



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินศักยภาพการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วม
และอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน (ระยะที่ 2)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ และคณะ

สิงหาคม 2558

สัญญาเลขที่ RDG5650113

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การประเมินศักยภาพการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วม
และอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน (ระยะที่ 2)

คณะผู้วิจัย

1. รศ.ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์
2. นางสาวอิสรา รักงาม
3. ผศ.ดร. ธันวดี สุขสาโรจน์

สังกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Executive Summary

บทนำและวัตถุประสงค์

เนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานที่ประเทศประสบอยู่ในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลได้มีแนวนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน การผลิตพลังงานทดแทนในรูปพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) เป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยก๊าซชีวภาพนี้ใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อนลงทุนต่ำ สามารถทำในระดับเล็กได้ สามารถผลิตได้จากของเสียอินทรีย์ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะได้พลังงานมาใช้แล้วยังเป็นการบำบัดของเสียช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปด้วยพร้อมๆ กัน

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีการผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยร้อยละ 90 เป็นยางดิบแปรรูป ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ โดยเฉพาะยางแผ่นรมควัน ปัจจุบันเกษตรกรรวมตัวกันในรูปแบบสหกรณ์กองทุนสวนยางจำกัดเพื่อผลิตยางแผ่นรมควัน การรวมกลุ่มการผลิตนี้ก่อให้เกิดผลกระทบตามมาคือมลพิษอินทรีย์ทางน้ำในลักษณะที่เป็นจุด (point source) ในปริมาณมาก จากจำนวนสหกรณ์ยางแผ่นรมควันทั่วประเทศมีประมาณ 400 แห่งทั่วประเทศ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 2-3 แสนตันต่อปี มลพิษดังกล่าวส่งผลกระทบทางน้ำและทางอากาศ ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนรอบข้างและสิ่งแวดล้อมโดยตรง แม้ว่าโรงผลิตยางแผ่นนี้จะมียุทธศาสตร์บำบัดน้ำเสียอยู่ แต่ก็ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการจัดการมลพิษได้อย่างยั่งยืนและมีปัญหาการร้องเรียนจากชุมชนบ่อยครั้ง

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินโครงการ การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางเพื่อการเกษตรกรรม (RDG 4650052 ทุนวิจัย สกว.) ซึ่งได้ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันแบบบ่อเปิดไปใช้ในสวนยางระยะสั้นๆ พบว่าต้นยางพาราตอบสนองได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและในปี พ.ศ.2549 ได้ดำเนินโครงการ การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง (RDG 4950108 ทุนวิจัย สกว.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานสหกรณ์ยางแผ่นรมควัน และปัจจุบันได้มีสหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา นำเอาผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์สร้างเป็นระบบแบบ full scale และได้นำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้ทดแทนไม้ฟืนในการรมควันยางแผ่นลงได้ ทำให้สีของยางใสขึ้น และการทำงานของตู้ควบคุมเตาสะดวกโดยลดความถี่และปริมาณของการเติมไม้ฟืนเข้าเตา ลดการใช้ไม้ฟืนลงได้ส่วนหนึ่ง แต่น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพดังกล่าวยังไม่สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เนื่องจากยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม แต่มีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชโดยเฉพาะยางพาราหรือพืชใบเนื่องจากเป็นน้ำที่มีแหล่งกำเนิดจากต้นยางเป็นวัชดุธรรมชาติ และอาจมีประโยชน์ในการผลิตพืชอาหารสัตว์ประเภทใบได้ด้วย การใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสหกรณ์ยางแผ่นรมควัน นอกจากจะช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ได้ก๊าซชีวภาพนำไปใช้รมยางและหุงต้มแล้ว ยังนับว่าช่วยลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ติดตามข้อมูลสัดส่วนการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงไม้ ฟืนในการรมควันยางแผ่น การตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รวมทั้ง การทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพและตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ณ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา และการประเมิน carbon footprint ของสหกรณ์ฯ ที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มี ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในส่วนของการทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้ทำการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ภายใต้ค่าระยะเวลาเก็บต่างๆ และนำข้อมูลจากการทดลองมาประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพภายใต้ค่า HRT ต่างๆ รวมทั้งประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และมูลค่าพลังงานที่ ทดแทนได้

วิธีการวิจัย

1. การเก็บข้อมูล ณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง

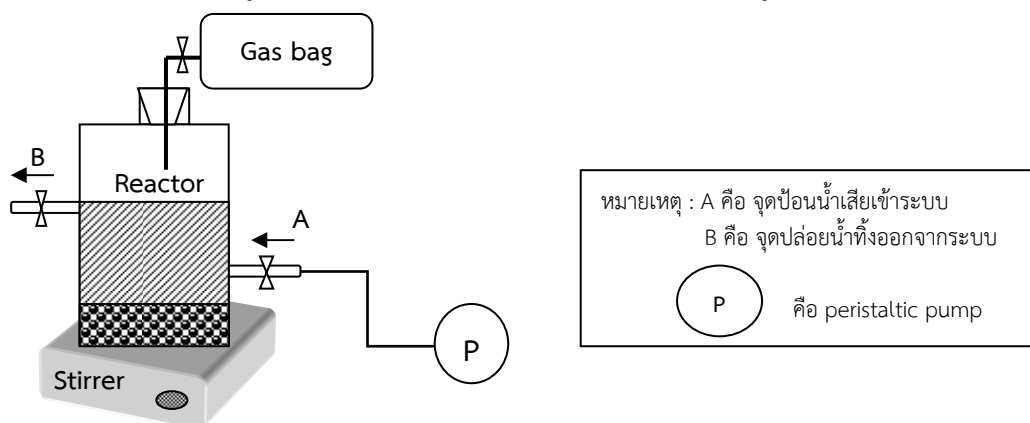
1.1 ติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการนำก๊าซ ชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ดังนี้

- (1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของระบบบำบัด มาตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียในพารามิเตอร์ Temperature, pH, TCOD, SS, Alkalinity, VFA, TN, TP และ TK
- (2) ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ จำนวน 2 ครั้ง/เดือน
- (3) ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
- (4) ติดตามข้อมูลสัดส่วนการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในสหกรณ์ฯ
- (5) ศึกษาเพิ่มเติมเงื่อนไข ข้อจำกัด ปัญหา ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปแบบและการ ใช้เตาที่เหมาะสม และอุปกรณ์ต่างๆ

2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

2.1 ทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ ถูเก็บก๊าซ ชีวภาพ เครื่องกวน และปั๊มสุบของเหลวแบบปรับอัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ (จำลอง)

2.2 ชุดการทดลองในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

การทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการเดินระบบพร้อมกันจำนวน 4 ชุดการทดลอง ดังตาราง 1 ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 35, 30 และ 25 วัน ตามลำดับ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ในระหว่างทดลองเดินระบบนั้น จะเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และน้ำทิ้งจากระบบมาวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ pH, TCOD, VFA, Alkalinity, TS, VS, TN และ TP ความถี่ 4 วัน ต่อครั้ง พร้อมทั้งวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน และตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography

ตาราง 1 ชุดการทดลองในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ชุดการทดลอง	น้ำเสียและวัสดุหมัก
1	น้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW)
2	1%TS มูลสุกร และน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (1%TS-PM+WW)
3	2%TS มูลสุกร และน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (2%TS-PM+WW)
4	3%TS มูลสุกร และน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (3%TS-PM+WW)

3. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 35 วัน ในกรณีที่มีและไม่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน และมูลค่าพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์ฯ

4. การทดสอบเติมมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

ในการทดลองเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ได้มีการจัดประชุมร่วมกับคณะกรรมการของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา เพื่อขออนุญาตในการทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และใช้ข้อมูลจากการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการของโครงการฯ ปีที่ 1 ในการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเป็นแนวทางในการทดสอบเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ โดยในระหว่างการทดสอบจะเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ pH, TCOD, SS, TN, TP และ TK ทุกวัน ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ 3 วันต่อครั้ง และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 2 วันต่อครั้ง

5. ประเมิน carbon footprint ของยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ฯ

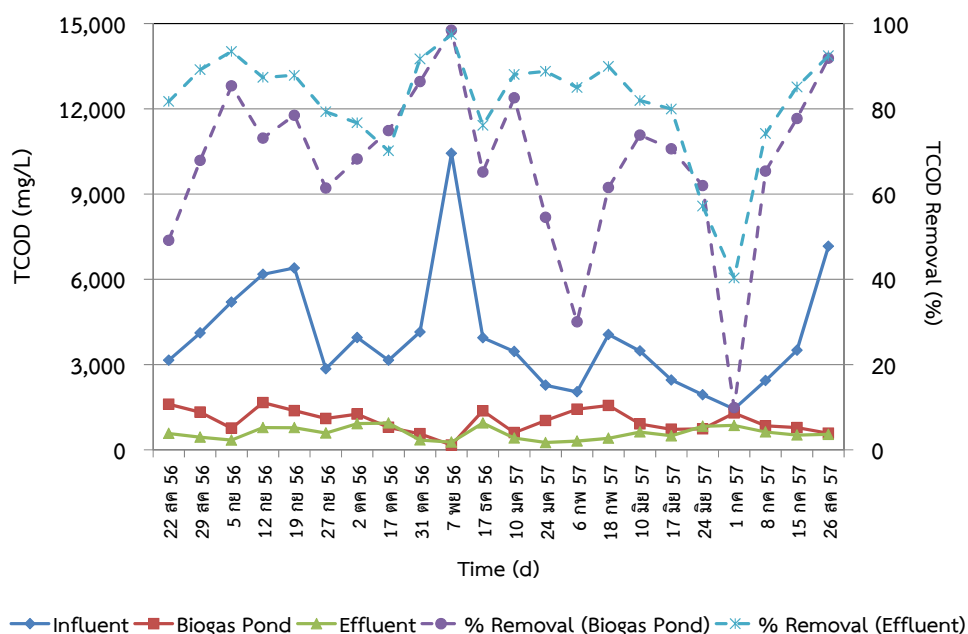
การประเมินปริมาณ carbon footprint ที่ลดลงและที่สามารถลดลงได้จากการประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน โดยศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพจากการประยุกต์ระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบเดิม และเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักร เพื่อใช้เป็นทางเลือกในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา

ผลการทดลอง

1. การติดตามและเก็บข้อมูล ณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด

1.1 ผลการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง พบว่า ค่า pH ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 6.43-7.73 ขณะที่ ค่า pH ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 7.52-9.39 ค่าความเข้มข้นของ VFA ของน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 60.0-1,940.0 mg/L as CH_3COOH และ Alkalinity มีค่าอยู่ในช่วง 1,120.0-2,770.0 mg/L as CaCO_3 และอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alk) ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.50 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพสามารถทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ย 67.7 และ 81.5% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

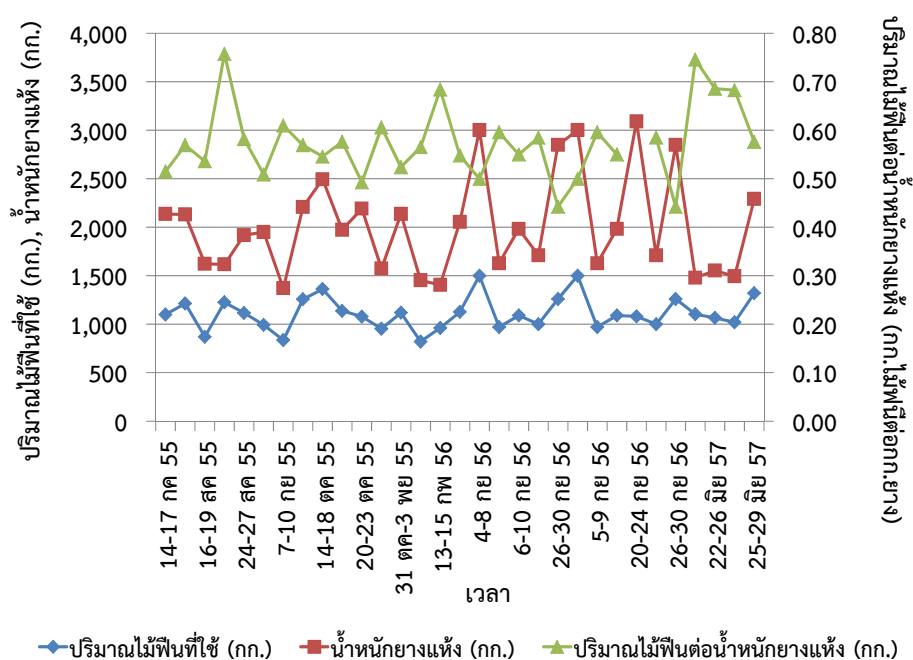


รูปที่ 2 ค่า TCOD ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ และประสิทธิภาพการบำบัด สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

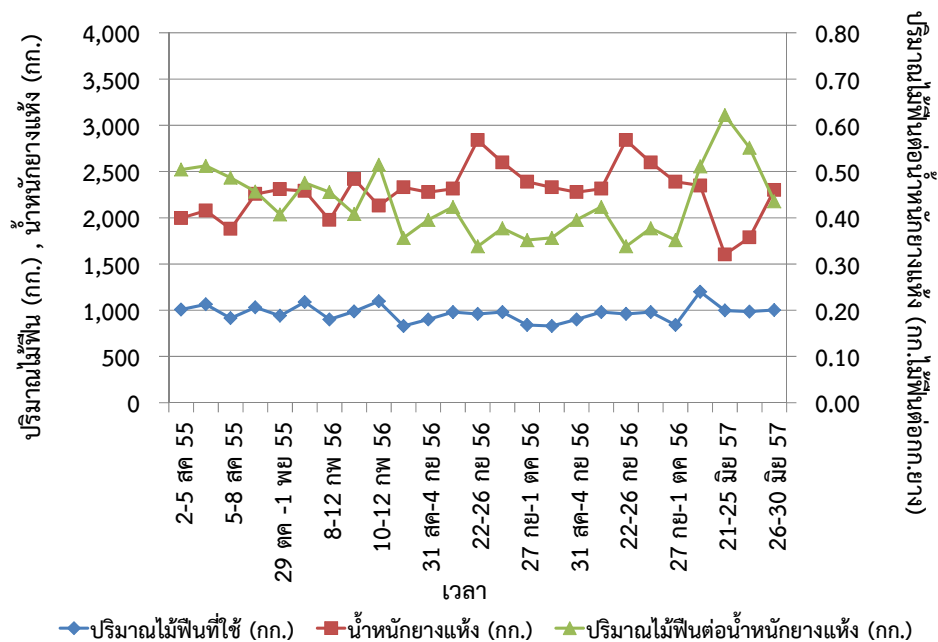
1.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ในช่วง 48.0-62.4% เฉลี่ย 57.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ในช่วง 38.4-51.0% เฉลี่ย 42.2% และก๊าซอื่นๆ อยู่ในช่วง 0.9% และพบว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่า 45%

1.3 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 13.2 m³/ton น้ำยางสด ทั้งนี้ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในขณะนั้นด้วย

