และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) และระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ระดับ 100%, 75%, 50%, 25% และ 0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) ส่วนระยะที่ 2 เป็นการเดินระบบ MABR และ MCL หลังฤดูยางผลัดใบเพื่อติดตามการตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MABR และ MCL ในประเด็นค่าก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัด รวมทั้งประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2538 จากนั้นเปรียบเทียบผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของระบบ MABR และ MCL และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางทั้ง 2 รุ่นออกแบบ เพื่อเสนอความเป็นไปได้ในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1.1 ประสิทธิภาพการบำบัด และสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบ MABR และ MCL

4.1.1.1 ระบบ MABR

1) การเดินระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t ต่างๆ พบว่ามีค่า pH และความเข้มข้นของ VFA อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ และค่า Alkalinity ใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และพบว่าการสูบน้ำเสียย้อนกลับ

เข้าระบบเป็นการนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์กลับมาทำปฏิกิริยาเพื่อย่อยสลายอีกครั้ง รวมถึงหมุนเวียนนำสภาพด่างกลับมาใช้ในระบบทำให้ pH เพิ่มสูงขึ้น และค่า VFA:Alkainity ต่ำกว่า 0.4 ในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงเพื่อรองรับการสะเทินกรดและต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ลดลง ขณะที่ผลการเดินระบบในสภาวะที่ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ พบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีโดยมีค่า pH และความเข้มข้นของ VFA อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและ Alkalinity ของระบบใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

2) ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ทั้ง 3 ชุดการทดลองที่ R_t ต่างๆ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 90% ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ R_t=50% เฉลี่ยเท่ากับ 22.5, 44.9 และ 70.5 L/d ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ตามลำดับ และองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดที่ R_t=0% มีค่าเท่ากับ 63.7%, 72.8% และ 71.1% ของระบบ MABR-10, MABR-5 และ MABR-2.5 ตามลำดับ

4) สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน คือ ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% และมีค่าใกล้เคียงกับที่ R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ ดังนั้นการเดินระบบที่สภาวะนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

4.1.1.2 ระบบ MCL

1) การเดินระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ พบว่าค่า pH ความเข้มข้นของ VFA และ Alkalinity มีค่าอยู่ช่วงในที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และมีค่า VFA:Alkainity ต่ำกว่า 0.4 ในทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงเพื่อรองรับการสะสมของ VFA และต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ที่ลดลง

2) ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ที่ R_t ต่างๆ มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 90% และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบที่ R_t=100%, 75%, 50%, 25% และ 0% ที่สภาวะคงตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.5, 2.2, 3.4, 3.4 และ 3.9 L/d ตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบมีเทนสูงสุดที่ R_t= 0% มีค่าเท่ากับ 70.6%

4) สภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน คือ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% เมื่อเปรียบเทียบกับ R_t ที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ และการเดินระบบที่สภาวะนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

4.1.2 การตอบสนองและการฟื้นตัวกลับของระบบหลังฤดูยางผลัดใบ

4.1.2.1 ระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ)

ระบบสามารถตอบสนองทำงานในน้ำเสียและฟื้นตัวกลับได้หลังจากเดินระบบประมาณ 21 วัน และพบว่าค่า pH และ VFA อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบ และ Alkalinity มีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบที่ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน เฉลี่ยเท่ากับ 10.8, 42.7 และ 61.3 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.15 $L_{methane}/gTCOD_{removed}$ ซึ่งมีองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 63.8%, 72.8% และ 71.1% ตามลำดับ อีกทั้งมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน เฉลี่ยเท่ากับ 97.7%, 96.2% และ 94.3% ตามลำดับ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ MABR คือ ที่ HRT 2.5 วัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD สูงกว่า 90% และให้องค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 71.1% เมื่อเปรียบเทียบกับที่ HRT 10 และ 5 วัน จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และองค์ประกอบมีเทนในก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน

4.1.2.2 ระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (ไม่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับ)

ระบบมีการตอบสนอง และการฟื้นตัวกลับของระบบได้หลังจากเดินระบบได้ประมาณ 21 วัน และพบว่าค่า pH ความเข้มข้นของ VFA และ Alkalinity อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ยเท่ากับ 97.2% และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 3.85 L/d คิดเป็นอัตราการผลิตมีเทนต่อ TCOD ที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.049 $L_{methane}/gTCOD_{removed}$ และองค์ประกอบของมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 70.6%

4.1.4 ประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการนำระบบ MABR และ MCL มาประยุกต์ใช้กับสหกรณ์โรงอบ/รมยาง

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น พบว่าระบบ MCL มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบถูกกว่าระบบ MABR อีกทั้งมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าระบบ MABR และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2538 อีกทั้งสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบ MCL ไปใช้ประโยชน์เพื่อการหุงต้มของคนงานในสหกรณ์และเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับไม้ฟืนในการรมควันยางแผ่นได้

4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

1) หากมีการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบเพิ่มเติม ควรศึกษาการเดินระบบ MABR และ MCL ที่ HRT ต่ำลง เพื่อลดปริมาตรถังปฏิกิริยาและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ

2) ควรหาเทคนิคในการตรวจสอบระบบการกักเก็บก๊าซชีวภาพจากระบบ MABR และ MCL เพราะในการวิจัยครั้งนี้พบปัญหาการรั่วซึมของก๊าซชีวภาพทำให้เสียเวลาในการเดินระบบเป็นเวลานาน และอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองมีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยกว่าที่เกิดขึ้นจริง

บรรณานุกรม

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม แห่งประเทศไทย.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. **การจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจนข้อแนะนำ แนวทางการออกแบบ เล่ม 2 อุตสาหกรรมอาหารจากแป้ง.** กรุงเทพฯ : บริษัท แซน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 2539. กำหนดมาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. 2551. **พลังงานก๊าซชีวภาพ (ออนไลน์)** เข้าถึงได้จาก http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=174 (29 ตุลาคม 2551)

ฉัตรชัย ศักดิ์วีรสุวรรณ และเสนีย์ กาญจนวงศ์. 2548. “การบำบัดขั้นต้นน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์โดยถังปฏิกิริยายูเอเอสบีภายใต้สภาวะการป้อนน้ำวันละ 6 ชั่วโมง”, ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 4, 154-163. : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ชอบ บุญช่วย.2541. “การบำบัดน้ำเสียจากการทำยางพาราแผ่นโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชยันต์ กิมยงค์. 2545. “การพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนที่มีการไหลวนกลับของน้ำเสีย”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชาติ เจียมไชยศรี และธนิตา เกาศล. 2541. “สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของถังหมักไร้อากาศแบบกวนสมบูรณ์ในการบำบัดตะกอน,” ในการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 10 สสวท. 44, 26 ตุลาคม 2541. กรุงเทพฯ.

ธนาวัฒน์ รักกมล. 2549. “ประสิทธิภาพของระบบบำบัดเอเอสบีอาร์ แบบเทอร์โทฟีลิกและมีโซฟีลิกในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2546ก. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1**. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2546ข. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 2**. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัท พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงานไทย จำกัด. 2549. โครงการการปรับปรุงและเพิ่มศักยภาพระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมชุมชนยางแผ่นรมควัน เสนอกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กันยายน 2549.

ปิยพันธุ์ นุชท่าโพ. 2546. “ผลของการป้อนน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถนะของระบบ UASB”, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไพโรจน์ คีรีรัตน์. 2545. “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา”, **ข่าว สปว. ยางพารา.** 1(1) : 1.

เพริศพิชญ์ คณาธารณา. อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ และสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. 2539. “การศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากโรงอบ/รมยาง”, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วรัญญา ทิฆัมพรพิทยา และสมใจ กาญจนวงศ์. 2545. “ผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในมูลฝอยของตลาดโดยโดยวิธีการหมักไร้อากาศแบบลีชเบด”, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์**. 10(2) : 35-45.

วินัย อาจคงหาญ และกฤตยา พรรคอนันต์. 2540. “สหกรณ์กองทุนสวนยาง นโยบาย และการปฏิบัติ”, **วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์**. 4(2):151-155.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. **ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน.** กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สันติ เลียดปฐม. 2547. “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา”, **ข่าว สปว. ยางพารา**. 2(6) : 3.

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. 2552. **สหกรณ์กองทุนสวนยาง จำกัด. (ออนไลน์)** เข้าถึงได้จาก http://www.rubber.co.th/service_1a3.html (27 มกราคม 2552)

สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ. 2548. **แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควัน**. นนทบุรี : สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.

สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. **โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพหลักสูตรการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดน็อทเทิร์นอาร์ตแอนด์ปรินท์.

สายัณห์ สดุดี สุเมธ ไชยประพัทธ์ และชิดชไม โอวาทพารพร. 2548. **โครงการการประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางเพื่อการเกษตรกรรม.** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุชัญญา ทองเครือ และชวลิต รัตนธรรมสกุล. 2549. “ผลของสัดส่วนอัตราการไหลต่ออัตราไหลเวียนกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดไร้อากาศแบบอีจีเอสบี”, **วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม**. 28(1) : 13-23.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย :การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุมและการแก้ปัญหา**. กรุงเทพฯ : ท้อป.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2540. “น้ำยางสด”, **วารสารยางและพอลิเมอร์.** 1(2) : 10-18.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. **ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ. (ออนไลน์)** เข้าถึงได้จาก http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas02.php (26 พฤศจิกายน 2551)

สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย และ World Environment Center. 2540. **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. **ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย.** เรือนแก้วการพิมพ์ : กรุงเทพฯ.

ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. 2551. **ระบบ Modify Covered Lagoon Digester (MCL)**. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://images.google.co.th/imgres?imgurl=http://www.thaibiogas.net/th/system/files/u4/pic_technology12.jpg&imgrefurl=http://www.thaibiogas.net/th/node/206&usg=__bP_of_9tdqQ98c6nj5IGSVRIy1s=&h=316&w=500&sz=21&hl=th&start=1&um=1&tbnid=YAJAhrNdIkSwnM:&tbnh=82&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3DModify%2Bcovered%2Blagoon%252B%2Bdigester%26um%3D1%26hl%3Dth (18 กุมภาพันธ์ 2552)

Alvarez, R. and Liden, G. 2008. “Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure,and fruit and vegetable waste**,” Renewable Energy**. 33 (4) : 726-734.

APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. Maryland: American Public Health Association.

Barber, W.P. and Stuckey, D.C. 1999. "The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A review", **Water Research.** 33 (7) : 1559-1578.

Blonskaja, V., Menertb, A., Vilub, R. 2003. "Use of two-stage anaerobic treatment for distillery waste", **Advances in Environmental Research**. 7(3) : 671-678.

Bor ja-Padilla, R. and Banks, C. J. 1993. "Thermophilic semi-continuous anaerobic treatment of Plam Oil Mill Effluent", **Biotechnology Letters.** 15(7) : 761-766.

Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Marouani L. and Hamdi, M. 2004. "Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste", **Process Biochemistry.** 39 (12) : 2143-2148.

Boubaker, F and Cheikh Ridha, B. 2007. "Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature", **Bioresource Technology.** 98(4): 769-774.

Cail, R. G. and Barford, J. P. 1985. "Mesophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm oil mill effluent", **Biomass.** 7(4) : 287-295.

_____. 1985. "Thermophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm-oil mill effluent", **Agricultural Wastes.** 13(4) : 295-304.

Chaiprapat, S. and Sdoodee, S. 2004. "Potentical use of wastewater effluent from small cooperative rubber sheet factories for production in Southern Thailand", Proceeding of the International Symposium on Lowland Technology, 1-3 September. Bangkok Thailand.

Chaiprapat, S. and Sdoodee, S. 2007. "Effect of wastewater recycling from natural rubber smoked sheet production on economic crops in southern Thailand", **Resources, Conservation and Recycling**. 51(3) : 577-590.

Leslie Grady, C.P., Daigger, G.T. and Lim H.C. 1999. 2nd ed. **Biological Wastewater Treatment.** New York : Marcel Dekker.

Elango, D., Pulikesi M., Baskaralingam P., Ramamurthi V. and Sivanesan S. 2006. "Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage", **Journal of Hazardous Materials**. 141 (1) : 301-304.

Engineeringtoolbox. 2008. **Solubility diagrams of gases like Carbon dioxide, Argon, Methane and other gases in water at different temperature. (ออนไลน์)** เข้าถึงได้จาก http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html. (22 October 2008)

Fezzani, B. and Ben, C. 2007. "Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature", **Bioresource Technology.** 98 (4) : 769-774.