1.4 ข้อมูลสัดส่วนการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมควันยางแผ่น พบว่า ปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.76 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน เฉลี่ย 0.57 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน ดังรูปที่ 3 และการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีค่าอยู่ในช่วง 0.34-0.62 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน เฉลี่ย 0.43 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน ดังรูปที่ 4 จะเห็นว่าการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณการใช้ไม้ฟืนน้อยกว่าการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว เฉลี่ย 0.14 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน และคิดเป็นมูลค่าที่ประหยัดได้ 25%



รูปที่ 3 ข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง



รูปที่ 4 ข้อมูลปริมาณการใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง
สหกรณ์ฯ บ้านเก๋าร้าง

1.5 ผลทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดและไม่มีแตกต่างกับยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว

1.6 ผลการศึกษาเงื่อนไข ข้อจำกัด ปัญหา ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปแบบและการใช้เตาที่เหมาะสม

1.6.1 ผลการสำรวจเตาไม้พินพบว่าสหกรณ์ฯ บ้านเก๋าร้าง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเตาไม้พิน และยังใช้เตาไม้พินแบบเดิมกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ร่วมกับไม้พิน โดยมีวิธีการดังนี้

1. นำท่อเหล็กเข้าเตาไม้พินผ่านช่องสี่เหลี่ยมที่บานประตูเพื่อความสะดวกในการนำท่อก๊าซชีวภาพไปในเตา
2. เปิดวาล์วก๊าซชีวภาพ จุดไฟที่ปลายท่อเหล็กไปจ่อรวมไว้ที่กองไม้พิน และปิดประตูเตา (ใช้ก๊าซชีวภาพในวันที่ 2 ของการรมยางจนยางสุก)
3. ปิดวาล์วท่อก๊าซชีวภาพทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ

1.6.2 ผู้วิจัยได้แนะนำข้อควรระวังกับทางสหกรณ์ฯ ขณะใช้ก๊าซชีวภาพ ดังนี้

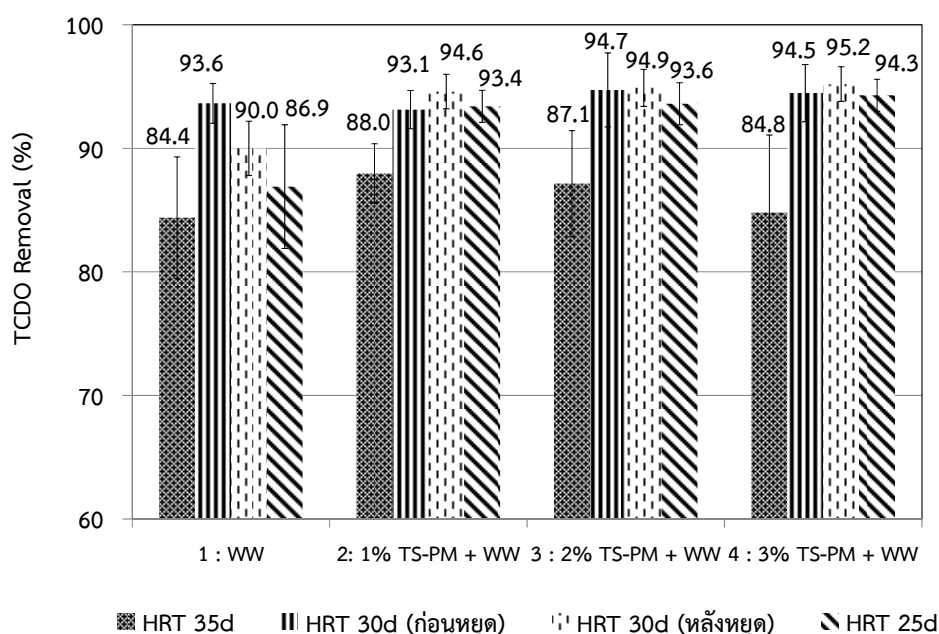
1. ตรวจสอบท่อเหล็กที่นำเข้าเตาไม้พิน เนื่องจากอาจมีขี้เถ้าเข้าไปอุดตันในเส้นท่อก๊าซชีวภาพจนอาจเป็นสาเหตุให้ก๊าซชีวภาพไม่สามารถไหลออกมาได้
2. ขณะโกยขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ไม้พิน ถ้าขี้เถ้ายังร้อนอยู่ควรระมัดระวังไม่ให้โดนท่อพีวีซีที่เชื่อมต่อกับท่อเหล็กเพื่อป้องกันการหลอมเหลวของท่อพีวีซี
3. ระวังการควั่นแน่นของน้ำในท่อลำเลียงก๊าซก่อนเข้าเตา ควรเปิดระบายเป็นครั้ง

คราว

2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) (ชุดการทดลองที่ 1) และการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) ร่วมกับมูลสุกรที่ 1%TS, 2% TS และ 3% TS ตามลำดับ (ชุดการทดลองที่ 2, 3, และ 4) รวมทั้งหมดจำนวน 4 ชุดการทดลอง โดยเดินระบบภายใต้ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน, 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน ตามลำดับ มีผลการทดลองเดินระบบ ดังนี้

2.1 ค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบฯ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าค่า pH ในน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ของทุกชุดการทดลอง มีค่าสูงกว่า 85% และระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (OLR) ได้อยู่ในช่วง 0.12-0.60 kg COD/m³.d อีกทั้งประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจากการลดระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (HRT) ดังรูปที่ 5

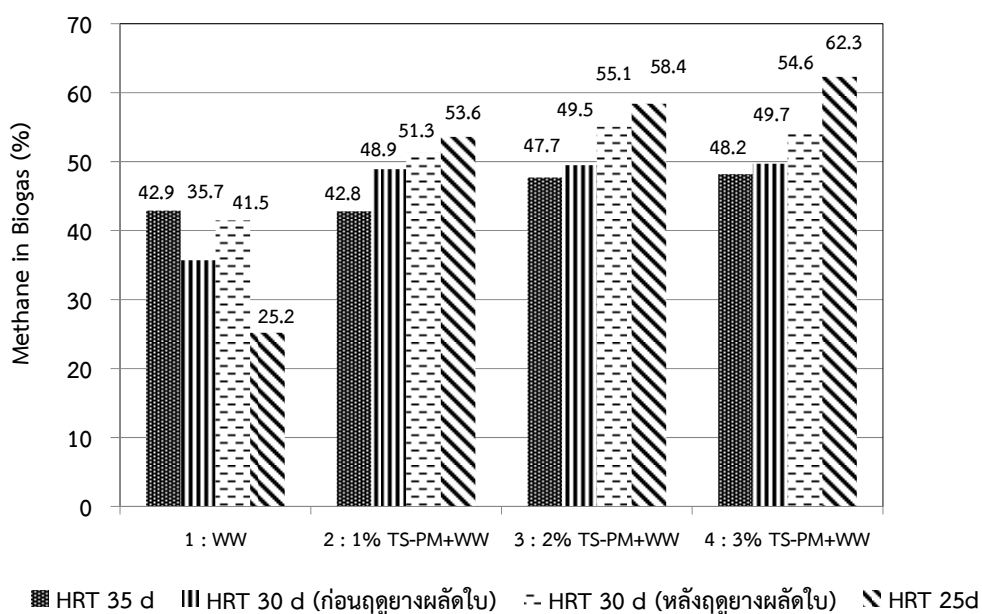


รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

2.2 ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production rate) จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ HRT ต่างๆ มีดังนี้ ที่ HRT 35 วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.54, 3.09, 4.71 และ 7.21 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.44, 2.74, 4.25 และ 6.19 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ที่ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.23, 2.55, 3.53 และ 3.69 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ที่ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4

เฉลี่ย 0.79, 2.19, 3.31 และ 4.90 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 1%TS, 2%TS และ 3%TS ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับผลองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ชุดการทดลองที่ HRT ต่างๆ ดังรูปที่ 6