Hilkiah Igoni, A., Ayotamuno, M.J., Eze C.L., Ogaji, S.O.T., Probert, S.D. 2008. "Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste", **Applied Energy**. 85 (6) : 430-438.

Kanyarat, S. 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 (18) : 8987-8994.

Madigan T.M., Martinko J.M. and Parker J. 1997. **Brock Biology of Microorganisms**. 8th ed. USA: Prentice Hall International.

Metcalf and Eddy. 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse.** 4 th ed. New York: McGrew-Hill.

McCarty, P.L. 1964. **Anaerobic Waste Treatment Fundamentals**. Public Works.

Plevin, R. and Donnelly, D. 2004. **Converting waste to energy and profit: Tapioca starch power in Thailand. (Online)** Available: http://palangthai.org/en/docs/KWTE_REW.pdf (1 September 2006)

Ramakrishnan, A. and Gupta, S.K. 2008. "Effect of effluent recycling and shock loading on the biodegradation of complex phenolic mixture in hybrid UASB reactors", **Bioresource Technology**. 99 (9): 3745-3753.

Reynolde, T. D. and Richards, P. A. 1996. **Unit operations and processes in environmental engineering.** Boston : PWS.

Salminen, E.A. and Rintala, J.A. 2002. "Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading", **Water Research.** 36(13): 3175-3182.

Sam-Soon, P. and Loewenthal, RE. 1991. "Effects of a recycle in upflow anaerobic sludge bed (UASB) Systems", **Water SA.** 17(1) : 37-46.

Shizas, I. and Bagley, D.M. 2002. "Improving anaerobic sequencing batch reactor performance by modifying operational parameters", **Water Research**. 36(1) : 363-367.

Senders, F.A. and Bloodgood, D.E. 1965. "The Effect of Nitrogen-to-Carbon Ratio on Anaerobic Decomposition", **JWPCF**. 37(12): 1742-1752.

Wall, G. Bruce, H. and Peter D. Commissioning and operation of high rate anaerobic lagoon (HRAL) reactors. 2000. **In 63rd Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference Civic Centre Warrnambool,** 6-7 September**.** Egis Consulting Australia.

Wang, J.Y., Zhang, H., Stabnikova, O. and Tay, J.H. 2005. "Comparison of lab-scale and pilot- scale hybrid anaerobic solid–liquid systems operated in batch and semi- continuous modes", **Process Biochemistry.** 40 (11) : 3580-3586.

Wheatley, A.D. 1997. "Applications of Anaerobic Digestion for the Treatment of Industrial Wastewaters in Europe", **Water and Environmental Management.** 11 : 39-46.

Yacob, S., Hassan, M.A., Shirai, Y., Wakisaka, M. and Subash, S . 2006. "Start-up operation of semi-commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment", **Process Biochemistry**. 41 (4) : 962-964.

_____ . 2006. "Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment", **Science of the Total Environment.** 366 (1) 187-196.

Zeotemeyer, R.J., Van der Heuvel, J.C. and Cohen, A. 1982. "pH Influence on Acidogenic Dissimilation of Glucose in an Anaerobic Digestion", **Water Research**. 16 : 303-311.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้ง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้งในการทดลองระยะที่ 1 และ 2 คือ การบำบัดมลสารของระบบ MABR และ MCL ภายใต้ HRT และ R_t ต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำเสีย, น้ำทิ้ง ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MABR ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=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	7.23	1,290	570	2,520	-	600	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	28.57	-	-	-	-	-	-	-	-
18-Jul-50	16	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	30	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	37	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_3COOH 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	178	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 ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=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	1155	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	1515	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 ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=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	1155	3,384	2,632	200	-	-	-	-	-	-
		Effluent	7.34	1010	450	736	705	12	-	-	-	-	-	-
		%removal	-	-	-	78.25	73.21	94.00	-	-	-	-	-	-
22-Aug-50	51	Influent	5.13	1,000	1515	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 ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 10 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 5 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 2.5 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=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 ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=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 ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=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 ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียด้วยระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=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 ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=0% (หลังฤดูยางผลัดใบ)

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 ของการบำบัดมลสารในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยูงทอง

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/รมยางยูงทอง (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	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวกที่ ก-17 ผลของ pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%

Day	Date	Influent	Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
5-Jan-51	189	6.22	6.71	6.91	7.29
6-Jan-51	190	6.01	6.84	6.83	6.95
7-Jan-51	191	5.55	6.93	7.05	7.16
HRT 5 วัน					
5-Jan-51	189	6.22	6.81	7.10	7.28
6-Jan-51	190	6.01	6.71	6.78	6.97
7-Jan-51	191	5.55	6.80	6.87	7.00
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	6.22	6.89	7.00	7.54
6-Jan-51	190	6.01	6.80	6.80	6.96
7-Jan-51	191	5.55	6.62	6.73	6.88

ตารางภาคผนวกที่ ก-18 ผลของ pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%

Day	Date	Influent	Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
8-Feb-51	223	5.27	6.57	6.87	7.07
12-Feb-51	227	5.42	6.54	6.83	6.96
15-Feb-51	230	5.09	6.84	6.90	6.91
HRT 5 วัน					
8-Feb-51	223	5.27	6.88	6.91	6.93
12-Feb-51	227	5.42	6.48	6.80	6.91
15-Feb-51	230	5.09	6.94	6.92	7.02
HRT 2.5 วัน					
8-Feb-51	223	5.27	6.52	6.89	6.97
12-Feb-51	227	5.42	6.66	6.87	6.98
15-Feb-51	230	5.09	6.92	6.95	7.07

ตารางภาคผนวกที่ ก-19 ผลของ pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%

Day	Date	Influent	Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
2-Aug-51	66	5.25	6.40	6.65	7.00
3-Aug-51	67	5.48	6.71	6.98	7.18
4-Aug-51	68	5.67	6.71	6.94	7.14
HRT 5 วัน					
2-Aug-51	66	5.25	6.57	6.65	6.98
3-Aug-51	67	5.48	6.64	6.97	7.13
4-Aug-51	68	5.67	6.54	6.94	7.10
HRT 2.5 วัน					
2-Aug-51	66	5.25	5.95	6.43	6.73
3-Aug-51	67	5.48	6.41	6.82	7.06
4-Aug-51	68	5.67	6.31	6.81	7.09

ตารางภาคผนวกที่ ก-20 ผลของ pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ

Day	Date	Influent	Pond-1	Pond-2
R_t=100%				
19-Feb-51	232	5.29	6.66	6.77
21-Feb-51	234	5.31	6.76	6.92
29-Feb-51	242	5.74	6.78	6.98
R_t=75%				
19-Feb-51	232	5.29	6.60	6.91
21-Feb-51	234	5.31	6.58	7.09
29-Feb-51	242	5.74	6.85	7.21
R_t=50%				
19-Feb-51	232	5.29	6.37	6.72
21-Feb-51	234	5.31	5.84	6.78
29-Feb-51	242	5.74	6.65	6.97
R_t=25%				
19-Feb-51	232	5.29	6.84	6.93
21-Feb-51	234	5.31	6.91	7.19
29-Feb-51	242	5.74	7.17	7.52
R_t=0%				
2-Aug-51	66	5.25	6.43	6.68
3-Aug-51	67	5.48	6.48	6.97
4-Aug-51	68	5.67	6.69	6.96

ตารางภาคผนวกที่ ก-21 ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	1,782	1,782	1,782
		Effluent	729	192	91
		%removal	59.11	89.21	94.92
6-Jan-51	190	Influent	4,278	4,278	4,278
		Effluent	320	165	143
		%removal	92.52	96.15	96.65
7-Jan-51	191	Influent	3,240	3,240	3,240
		Effluent	194	185	126
		%removal	94.00	94.29	96.11
HRT 5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	1,782	1,782	1,782
		Effluent	364	187	68
		%removal	79.56	89.52	96.19
6-Jan-51	190	Influent	4,278	4,278	4,278
		Effluent	275	181	133
		%removal	93.57	95.78	96.89
7-Jan-51	191	Influent	3,240	3,240	3,240
		Effluent	230	154	62
		%removal	92.89	95.24	98.10

ตารางภาคผนวกที่ ก-21 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	1,782	1,782	1,782
		Effluent	301	130	136
		%removal	83.11	92.70	92.38
6-Jan-51	190	Influent	4,278	4,278	4,278
		Effluent	246	207	197
		%removal	94.26	95.16	95.40
7-Jan-51	191	Influent	3,240	3,240	3,240
		Effluent	259	257	123
		%removal	92.00	92.06	96.19

ตารางภาคผนวกที่ ก-22 ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
8-Feb-51	223	Influent	4,368	4,368	4,368
		Effluent	194	189	94
		%removal	95.56	95.67	97.86
12-Feb-51	227	Influent	3,300	3,300	3,300
		Effluent	1,160	320	200
		%removal	64.85	90.30	93.94
15-Feb-51	230	Influent	3,920	3,920	3,920
		Effluent	101	90	67
		%removal	97.43	97.71	98.29
HRT 5 วัน					
8-Feb-51	223	Influent	4,368	4,368	4,368
		Effluent	175	160	146
		%removal	96.00	96.33	96.67
12-Feb-51	227	Influent	3,300	3,300	3,300
		Effluent	1280	373	272
		%removal	61.21	88.69	91.76
15-Feb-51	230	Influent	3,920	3,920	3,920
		Effluent	118	112	95
		%removal	97.00	97.14	97.57

ตารางภาคผนวกที่ ก-22 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	4,368	4,368	4,368
		Effluent	969	331	287
		%removal	77.81	92.42	93.43
6-Jan-51	190	Influent	3,300	3,300	3,300
		Effluent	720	187	160
		%removal	78.18	94.34	95.15
7-Jan-51	191	Influent	3,920	3,920	3,920
		Effluent	123	112	90
		%removal	96.86	97.14	97.71

ตารางภาคผนวกที่ ก-23 ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
2-Aug-51	66	Influent	4,859	4,859	4,859
		Effluent	446	228	88
		%removal	90.81	95.31	98.18
3-Aug-51	67	Influent	5,100	5,100	5,100
		Effluent	1,734	200	175
		%removal	66.00	96.08	96.57
4-Aug-51	68	Influent	6,811	6,811	6,811
		Effluent	657	256	118
		%removal	90.36	96.25	98.27
HRT 5 วัน					
2-Aug-51	66	Influent	4,859	4,859	4,859
		Effluent	1138	355	179
		%removal	76.58	92.69	96.31
3-Aug-51	67	Influent	5,100	5,100	5,100
		Effluent	2066	309	154
		%removal	59.50	93.93	96.97
4-Aug-51	68	Influent	6,811	6,811	6,811
		Effluent	2230	294	92
		%removal	67.27	95.68	98.64

ตารางภาคผนวกที่ ก-23 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	4,859	4,859	4,859
		Effluent	2,601	1,098	349
		%removal	46.47	77.41	92.81
6-Jan-51	190	Influent	5,100	5,100	5,100
		Effluent	3,290	1,244	330
		%removal	35.50	75.60	93.52
7-Jan-51	191	Influent	6,811	6,811	6,811
		Effluent	3,013	1,098	231
		%removal	55.76	83.88	96.60

ตารางภาคผนวกที่ ก-24 ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_t=100%				
19-Feb-51	232	Influent	2,592	2,592
		Effluent	538	205
		%removal	79.26	92.10
21-Feb-51	234	Influent	4,185	4,185
		Effluent	1,079	112
		%removal	74.22	97.33
29-Feb-51	242	Influent	3,600	3,600
		Effluent	800	160
		%removal	77.78	95.56
R_t=75%				
19-Feb-51	232	Influent	2,592	2,592
		Effluent	760	147
		%removal	70.67	94.32
21-Feb-51	234	Influent	4,185	4,185
		Effluent	1,190	82
		%removal	71.57	98.05
29-Feb-51	242	Influent	3,600	3,600
		Effluent	433	112
		%removal	87.97	96.89

ตารางภาคผนวกที่ ก-24 (ต่อ)

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_t=50%				
19-Feb-51	232	Influent	2,592	2,592
		Effluent	568	499
		%removal	78.07	80.74
21-Feb-51	234	Influent	4,185	4,185
		Effluent	2,976	417
		%removal	28.89	90.04
29-Feb-51	242	Influent	3,600	3,600
		Effluent	1,240	155
		%removal	65.56	95.69
R_t=25%				
19-Feb-51	232	Influent	2,592	2,592
		Effluent	138	122
		%removal	94.67	95.31
21-Feb-51	234	Influent	4,185	4,185
		Effluent	521	126
		%removal	87.55	96.98
29-Feb-51	242	Influent	3,600	3,600
		Effluent	560	126
		%removal	84.44	96.50