2.3 ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 35 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.09, 0.20, 0.31 และ 0.46 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.08, 0.15, 0.20 และ 0.26 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.17, 0.18 และ 0.12 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ และ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.15, 0.17 และ 0.22 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ



รูปที่ 6 องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

3. ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 35 วัน ในกรณีที่มีและไม่มีกรหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควัน และมูลค่าพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์ฯ

3.1 ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35, 30 และ 25 วัน มีรายละเอียดดังนี้

(1) ราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 11.5 ม. ยาว 24 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 617 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 530 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวนประมาณ 1,050,000 บาท

(2) ราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 11 ม. ยาว 22 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 529 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 452 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวน 1,033,736 บาท

(3) ราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 21 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 441 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 374 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวน 965,116 บาท

3.2 ผลประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ HRT 35 วัน มีราคาก่อสร้างเป็นเงินประมาณ 1,050,000 บาท ซึ่งคิดในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว และกรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีดังนี้

(1) กรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว มีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 70,000 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 14.9 ปี

(2) กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1% มีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 80,455 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 13.0 ปี

(3) กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1% มีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 94,091 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 11.1 ปี

(4) กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1% มีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 147,727 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 7.1 ปี

4. การทดสอบเติมมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

4.1 ผลทดสอบการเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง เป็นระยะเวลา 15 วัน ในปริมาณ 135 kg/d พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด และองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 60.7% สำหรับผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งพบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 6.68-6.92 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD 95.8% ขณะที่ผลปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย TN, TP และ TK

เฉลี่ย 234.7, 194.0 และ 857.5 mg/L ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ในขณะที่ไม่มีการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสีย ดังนั้น จึงสามารถนำน้ำทิ้งในกรณีที่เติมมูลสุกรมาหมักร่วมไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำพืชได้เช่นเดียวกัน แม้ผลการทดสอบจะบ่งชี้ว่าระบบรองรับภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมาจากการเติมมูลสัตว์ แต่การหามูลสัตว์มาเติมอย่างสม่ำเสมออาจกระทำได้ยาก และไม่ควรเติมในช่วงที่มีกำลังการผลิตสูงเพราะอาจเกิดภาวะ over load ของระบบได้

4.2 ผลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) กับการหมักมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อหมักก๊าซชีวภาพของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง เฉลี่ย 13.2 และ 19.4 m³/ton น้ำยางสด ตามลำดับ ดังนั้น การเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันสามารถผลิตปริมาณก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.2 m³/ton น้ำยางสด

5. ประเมิน carbon footprint ของยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ฯ

ผลการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจากการศึกษาในสหกรณ์ฯ ทั้ง 9 แห่ง พบว่า ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของสหกรณ์ทั้ง 9 แห่ง เฉลี่ยเท่ากับ 2.0781 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่พบได้จากการประเมินนั้นเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ 1.4895 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ระบบบำบัดน้ำเสีย 0.2358 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน การขนส่งวัตถุดิบ 0.3260 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน การผลิต 0.0155 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน และการขนส่งผลิตภัณฑ์ 0.0112 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ในส่วนของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการดึงเอาก๊าซชีวภาพเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในกรณีของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมได้ โดยมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากเดิมเท่ากับ 0.2412 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ลดลงเหลือ 0.0765 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน หรือลดได้ 0.1647 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง อย่างต่อเนื่อง พบว่า ค่า pH ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 6.43-7.73 และค่า pH ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 7.52-9.39 คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ย 67.7 และ 81.5% ตามลำดับ ผลขององค์ประกอบก๊าซมีเทนในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ อยู่ในช่วง 48.0-62.4% และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 13.2 m³/ton น้ำยางสด สำหรับการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ร่วมกับไม้พินเป็นเชื้อเพลิงในการรมควันยางแผ่น มีปริมาณการใช้ไม้พินเฉลี่ย 0.43 kg ไม้พิน/kg ยางแผ่นรมควัน ขณะที่การใช้ไม้พินเพียงอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณการใช้ไม้พินเฉลี่ย 0.57 kg ไม้พิน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน หรือมูลค่าที่ประหยัดได้ 25%

ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ชุดการทดลองที่ 1) และการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันร่วมกับมูลสุกรที่ 1%TS, 2% TS และ 3% TS (ชุดการทดลองที่ 2, 3, และ 4) รวม

จำนวน 4 ชุดการทดลอง เติมน้ำในระบบภายใต้ค่า HRT 35 วัน, 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน ตามลำดับ พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบฯ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 6.5-7.5 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD สูงกว่า 85% และระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (OLR) ได้อยู่ในช่วง 0.12-0.60 kg COD/m³.d ที่ทดสอบ

ผลองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ชุดการทดลองที่ HRT ต่างๆ พบว่า ที่ HRT 35 วัน องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับเฉลี่ยร้อยละ 42.9, 42.8, 47.7 และ 48.2 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับเฉลี่ยร้อยละ 35.7, 48.9, 49.5 และ 49.7 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับเฉลี่ยร้อยละ 41.5, 51.3, 55.1 และ 54.6 ตามลำดับ และที่ HRT 25 วัน องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับเฉลี่ยร้อยละ 25.2, 53.6, 58.4 และ 62.3 ตามลำดับ ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 35 วันของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.09, 0.20, 0.31 และ 0.46 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.08, 0.15, 0.20 และ 0.26 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.17, 0.18 และ 0.12 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ และ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.15, 0.17 และ 0.22 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ

ผลประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียวและกรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1% , 2% และ 3% ตามลำดับ มีค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพคิดเป็นเงินประมาณ 1,050,000 บาท โดยในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียวมีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้เท่ากับ 70,000 บาท และกรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียที่ TS เท่ากับ 1% , 2% และ 3% มีมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้เท่ากับ 80,455, 94,091 และ 147,727 บาทต่อปี ตามลำดับ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 14.9, 13.0, 11.1 และ 7.1 ปี ตามลำดับ ซึ่งหากได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลบางส่วนจะสามารถทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้

ผลการทดสอบเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ เป็นเวลา 15 วัน โดยเติมมูลสุกรปริมาณ 135 kg/d มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 60.7% ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.68-6.92 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD 95.8% ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งประกอบด้วย TN, TP และ TK เฉลี่ย 234.7, 194.0 และ 857.5 mg/L ตามลำดับ

ผลการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันจากการศึกษาในสหกรณ์ฯ ทั้ง 9 แห่ง พบว่า ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสหกรณ์ทั้ง 9 แห่ง เฉลี่ยเท่ากับ 2.0781 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่พบได้จากการประเมินนั้นจะเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ 1.4895 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ระบบบำบัดน้ำเสีย

0.2358 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน การขนส่งวัตถุดิบ 0.3260 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน การผลิต 0.0155 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน และการขนส่งผลิตภัณฑ์ 0.0112 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ใน ส่วนของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการดึงเอาก๊าซชีวภาพเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในกรณีของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง สามารถช่วยลดการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกฯ ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมได้ โดยมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือน กระจกฯ จากเดิมเท่ากับ 0.2412 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ลดลงเหลือ 0.0765 kgCO₂/kg ยาง แผ่นรมควัน หรือลดได้ 0.1647 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5650113
ชื่อโครงการ : การประเมินศักยภาพการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมัก
ร่วมและอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนของสหกรณ์ผลิตยางแผ่น
รมควัน (ระยะที่ 2)
ชื่อนักวิจัย : สุเมธ ไชยประพัทธ์¹ อิศรา รังงาม¹ และ ธนวิดี สุขสาโรจน์²
¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
²คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา
E-mail address : sumate.ch@psu.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : กันยายน 2556- สิงหาคม 2557