ตารางภาคผนวกที่ ก-24 (ต่อ)

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_t=0%				
19-Feb-51	232	Influent	4,859	4,859
		Effluent	813	172
		%removal	83.27	96.47
21-Feb-51	234	Influent	5,100	5,100
		Effluent	1,135	157
		%removal	77.75	96.91
29-Feb-51	242	Influent	6,811	6,811
		Effluent	1,196	132
		%removal	82.45	98.07

ตารางภาคผนวกที่ ก-25 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	180	180	180
		Effluent	210	90	30
		%removal		50.00	83.33
6-Jan-51	190	Influent	240	240	240
		Effluent	195	165	100
		%removal	18.75	31.25	58.33
7-Jan-51	191	Influent	450	450	450
		Effluent	200	260	150
		%removal	55.56	42.22	66.67
HRT 5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	180	180	180
		Effluent	155	90	30
		%removal	13.89	50.00	83.33
6-Jan-51	190	Influent	240	240	240
		Effluent	70	130	40
		%removal	70.83	45.83	83.33
7-Jan-51	191	Influent	450	450	450
		Effluent	260	90	145
		%removal	42.22	80.00	67.78

ตารางภาคผนวกที่ ก-25 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	180	180	180
		Effluent	165	85	90
		%removal	8.33	52.78	50.00
6-Jan-51	190	Influent	240	240	240
		Effluent	115	80	100
		%removal	52.08	66.67	58.33
7-Jan-51	191	Influent	450	450	450
		Effluent	150	145	210
		%removal	66.67	67.78	53.33

ตารางภาคผนวกที่ ก-26 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=50%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
8-Feb-51	223	Influent	275	275	275
		Effluent	180	90	30
		%removal	34.55	67.27	89.09
12-Feb-51	227	Influent	270	270	270
		Effluent	220	200	30
		%removal	18.52	25.93	88.89
15-Feb-51	230	Influent	340	340	340
		Effluent	60	75	40
		%removal	82.35	77.94	88.24
HRT 5 วัน					
8-Feb-51	223	Influent	275	275	275
		Effluent	75	90	155
		%removal	72.73	67.27	43.64
12-Feb-51	227	Influent	270	270	270
		Effluent	360	30	220
		%removal	-	88.89	18.52
15-Feb-51	230	Influent	340	340	340
		Effluent	195	55	50
		%removal	42.65	83.82	85.29

ตารางภาคผนวกที่ ก-26 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	275	275	275
		Effluent	260	150	145
		%removal	5.45	45.45	47.27
6-Jan-51	190	Influent	270	270	270
		Effluent	220	190	130
		%removal	18.52	29.63	51.85
7-Jan-51	191	Influent	340	340	340
		Effluent	90	280	80
		%removal	73.53	17.65	76.47

ตารางภาคผนวกที่ ก-27 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=0%

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 10 วัน					
2-Aug-51	66	Influent	310	310	310
		Effluent	150	47	46
		%removal	51.61	84.95	85.16
3-Aug-51	67	Influent	227	227	227
		Effluent	147	47	44
		%removal	35.29	79.27	80.59
4-Aug-51	68	Influent	420	420	420
		Effluent	225	63	38
		%removal	46.43	84.92	90.95
HRT 5 วัน					
2-Aug-51	66	Influent	310	310	310
		Effluent	180	90	60
		%removal	41.94	70.97	80.65
3-Aug-51	67	Influent	227	227	227
		Effluent	113	85	29
		%removal	50.00	62.50	87.21
4-Aug-51	68	Influent	420	420	420
		Effluent	195	50	24
		%removal	53.57	88.10	94.29

ตารางภาคผนวกที่ ก-27 (ต่อ)

Day	Date		Reactor-1	Reactor-2	Reactor-3
HRT 2.5 วัน					
5-Jan-51	189	Influent	310	310	310
		Effluent	290	123	113
		%removal	6.45	60.22	63.44
6-Jan-51	190	Influent	227	227	227
		Effluent	203	137	72
		%removal	10.30	39.71	68.24
7-Jan-51	191	Influent	420	420	420
		Effluent	187	95	46
		%removal	55.55	77.38	89.05

ตารางภาคผนวกที่ ก-28 ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t ต่างๆ

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_t=100%				
19-Feb-51	232	Influent	640	640
		Effluent	290	90
		%removal	54.69	85.94
21-Feb-51	234	Influent	540	540
		Effluent	170	85
		%removal	68.52	84.26
29-Feb-51	242	Influent	475	475
		Effluent	135	75
		%removal	71.58	84.21
R_t=75%				
19-Feb-51	232	Influent	640	640
		Effluent	290	60
		%removal	54.69	90.63
21-Feb-51	234	Influent	540	540
		Effluent	310	100
		%removal	42.59	81.48
29-Feb-51	242	Influent	475	475
		Effluent	80	48
		%removal	83.16	89.83

ตารางภาคผนวกที่ ก-28 (ต่อ)

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_t=50%				
19-Feb-51	232	Influent	640	640
		Effluent	250	120
		%removal	60.94	81.25
21-Feb-51	234	Influent	540	540
		Effluent	470	85
		%removal	12.96	84.26
29-Feb-51	242	Influent	475	475
		Effluent	160	40
		%removal	66.32	91.58
R_t=25%				
19-Feb-51	232	Influent	640	640
		Effluent	170	220
		%removal	73.44	65.63
21-Feb-51	234	Influent	540	540
		Effluent	145	240
		%removal	73.15	55.56
29-Feb-51	242	Influent	475	475
		Effluent	60	62
		%removal	87.37	87.02

ตารางภาคผนวกที่ ก-28 (ต่อ)

Day	Date		Pond-1	Pond-2
R_i=0%				
19-Feb-51	232	Influent	310	310
		Effluent	90	33
		%removal	70.97	89.35
21-Feb-51	234	Influent	227	227
		Effluent	140	21
		%removal	38.24	90.74
29-Feb-51	242	Influent	420	420
		Effluent	87	49
		%removal	79.36	88.33

ภาคผนวก ข ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MABR และ MCL ภายใต้ HRT และ R_t ต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MABR ภายใต้ HRT 10, 5 และ 2.5 วัน ที่ R_t=100%, 50% และ 0%

Day	Date	R_t=100%			Day	Date	R_t=50%			Day	Date	R_t=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 ข-1 (ต่อ)

Day	Date	R_t=100%			Day	Date	R_t=50%			Day	Date	R_t=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 ข-2 ผลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ MCL ภายใต้ HRT 30 วัน ที่ R_t=100%,75%, 50%, 25% และ 0%

Day	Date	R_t=100%	R_t=75%	R_t=50%	R_t=25%		Day	Date	R_t*=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

* คือ ผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังฤดูยางผลัดใบ

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 (ต่อ)

Day	Date	R_t=100%	R_t=75%	R_t=50%	R_t=25%		Day	Date	R_t*=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				

* คือ ผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังฤดูยางผลัดใบ

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของระบบ MABR และ MCL ภายใต้ HRT และ R_t ต่างๆ

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Parameter	p-value		
	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5
pH	0.460	0.399	0.414
VFA	0.141	0.316	0.099
Alkalinity	0.035*	0.000*	0.002*
TCOD Removal (%)	0.431	0.596	0.686
SCOD Removal (%)	0.107	0.875	0.636
SS Removal (%)	0.051*	0.136	0.201
BOD_5 Removal (%)	0.364	0.620	0.033*
TKN Removal (%)	0.801	0.527	0.382
Biogas Production Rate	0.000*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ: * คือ ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) จากการใช้สถิติแบบ One- way ANOVA

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของค่า pH ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5
	Subset for alpha = 0.05		
100	7.10	7.09	7.12
50	6.98	6.95	7.00
0	7.05	6.99	6.91

ตารางภาคผนวกที่ ค-3 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ VFA ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5
	Subset for alpha = 0.05		
100	85.00	90.00	80.00
50	106.66	113.33	126.66
0	117.50	91.25	125.00

ตารางภาคผนวกที่ ค-4 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Alkalinity ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10		MABR-5		MABR-2.5	
	Subset for alpha = 0.05					
	1	2	1	2	1	2
100	905.00		930.00		905.00	
50		1,160.00		1,240.50		1,240.00
0	1,002.50	1,002.50	982.50		986.25	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-5 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด TCOD และ SCOD ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	TCOD Removal (%)			SCOD Removal (%)		
	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5
	Subset for alpha = 0.05					
100	95.89	97.06	94.65	95.23	96.21	94.12
50	96.69	95.19	95.43	97.88	96.76	96.00
0	97.45	96.03	92.14	97.32	95.91	97.61

ตารางภาคผนวกที่ ค-6 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด TKN ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10	MABR-5	MABR-2.5
	Subset for alpha = 0.05		
100	41.10	37.70	23.61
50	37.64	19.88	19.83
0	30.34	46.88	38.27

ตารางภาคผนวกที่ ค-7 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SS ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10		MABR-5	MABR-2.5
	Subset for alpha = 0.05			
	1	2		
100	69.44		78.14	53.88
50		88.74	49.15	58.53
0		85.56	87.38	73.57

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-8 ผลการการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 ของระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10		MABR-5		MABR-2.5	
	Subset for alpha = 0.05					
	1	2	1	2	1	2
100	96.24		97.27		95.45	95.45
50	97.09		95.67			99.34
0	97.76		96.17		92.77	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-9 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Biogas Production Rate จากระบบ MABR ในการทดลองชุดต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	MABR-10			MABR-5		MABR-2.5		
	Subset for alpha = 0.05							
	1	2	3	1	2	1	2	3
100	6.87			13.90		17.53		
50			22.51		44.91			70.45
0		10.79			42.70		61.25	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 และ 3 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของคุณภาพน้ำทิ้งในพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Parameters	p-value
pH	0.032*
VFA	0.328
Alkalinity	0.051*
TCOD Removal (%)	0.324
SCOD Removal (%)	0.045*
SS Removal (%)	0.000*
BOD_5 Removal (%)	0.306
TKN Removal (%)	0.834
NH^+_4-N Removal (%)	0.581
TP Removal (%)	0.539
Biogas Production Rate	0.001*

หมายเหตุ : * คือ ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α=0.05) จากการใช้สถิติแบบ One- way ANOVA

ตารางภาคผนวกที่ ค-11 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ pH จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
100	6.89	
75	7.05	7.05
50	6.82	
25		7.16
0	6.82	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-12 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Alkalinity จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
100	1,080.00	1,080.00
75	1,070.00	1,070.00
50	1,030.00	
25		1,115.00
0	1,017.50	

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-13 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SS จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
100	75.62	
75		86.06
50	74.10	
25	74.66	
0		89.47

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-14 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด SCOD จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Subset for alpha = 0.05	
	1	2
100		97.65
75		98.23
50	98.38	
25		97.40
0	95.92	95.92

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-15 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ Biogas Production Rate จากระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

R_t (%)	Subset for alpha = 0.05		
	1	2	3
100	2.18		
75	2.50	2.50	
50		3.04	
25	2.82	2.82	
0			3.91

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยแสดงถึงการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น 1 แตกต่างจาก 2 และ 3 ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ ค-16 ผลการจัดกลุ่มค่าเฉลี่ยของ pH, VFA, Alkalinity และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD, TKN, NH^{+}_{4}-N, BOD_5 และ TP ของระบบ MCL ที่ R_t ต่างๆ ที่สภาวะคงตัว

Parameter	Subset for alpha = 0.05				
	R_t=100%	R_t=75%	R_t=50%	R_t=25%	R_t=0%
pH	6.89	7.05	6.82	7.16	6.82
VFA	120.00	115.00	155.00	105.00	123.50
TCOD Removal (%)	94.99	96.41	95.25	96.26	97.15
TKN Removal (%)	43.14	42.76	31.90	41.99	45.29
NH^{+}_{4}-N Removal (%)	28.67	32.41	44.56	24.93	19.66
BOD_5 Removal (%)	96.00	97.86	89.59	97.63	96.20
TP Removal (%)	25.08	29.25	26.27	36.73	41.66

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินค่าก่อสร้างระบบ MABR

1. รายการประเมินค่าก่อสร้างระบบ MABR

1.1 ค่าฐานราก

= กว้าง × ยาว × ลึก

= 3.5m × 3.5m × 0.25m

= 3.0625 × 5,000 (บาท/m^3)