คำสำคัญ : น้ำทิ้ง, ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ, เชื้อเพลิงทดแทน, สารอาหารพืช,
สหกรณ์กองทุนสวนยาง, คาร์บอนฟุตพริ้นท์

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศหรือระบบก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซกลับไปใช้รมควันยาง
ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากผลการวิจัยที่ผ่านมาของคณะนักวิจัย ได้ไปประยุกต์ใช้กับสหกรณ์กองทุนสวนยาง
บ้านเก่าร้าง จำกัด อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา เป็นสหกรณ์ฯ นำร่อง แทนระบบบำบัดเดิมแบบบ่อฝังที่
ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนและปลดก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ โดยระบบนี้ได้ติดตั้งใช้งานและนำ
ก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการหมักร่วมกับไม้ฟืนสามารถทำให้สหกรณ์ฯ ลดต้นทุนไม้ฟืน ซึ่งใน
การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ประเมินและตรวจติดตามประสิทธิภาพของระบบในด้านปริมาณ
ก๊าซที่ผลิตได้ อัตราการทดแทนไม้ฟืน และคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้ (2) ทดลอง
เดินระบบจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาผลของการลดขนาดของระบบก๊าซชีวภาพลงสำหรับลด
ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบหากเป็นไปได้ และทดสอบการเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน
ถังปฏิกรณ์จำลองในห้องปฏิบัติการ (3) ทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบจริง ณ สหกรณ์บ้านเก่าร้าง และ
(4) ประเมิน carbon footprint ของยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ฯ ที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีระบบผลิต
ก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับสหกรณ์ที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบปกติที่เป็นบ่อฝัง

ผลการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง อย่าง
ต่อเนื่อง พบว่า ค่า pH ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 6.43-7.73 ขณะที่ ค่า pH ในน้ำ
ทิ้งบ่อสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 7.52-9.39 ประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ย 67.7% สำหรับบ่อหมัก
ก๊าซชีวภาพ และ 81.5% เมื่อคิดรวมทั้งระบบบำบัด สำหรับธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ TN, TP และ TK
ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายเฉลี่ย 161.0, 256.2 และ 787.8 mg/L ตามลำดับ ผลองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ
ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ในช่วง 48.0-62.4% ผลการตรวจวัด
ปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 13.2 m^3/ton น้ำยางสด การรมควันด้วยเชื้อเพลิง
ไม้ฟืนอย่างเดียวมีอัตราการใช้ไม้ฟืนอยู่ในช่วง 0.44-0.76 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน มีค่าเฉลี่ยที่
0.57 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน และการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีค่าอยู่ในช่วง
0.34-0.62 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน เฉลี่ยที่ 0.43 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน ดังนั้นการใช้ไม้

พืชร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณการใช้ไม้ฟืนน้อยกว่าการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 0.14 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน สำหรับผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทุกพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และไม่มีแตกต่างกับยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ชุดการทดลองที่ 1) และการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันร่วมกับมูลสุกรที่ 1%TS, 2% TS และ 3% TS (ชุดการทดลองที่ 2, 3, และ 4) ตามลำดับ เดินระบบภายใต้ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน, 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน ตามลำดับ พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD มีค่าสูงกว่า 85% โดยระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (OLR) ได้อยู่ในช่วง 0.12-0.60 kg COD/m³.d ที่ทดสอบ ทั้งนี้การออกแบบระบบที่มีปริมาตรเล็กลงนี้มีข้อจำกัดที่อาจไม่สามารถกระทำได้นี้เนื่องจากบางช่วงสหรณมีการผลิตสูงน้ำเสียมากกว่าปกติหรือบางสหรณอาจมีการเพิ่มกำลังการผลิตเมื่อมีความพร้อม ส่วนปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำทิ้ง มีความเข้มข้นลดลงเล็กน้อยเทียบกับน้ำเสียป้อนเข้าระบบเนื่องจากการตกตะกอนในระบบและจุลินทรีย์นำไปใช้สร้างเซลล์ น้ำทิ้งนี้ยังมีสารอาหารพืชอยู่ค่อนข้างมากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการให้น้ำพืชหรือสวนยางพาราได้ องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 43-62% โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อเติมมูลสุกรร่วมลงไปทำให้สัดส่วนมีเทนเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากสารอาหารในมูลสุกรที่เพิ่มเติมเข้ามา

ผลประโยชน์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่าระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน ในกรณีที่มีและไม่มีหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน มีค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพคิดเป็นเงินประมาณ 1,050,000 บาท โดยที่เมื่อใช้น้ำเสียอย่างเดียว มีผลตอบแทนเทียบเท่ามูลค่าไม้ฟืนเท่ากับ 70,000 บาทต่อปี ขณะที่เมื่อเพิ่มมูลสุกรเท่ากับ 1%, 2% และ 3% มีผลตอบแทนคือมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้เท่ากับ 80,455, 94,091 และ 147,727 บาท/ปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 14.9, 13.0, 11.1 และ 7.1 ปี ตามลำดับ การสนับสนุนจากรัฐบาลบางส่วนจะสามารถทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้

การทดสอบเติมมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง เป็นระยะเวลา 15 วัน ในปริมาณ 135 kg/d พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 60.7% ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ซึ่งสูงกว่าเมื่อไม่มีการเติมมูลสัตว์ที่ 13.2 m³/ton น้ำยางสด ส่วนค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบที่เติมมูลสัตว์อยู่ในช่วง 6.68-6.92 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD 95.8% ขณะที่ผลปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย TN, TP และ TK เฉลี่ย 234.7, 194.0 และ 857.5 mg/L ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในกรณีที่ไม่มีเติมมูลสุกรมาหมักร่วมกับน้ำเสีย สามารถนำน้ำทิ้งในกรณีที่เติมมูลสุกรมาหมักร่วมไปใช้ประโยชน์ในการให้น้ำพืชได้เช่นเดียวกัน แม้ผลการทดสอบจะบ่งชี้ว่าระบบรองรับภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมาได้จากการเติมมูลสัตว์ แต่การหามูลสัตว์มา

เดิมอย่างสม่ำเสมอขึ้นอาจกระทำได้อีก และไม่ควรมีในช่วงที่มีกำลังการผลิตสูงเพราะอาจเกิดภาวะ over load ของระบบได้

ผลการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจากการศึกษาในสหกรณ์ฯ ทั้ง 9 แห่ง พบว่า ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสหกรณ์ทั้ง 9 แห่ง เฉลี่ยเท่ากับ 2.0781 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่พบได้จากการประเมินนั้นจะเกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ 1.4895 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ระบบบำบัดน้ำเสีย 0.2358 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน การขนส่งวัตถุดิบ 0.3260 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน การผลิต 0.0155 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน และการขนส่งผลิตภัณฑ์ 0.0112 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ในส่วนของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการดึงเอาก๊าซชีวภาพเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในกรณีของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมได้ โดยมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากเดิมเท่ากับ 0.2412 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน ลดลงเหลือ 0.0765 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน หรือลดได้ 0.1647 kgCO₂/kg ยางแผ่นรมควัน

Abstract

Project code : RDG5650113

Project title : Evaluation of biogas production enhancement by co-digestion and biogas to firewood replacement in small cooperative rubber sheet factories (phase 2)

Investigators : Sumate Chaiprapat¹, Isara Rakngam¹, and Thunwadee Suksaroj²
¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla
²Faculty of Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

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

Project duration : September 2013 – August 2014

Keywords : wastewater, biogas system, alternative fuel, plant nutrients, cooperative rubber sheet factory, carbon footprint

Anaerobic digester and the biogas utilization system was developed by our research team and was applied in a pilot cooperative rubber sheet factory at Ban Kuaw Rang Cooperative, Klong Hoy Khong District, Songkhla Province to replace the open pond wastewater treatment which formally caused offensive odor problem to nearby communities and release of greenhouse gas to the atmosphere. The pilot biogas system was installed and continuously used to substitute firewood. This research aimed to (1) evaluate the efficiency of the biogas system in terms of organic removal efficiency in the wastewater and the biogas to firewood substitution rate, (2) test the operation of lab scale anaerobic digesters at lower hydraulic retention time (HRT) in order to identify the impact of reducing in size, and the trail of animal manure addition to increase the biogas production rate, (3) test the addition of animal manure in the full scale at Ban Kuaw Rang Cooperative, and (4) evaluate the carbon footprint of the smoked sheet rubber produced from the cooperative with and without biogas system.