= 15,312.50 บาท

คำนวณเผื่อ 20% ของราคาทั้งหมด = 15,312.50 × 0.20 = 3,062.50 บาท

รวมราคาทั้งหมด = 15,312.50 + 3,062.50 = 18,735 บาท

1.2 งานฉาบผิวกันซึม

คำนวณโดยหาพื้นที่ผิวภายในของวงขอบซีเมนต์จากสูตร $V = 2\pi rh$ โดยมี r = 0.75 m, h = 0.75 m นำไปแทนค่าในสูตรจะได้

V = 2 × 3.14 × 0.75m × 0.4m

= 1.884 m^2/ใบ

เมื่อใช้วงขอบซีเมนต์จำนวน 60 ใบ = 1.884 m^2 × 60

จะมีพื้นที่ผิวภายใน = 113.04 m^2

เมื่อราคางานฉาบผิวกันซึม 150 บาท/ m^2 = 113.04 × 150

ราคาค่าฉาบผิวกันซึม = 16,956 บาท

1.3 งานขุดดิน

งานขุดดินฝังวงขอบซีเมนต์ลงไปด้านล่าง เนื่องจากถังปฏิกิริยาสูงมาก โดยคำนวณจากความกว้างของวงขอบซีเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 4 m ความยาวเท่ากับ 4m และลึกเท่ากับ 1.5 m

หาพื้นที่ทั้งหมดจะได้ = 4m × 4m × 1.5m = 24 m^3

เมื่อราคางานขุดดิน (ราคาเหมาจ่าย) = 7,000 บาท

1.4 ค่าถุงเก็บก๊าซชีวภาพ

ออกแบบให้มีขนาดถุงเก็บก๊าซชีวภาพโดยใช้ข้อมูล ดังนี้

1) ปริมาณน้ำเสียจากค่าออกแบบ = 15.50 m^3/d

2) ปริมาณสารอินทรีย์ (TCOD) = 6,811 mg/L

TCOD Loading = 15.50 m^3/d × 6,811 mg/L

= 105.57 kgTCOD/d

TCOD Removal Efficiency = 94.3%

TCOD removed = 105.57 × 0.943

= 99.55 $kgTCOD_{removed}$/d

อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 0.5 $m^3_{biogas/}kgTCOD_{removed}$

ดังนั้น อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ = 99.55 × 0.5

= 49.77 ≈ 50 m^3_{biogas}/d

ออกแบบให้ถุงเก็บก๊าซชีวภาพมีขนาดความกว้าง 7 m ยาว 5 m และสูง 1.5 m ซึ่งมีปริมาตร 52.5 m^3 และคำนวณหาพื้นที่ผิวของถุงเก็บก๊าซชีวภาพเพื่อหาพื้นที่ของ HDPE ที่นำมาทำถุงเก็บก๊าซชีวภาพได้ดังนี้

พื้นที่ผิวของถุงเก็บก๊าซชีวภาพ = [(7 × 5) × 2] + [(1.5 × 5) × 2] + [(1.5 × 7) × 2]

= 70 + 15 + 21

= 106 m^2

เมื่อราคาของ HDPE 250 บาท/ m^2 = 106 × 250

ดังนั้น ราคาถุงเก็บก๊าซชีวภาพ = 26,500 บาท

ภาคผนวก จ

ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

1. ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ ของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

1.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537

ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 คำนวณจากเครื่องเติมอากาศขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 2 เครื่อง เนื่องจากระบบบ่อในรุ่นนี้มีบ่อเติมอากาศจำนวน 2 บ่อ ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายจากการใช้เครื่องเติมอากาศได้ดังนี้

0.75 kW × 24 hr = 18 × 3 Baht/unit = 54 Baht × 30 d = 1,620 Baht/month

1,620 Baht/month × 12 month = 19,440 Baht/year

เนื่องจากระบบบ่อในรุ่นออกแบบนี้ใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 2 เครื่อง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเติมอากาศ = 19,440 × 2 = 38,880 Baht/year

1.2 ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538

ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2538 คำนวณจากเครื่องเติมอากาศขนาด 1 HP (0.75 kW) จำนวน 1 เครื่อง เนื่องจากระบบบ่อในรุ่นออกแบบนี้มีบ่อเติมอากาศจำนวน 1 บ่อ ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายจากการใช้เครื่องเติมอากาศได้ดังนี้

0.75 kW × 24 hr = 18 × 3 Baht/unit = 54 Baht × 30 d = 1,620 Baht/month

1,620 Baht/month × 12 month = 19,440 Baht/year

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเติมอากาศจำนวน 1 เครื่องเท่ากับ 19,440 Baht/year

2. ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

ตารางภาคผนวกที่ จ-1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อของสหกรณ์โรงอบ/รมยางยาง ในรุ่นออกแบบปี พ.ศ. 2537 และ 2538

สหกรณ์โรงอบ/รมยาง	รุ่นออกแบบ	$TCOD_{inf}$ (mg/L)	$TCOD_{eff}$ (mg/L)	COD Removal (%)
ยางงาม	ปี พ.ศ. 2537	2,440	197	90.5
ยูงทอง	ปี พ.ศ. 2538	6,957	1,327	80.9

ที่มา : สายัณห์ สดุดี และคณะ (2548)

ภาคผนวก ฉ

การคำนวณอัตราส่วนการสูบกลับน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MCL และ MABR

1. การคำนวณอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MCL

การหาอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MCL โดยทำการจับเวลาเพื่อวัดปริมาตรในการสูบน้ำเสียเข้าระบบที่เวลาต่างๆ ซึ่งค่าที่วัดได้ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ฉ-1

ตารางภาคผนวกที่ ฉ-1 ปริมาตรน้ำเสียที่วัดได้ในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับต่อเวลาของระบบ MCL

ครั้งที่	ปริมาตรน้ำเสีย (ml)	เวลา (s)	ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ	
			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) คิดเวลาในหน่วยนาที (min)

1.1) ปริมาตรน้ำเสีย 150 ml ที่เวลา 10.36s

$$= \frac{150ml}{10.36s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 868.73 ml/min

= 0.87 L/min

1.2) ปริมาตรน้ำเสีย 120 ml ที่เวลา 10.39s

$$= \frac{120ml}{10.39s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 692.97 ml/min