Results showed that pH of the effluent from the full scale biogas digester at Ban Kuaw Rang Cooperative fell in a range 6.43-7.73 while the final (3rd) pond

effluent had pH at 7.52-9.39. The TCOD removal efficiency was 67.7% for biogas digester alone and 81.5% for the overall system. TN, TP and TK in the effluent averaged 161.0, 256.2 and 787.8 mg/L, respectively. The methane content was in a range of 48.0-62.4% in the biogas which was produced at a rate 13.2 m³/ton fresh latex coming to the factory. Smoking the rubber with only firewood consumed 0.44-0.76 kg firewood/kg smoked rubber with the average of 0.57 kg firewood/kg smoked rubber compared to that with the biogas at 0.34-0.62 kg firewood/kg smoked rubber with the average of 0.43 kg firewood/kg smoked rubber. Thus, biogas usage could reduce 0.14 kg firewood/kg smoked rubber or 0.14 baht/kg smoked rubber. The properties of the smoked rubber were insignificantly different from each other.

Results from the lab-scale system comparing the performance with different feeds to the digester; real wastewater only versus the wastewater with 1%TS, 2%TS and 3%TS pig manure mixture. All systems were operated at HRT 35, 30 (before and after rubber plantation leaf shedding), and 25 days. It was found that pH of the effluent were in a range of 6.5-7.5, TCOD removal above 85%, and the systems were able to withstand the organic loadings tested of 0.12-0.60 kgCOD/m³.d. However, to reduce the size in design a full scale digester was not advisable since the production of cooperatives may go above the peak load in some time in a year and many cooperatives always intend to expand their capacity when there is an opportunity. As for the nutrients, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) in the effluent were reduced slightly probably due to the sedimentation within the system and microbial uptake. This effluent still contained an appreciable amount of nutrients and can be used for irrigation to plant and rubber tree. Methane contents in the biogas were in a range of 43-62%. It tended to increase with the increasing pig manure addition because of the additional nutrients supply.

Economic analysis of the biogas system construction revealed that the cost to build the system was 1,050,000 baht under HRT 35 days both with and without pig manure addition. The monetary return from the reduced firewood usage was estimated at 70,000 baht/year without pig manure addition and 80,455, 94,091, and 147,727 baht/year with 1%, 2%, and 3% pig manure added. These were equivalent to payback period of 14.9, 13.0, 11.1 and 7.1 years, respectively. Partial governmental subsidy could help shorten the payback period.

The addition of pig manure at a full scale digester were conducted for 15 days at the pig manure loading of 135 kg/d. Results showed that the system could produce the biogas at 19.4 m³/ton fresh latex compared to that with wastewater alone of 13.2 m³/ton fresh latex. pH of the effluent was in a range 6.68-6.92 with the TCOD removal efficiency of 95.8%. TN, TP and TK were averaged at 234.7, 194.0 and 857.5 mg/L which were very similar to those without pig manure addition. The effluent can be used for irrigation. Although the results indicated that the system could bear the additional organic load, finding animal manure to feed to the system regularly may be difficult and one must not add this additional load to the system at the cooperative's peak production period that induced the shock load to the system.

Finally, evaluation of the carbon emission from 9 cooperatives showed the average carbon footprint of smoked rubber sheet of 2.0781 kgCO₂/kg smoked rubber. The contribution of the carbon emission included the raw material acquisition 1.4895 kgCO₂/kg smoked rubber, wastewater treatment system 0.2358 kgCO₂/kg smoked rubber, transportation of raw material 0.3260 kgCO₂/kg smoked rubber, production process 0.0155 kgCO₂/kg smoked rubber and the transportation of the finished product 0.0112 kgCO₂/kg smoked rubber. The greenhouse emission from the wastewater treatment system at Ban Kuaw Rang Cooperative was reduced from 0.2412 to 0.0765 kgCO₂/kg smoked rubber, a total reduction of 0.1647 kgCO₂/kg or 68.3%.

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ ของ "โครงการการประเมินศักยภาพการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักร่วมและอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน (ระยะที่ 2)" มีระยะเวลาการวิจัย 12 เดือน ในระหว่างวันที่ 1 กันยายน 2556 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2557

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ต้องขอขอบพระคุณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด ม.6 ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลไม้ฟืน ก๊าซชีวภาพและตัวอย่างน้ำเสีย และขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

คณะวิจัย

สิงหาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
Executive Summary	ก-ฎ
บทคัดย่อ	ฐ
คำนำ	ถ
สารบัญ	ท
สารบัญตาราง	บ
สารบัญรูป	ฝ
สารบัญตารางภาคผนวก	ม
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	11
3.1 การติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	11
3.2 ทดสอบการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ	13
3.3 ประเมินปริมาณ carbon footprint ที่ปลดปล่อยและที่สามารถลดลงได้จากการประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพกับระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน	17
3.4 ทดลองเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	17
3.5 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
4.1 ข้อมูลสหกรณ์กองทุนสวนยางนาร่องที่ทำการศึกษา (สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง)	19
4.2 ผลการติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	27
4.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	35
4.2.3 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ	37
4.2.4 ผลการติดตามข้อมูลการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืน	38
4.2.5 ศึกษาเงื่อนไข ข้อจำกัด ปัญหา ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปแบบและการใช้เตาที่เหมาะสม	43
4.3 ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ	44
4.4 การประชุมร่วมกับคณะกรรมการของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ในการทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	64
4.5 ผลทดสอบเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ณ สหกรณ์นาร่อง	65
4.6 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	69
4.7 ประเมินปริมาณ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันใน กรณีที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	139
ภาคผนวก	141
ภาคผนวก ก ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด	142
ภาคผนวก ข ข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงในการรมยาง	149
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยาง แผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	153

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก ง	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน	156
ภาคผนวก จ	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน	168
ภาคผนวก ฉ	กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	219
ภาคผนวก ช	ตารางเปรียบเทียบวัตถุดิบประสม กิจการที่วางแผนไว้ และกิจการที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	227

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2-1	มาตรฐานการจัดชั้นคุณภาพและการหีบห่ออย่างธรรมชาติ
3-1	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสีย
3-2	พารามิเตอร์ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด
3-3	ชุดการทดลองที่ใช้เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
4-1	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ในระหว่างเดือนสิงหาคม 2556- สิงหาคม 2557
4-2	ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง
4-3	ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง และยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง (ค่าเฉลี่ยจาก 2 ครั้งในเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน 2557)
4-4	ค่า pH ของน้ำเสีย และน้ำทิ้งของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-5	ค่า TCOD ของน้ำเสีย น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-6	ค่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ (TCOD) ของน้ำเสียเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-7	ค่า VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน
4-8	ค่า Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน
4-9	ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ของการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-10	ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ของการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-11	ค่า TN ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ
4-12	ค่า TP ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4-13 ผลประเมินสารอาหารจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง และน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ	59
4-14 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการทดลองชุดต่างๆ ภายใต้ HRT ต่างๆ	64
4-15 สมบัติของมูลสุกรและประมาณการสมบัติน้ำเสียอย่างแผ่นรมคว้นผสมมูลสุกร	65
4-16 ผลทดลองปริมาณการเติมมูลสุกร ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้ และองค์ประกอบก๊าซมีเทนจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	67
4-17 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อหมักฯ หลังเติมมูลสุกร	68
4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน	71
4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน	76
4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน	81
4-21 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ในกรณีต่างๆ	86
4-22 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแผ่นรมคว้น ปี 2553 ของ 9 โรงงาน	102
4-23 ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมคว้นที่ผลิตได้ในปี 2553	104
4-24 ปริมาณการใช้พลังงาน ที่ใช้ในการผลิตยาง แผ่นรมคว้น ปี 2553 ของ 9 โรงงาน	105
4-25 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตยาง แผ่นรมคว้น ปี 2553 ของ 9 โรงงาน	106
4-26 ปริมาณวัตถุดิบ และ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมคว้นของสหกรณ์กองทุนสวนยางทั้ง 9 โรงงาน (ป็นส่วนผลิตภัณฑ์แล้ว)	107
4-27 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์	109
4-28 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)	110
4-29 ค่าการปันส่วนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมคว้น	103
4-30 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมคว้น (กรณี สกย. บ้านเก่าร้าง แบบไม่มีการดิงก๊าซชีวภาพกลับมาใช้)	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4-31	ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน (กรณี สกย. บ้านเก่าร้าง แบบมีการดื่งก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม)	126
4-32	ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า ของ สหกรณ์ทั้ง 9 โรงงาน	129

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง	6
3-1 เครื่อง Portable Gas Analyser	12
3-2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ (จำลอง)	13
3-3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ	14
3-4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 ชุดการทดลอง	14
3-5 มุลสุกรอบแห้ง	15
3-6 ขอบเขตการประเมินปริมาณ carbon footprint แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นทึบ (ส่วนที่ไม่รวมในการศึกษา คือระบบที่แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ)	18
4-1 บ่อดักเศษยาง	20
4-2 บ่อรวมน้ำเสีย	20
4-3 (ก) บ่อป้อนมูลสัตว์ (ข) บ่อหมักก๊าซชีวภาพ	21
4-4 (ค) บ่อชักกากตะกอน และ (ง) คูเก็บกากตะกอน	21
4-5 (จ) บ่อฝิ่ง และ (ฉ) บ่อสูบล	21
4-6 บ่อปรับสภาพ	21
4-7 ปริมาณน้ำยางสด และผลคำนวณปริมาณน้ำใช้และอัตราการเกิดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ในปี พ.ศ.2556-2557	24
4-8 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่าง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	25
4-9 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (บ่อรวมน้ำเสีย)	26
4-10 บ่อหมักก๊าซชีวภาพ	26
4-11 บ่อฝิ่ง (จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ บริเวณเส้นประ)	26
4-12 บ่อปรับสภาพ (บ่อสุดท้ายของระบบบำบัด)	26
4-13 ค่า pH ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	28
4-14 ค่า VFA และ Alkalinity ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	29
4-15 ค่า TCOD ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-16	ความเข้มข้นของ TN ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	33
4-17	ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	34
4-18	ความเข้มข้นของ TK ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	35
4-19	จุดตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพบริเวณท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเตาไม้ฟืน	35
4-20	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	36
4-21	การติดตั้งและตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ระบบท่อดูดก๊าซชีวภาพ ณ บ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	38
4-22	ปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง	39
4-23	ปริมาณการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง	40
4-24	(ก) ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง (ข) ยางแผ่นที่รมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง	41
4-25	ประตูเตาไม้ฟืนบริเวณที่เจาะรูสำหรับนำท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพเข้าไปในเตาไม้ฟืน	43
4-26	ท่อพีวีซีเชื่อมต่อกับท่อเหล็กเข้าเตาไม้ฟืน (ท่อเหล็กยาวประมาณ 1-2 เมตร)	43
4-27	วาล์วควบคุมการนำก๊าซชีวภาพเข้าเตารมยาง	44
4-28	ค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	46
4-29	อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (TCOD) ของน้ำเสียเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	48
4-30	ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	50
4-31	ประสิทธิภาพการกำจัด TS ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-32	ประสิทธิภาพการกำจัด VS ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	56
4-33	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	61
4-34	องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชุดการทดลองภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน	62
4-35	คณะวิจัยประชุมร่วมกับคณะกรรมการของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	65
4-36	ซังน้ำหนักลมสุกก่อนเติมลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	66
4-37	ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ระบบท่อชุดก๊าซชีวภาพในระหว่างการทดสอบเติมมูลสุกร	66
4-38	เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน และการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน	69
4-39	รูปแบบของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง	91
4-40	ผังโรงงานยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา	92
4-41	การขนส่งน้ำยางส่งมายังสหกรณ์ฯ ของชาวสวนยาง	93
4-42	การรวบรวมน้ำยางสดและการกรองน้ำยางสดสู่บ่อรวมน้ำยาง	94
4-43	การลำเลียงน้ำยางสดและการผสมน้ำยางในตะกวยยาง	95
4-44	กระบวนการทำแผ่นยางดิบ	95
4-45	ถังกรดฟอร์มิก	95
4-46	การขนส่งกรดฟอร์มิกจากแหล่งกำเนิดจนถึงสหกรณ์	96
4-47	การลำเลียงยางแผ่นดิบก่อนรีด	96
4-48	การรีดยาง	97
4-49	ยางที่ผ่านการรีด และการตากแผ่นยางบนราว (เก๊ะ)	97
4-50	ยางแผ่นดิบที่ถูกลำเลียงเข้าห้องรมควัน (ซ้าย) และการรมควันยาง (ขวา)	98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-51	การขนส่งไม้ฟืนโดยรถกระบะบรรทุกมายังสหกรณ์	98
4-52	ผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน	99
4-53	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ยางฟอง)	100
4-54	ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ยางคัตตึง)	100
4-55	ที่ตั้งโรงงานสหกรณ์ 9 แห่ง และตลาดกลางยางพารา	101
4-56	กราฟแสดงระยะทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์ (ยางแผ่นรมควัน) ไปยัง ตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	101
4-57	สมดุลมวลสารการผลิตยางแผ่นรมควัน 1,000 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 9 โรงงาน)	108
4-58	ระบบย่อยขอบเขตการศึกษา	116
4-59	ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการทำ CDM (Clean Development Mechanism)	127
4-60	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้ง 9 โรงงาน	130
4-61	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้ง 9 โรงงาน กรณีมีการใช้ก๊าซชีวภาพของโรงงานที่ 9	131

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวก		หน้า
ก-1	ปริมาณน้ำใช้และอัตราการเกิดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ในระหว่างปี พ.ศ. 2555-2557	143
ก-2	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	144
ก-3	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	148
ข-1	ข้อมูลปริมาณไม้ฟืน กรณีใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	150
ข-2	ข้อมูลปริมาณไม้ฟืน กรณีใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	151
ข-3	ข้อมูลปริมาณไม้ฟืน กรณีใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด	151
ค-1	ปริมาณการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	154
ค-2	ผลปริมาณก๊าซชีวภาพจากการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	154
ค-3	ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อหมักฯ หลังเติมมูลสุกร	155
ค-4	ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ	155
ง-1	ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	157
ง-2	ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	160
ง-3	ค่า TS และ VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	161
ง-4	ค่า TN ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	162
ง-5	ค่า $\text{NH}_4\text{-N}$ ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	163
ง-6	ค่า TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	164

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก		หน้า
จ-7	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน	165
จ-1	ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	169
จ-2	ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	172
จ-3	ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	181
จ-4	ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	184
จ-5	ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	187
จ-6	ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	188
จ-7	ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	191
จ-8	ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	192
จ-9	ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	193
จ-10	ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	194
จ-11	ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	195
จ-12	ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	196
จ-13	ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	200
จ-14	ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	202