= 0.69 L/min

1.3) ปริมาตรน้ำเสีย 140 ml ที่เวลา 10.43s

$$= \frac{140ml}{10.43s}\Big|\frac{60s}{1\min}$$

= 805.37ml/min

= 0.81 L/min

2) คิดเวลาในหน่วยชม. (hr)

2.1) ปริมาตรน้ำเสีย 0.87 L/min

$$= \frac{0.87L}{1\min}\Big|\frac{60\min}{1hr}$$

= 52.12 L/hr

2.2) ปริมาตรน้ำเสีย 0.69 L/min

$$= \frac{0.69L}{1\min}\Big|\frac{60\min}{1hr}$$

= 41.58 L/hr

2.3) ปริมาตรน้ำเสีย 0.81 L/min

$$= \frac{0.81L}{1\min}\Big|\frac{60\min}{1hr}$$

= 48.32 L/hr

3) คำนวณปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 47.34 L/hr × 20 hr/d = 946.83 L/d

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 47.34 L/hr × 15 hr/d = 710.12 L/d

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 47.34 L/hr × 10 hr/d = 473.41 L/d

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 47.34 L/hr × 5 hr/d = 236.71 L/d

4) คำนวณหาอัตราการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_v) ของระบบ MCL

หาค่า R_v จากสมการ

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

โดยมี Influent flow rate ของระบบ MCL เท่ากับ 16.8 L/d

4.1) R_v ของ R_t=100% จะได้ $\frac{946.83 \text{ L/d}}{16.8 \text{ L/d}}$

R_v = 56.36

4.2) R_v ของ R_t=75% จะได้ $\frac{710.12 \text{ L/d}}{16.8 \text{ L/d}}$

R_v = 42.27

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

R_v = 28.18

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

R_v = 14.09

2. การคำนวณอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MABR

การหาอัตราส่วนการสูบน้ำเสียย้อนกลับของระบบ MABR ได้ทำการวัดระดับน้ำเสียลดลงในช่วงที่มีการสูบน้ำเสียย้อนกลับในระบบต่อเวลา ซึ่งได้ค่าดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ฉ-2

ตารางภาคผนวกที่ ฉ-2 ระดับน้ำเสียที่ลดลงต่อเวลาของระบบ MABR

ระดับน้ำเสียที่ลดลง (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

***คำนวณระดับน้ำเสียที่ลดลงในถังปฏิกิริยาที่ระดับ 1cm**

1) เวลา 91.12 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.50 cm

$$= \frac{0.50cm}{91.12s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 0.32 cm/min

2) เวลา 103.67 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.50 cm

$$= \frac{0.50cm}{103.67s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 0.28 cm/min

3) เวลา 111.47 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.50 cm

$$= \frac{0.50cm}{111.47s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 0.26 cm/min

4) ในเวลา 118.51 s มีระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.60 cm

$$= \frac{0.60cm}{118.51s}\left|\frac{60s}{1\min}\right.$$

= 0.30 cm/min

****คำนวณระดับน้ำเสียที่ลดลงในถังปฏิกิริยาในหน่วย (L)**

คำนวณปริมาตรน้ำเสียจากรัศมี (r) ของท่อพีวีซี 15.24 cm ที่ความสูง 1cm จากสูตร

V $= \pi r^2 h$

$= 3.14 \times (15.24\ cm)^2 \times 1\ cm$

$= 729.28\ cm^3$

ดังนั้น ที่ความสูง 1cm จะปริมาตรน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 729.28 cm^3 หรือเท่ากับ 0.729 L

1) ระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.32 cm
   จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 0.729 L/cm × 0.32 cm/min = 0.24 L/min = 14.40 L/hr
2) ระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.28 cm
   จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 0.729 L/cm × 0.28 cm/min = 0.21 L/min = 12.60 L/hr
3) ระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.26 cm
   จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 0.729 L/cm × 0.26 cm/min = 0.19 L/min = 11.40 L/hr
4) ระดับน้ำเสียที่ลดลง 0.30 cm
   จะมีปริมาตรน้ำเสียเท่ากับ 0.729 L/cm × 0.30 cm/min = 0.22 L/min = 13.20 L/hr

หาค่าเฉลี่ยจากปริมาตรน้ำเสียทั้งหมดจะได้เท่ากับ 14.40 + 12.60 + 11.40 + 13.20 = 51.60/4 = 12.90 L/hr

คำนวณปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

1) คำนวณปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับในเวลา 20 ชม.

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 12.90 L/hr × 20 hr/d = 258 L/d

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

ปริมาตรการสูบน้ำเสียย้อนกลับ = 12.90 L/hr × 10 hr/d = 129 L/d

2) คำนวณหาอัตราการสูบน้ำเสียย้อนกลับ (R_v) ของระบบ MABR ที่ HRT และ R_t ต่างๆ

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 ภายใต้ HRT 10,5 และ 2.5 วัน เท่ากับ 20.4, 40.8 และ 81.6 L/d

2.1) ที่ HRT 10 วัน

2.1.1) R_v ของ R_t=100% จะได้ $\frac{258 \text{ L/d}}{20.4 \text{ L/d}}$

R_v = 12.64

2.1.2) R_v ของ R_t=50% จะได้ $\frac{129 \text{ L/d}}{20.4 \text{ L/d}}$

R_v = 6.32

2.2) ที่ HRT 5 วัน

2.2.1) R_v ของ R_t=100% จะได้ $\frac{258 \text{ L/d}}{40.8 \text{ L/d}}$

R_v = 6.32

2.2.2) R_v ของ R_t=50% จะได้ $\frac{129 \text{ L/d}}{40.8 \text{ L/d}}$

R_v = 3.16

2.3) ที่ HRT 2.5 วัน

2.3.1) R_v ของ R_t=100% จะได้ $\frac{258 \text{ L/d}}{81.6 \text{ L/d}}$

R_v = 3.16

2.3.2) R_v ของ R_t=50% จะได้ $\frac{129 \text{ L/d}}{81.6 \text{ L/d}}$

R_v = 1.58

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวอิศรา รักงาม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4877033

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
การศึกษาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์-เคมี)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2548

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

อิศรา รักงาม สุเมธ ไชยประพัทธ์ และพนาลี ชีวกิดาการ. 2552. “ประสิทธิภาพของระบบถังย่อยไร้อากาศแบบกะต่อเนื่องสำหรับบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง”. **ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8 สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย** ระหว่างวันที่ 25-27 มีนาคม 2552. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.