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางภาคผนวก		หน้า
จ-15	ค่า TN ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	202
จ-16	ค่า TP ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	203
จ-17	ค่า TN ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	205
จ-18	ค่า TP ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	206
จ-19	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	207
จ-20	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	209
จ-21	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพใน ระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน	216

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

เนื่องจากวิกฤตการณ์พลังงานที่ประเทศประสบอยู่ในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลได้มีแนวนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วน การผลิตพลังงานทดแทนในรูปพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) เป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยก๊าซชีวภาพนี้ใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อน ลงทุนต่ำ สามารถทำในระดับเล็กได้ สามารถผลิตได้จากของเสียอินทรีย์ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะได้พลังงานมาใช้แล้วยังเป็นการบำบัดของเสียช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปด้วยพร้อมๆ กัน

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีการผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยร้อยละ 90 เป็นยางดิบแปรรูป ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางอื่นๆ โดยเฉพาะยางแผ่นรมควัน ปัจจุบันเกษตรกรรวมตัวกันในรูปแบบสหกรณ์กองทุนสวนยางจำกัดเพื่อผลิตยางแผ่นรมควัน การรวมกลุ่มการผลิตนี้ก่อให้เกิดผลกระทบตามมาคือ มลพิษอินทรีย์ทางน้ำในลักษณะที่เป็นจุด (point source) ในปริมาณมาก จากจำนวนสหกรณ์ยางแผ่นรมควันทั่วประเทศมีประมาณ 400 แห่งทั่วประเทศ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 2-3 แสนตันต่อปี มลพิษดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทางน้ำและทางอากาศ ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนรอบข้างและสิ่งแวดล้อมโดยตรง แม้ว่าโรงผลิตยางแผ่นนี้จะมีระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ แต่ก็ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการจัดการมลพิษนี้ได้อย่างยั่งยืนและมีปัญหาการร้องเรียนจากชุมชนบ่อยครั้ง

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินโครงการ การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางเพื่อการเกษตรกรรม (RDG 4650052 ทุนวิจัย สกว.) ซึ่งได้ศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงงานสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันแบบบ่อเปิดไปใช้ในสวนยางระยะสั้นๆ พบว่าต้นยางพาราตอบสนองได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และในปี พ.ศ.2549 ได้ดำเนินโครงการ การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงรมควันยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง (RDG 4950108 ทุนวิจัย สกว.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของโรงงานสหกรณ์ยางแผ่นรมควัน และปัจจุบันได้มีสหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา นำเอาผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์สร้างเป็นระบบแบบ full scale และได้นำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประมาณ 50 ลบ.ม.ต่อวัน ไปใช้ทดแทนไม้ฟืนในการรมควันยางแผ่นประมาณร้อยละ 15-20 ทำให้สีของยางใสขึ้น และการทำงานของผู้ควบคุมเตาสะดวกโดยลดความถี่และปริมาณของการเติมไม้ฟืนเข้าเตา ลดการใช้ไม้ฟืนลงได้ส่วนหนึ่ง แต่น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพดังกล่าวยังไม่สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้เนื่องจากยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม แต่มีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชโดยเฉพาะยางพาราหรือพืชใบเนื่องจากเป็นน้ำที่มีแหล่งกำเนิดจากต้นยางเป็นวัสดุธรรมชาติ และอาจมีประโยชน์ในการผลิตพืชอาหารสัตว์ประเภทใบได้ด้วย

ดังนั้น การใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสหกรณ์ยางแผ่นรมควัน นอกจากจะช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่น ได้ก๊าซชีวภาพนำไปใช้หมัก และใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มแล้ว นับว่าช่วยลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้รดต้นยางพาราเพื่อเพิ่มผลผลิต ซึ่งเป็นการนำของเสียไปใช้ประโยชน์อย่างครบวงจร จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ การเก็บข้อมูลอัตราการทดแทนไม้ฟืนจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้หมัก ร่วมกับไม้ฟืน การตรวจติดตามคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ การทดสอบการเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการประเมิน carbon footprint ของสหกรณ์ฯ ที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่างิ้ว จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา และได้ทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการหมักมูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ร่วมกับน้ำเสียจากระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ภายใต้ระยะเวลาการเก็บ (HRT) 35, 30 และ 25 วัน จากนั้นจะนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนไปสู่การประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT ที่เหมาะสม ประเมินมูลค่าพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์ฯ และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์กองทุนสวนยาง รวมทั้งในส่วนของการเติมมูลสัตว์ลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลการหมักร่วมโดยการเติมมูลสัตว์เสริมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน
- 1.2.3 เพื่อจัดทำ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันเปรียบเทียบระหว่างที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบปริมาณและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเสียสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน และศักยภาพของวัสดุหมักร่วมในพื้นที่
- 1.3.2 ทราบผลการใช้งานจริงของการเติมมูลสัตว์หมักร่วมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน ผลกระทบต่อระบบและความคุ้มค่าทางในการเติมมูลสัตว์

1.3.3 ทราบข้อมูล carbon footprint ของการผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มี การนำน้ำเสียไปใช้ผลิตพลังงาน และใช้เป็นฐานข้อมูลให้กับสหกรณ์กองทุนสวนยางอื่นๆ หรือโรงงานอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันที่ต้องการขอฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์

1.3.4 เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกจะดำเนินการ ณ สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านเก๋าร้าง จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา เป็นการติดตามคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพและน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสีย การเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพและอัตรา การทดแทนไม้ฟืนจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้หมักร่วมกับไม้ฟืน ทดสอบการเติมมูลสัตว์ในระบบผลิต ก๊าซชีวภาพ และประเมิน carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มีระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนที่สองเป็นการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการหมัก มูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการ ผลิตยางแผ่นรมควัน ภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) 35, 30 และ 25 วัน ทั้งนี้จะนำข้อมูลจากทั้ง 2 ส่วน ไปประกอบการประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT ที่เหมาะสม และประเมิน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การรวบรวมน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

สหกรณ์ฯ รับซื้อน้ำยางสดจากสมาชิก จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก และนำตัวอย่างน้ำยางสดไปหาปริมาณเนื้อยางแห้งที่มีอยู่ในน้ำยาง โดยการวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งหรือ DRC (Dry Rubber Content) โดยวิธีการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ เพื่อจ่ายค่าตอบแทนให้สมาชิก ในขั้นตอนนี้ เรื่องคุณภาพน้ำยางสดเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ เช่น การผสมน้ำในน้ำยางสด การเติมแอมโมเนียหรือโซดาไฟในน้ำยางสด เป็นต้น เมื่อสหกรณ์ฯ นำน้ำยางสดที่ไม่ได้คุณภาพมาผสมรวมกันส่งผลให้น้ำยางสดมีคุณภาพต่ำลง

2. กระบวนการทำแผ่นยาง

เป็นการนำน้ำยางสดที่รับซื้อมาจากสมาชิกรวมเพื่อแยกสิ่งสกปรกออก แล้วนำน้ำยางมาผสมน้ำและกรดฟอร์มิคในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยการทำยางแผ่นรมควัน 1 ตะก จะเติมกรดฟอร์มิคเข้มข้น 94% จำนวน 120 ซีซี (กรณีไม่มีการเจือปนของแอมโมเนีย) และเติมกรดฟอร์มิคเข้มข้น 94% จำนวน 200 ซีซี (กรณีที่มีการเจือปนของแอมโมเนีย) จากนั้นกวนให้เข้ากัน กวาดฟองยางออกแล้วใส่แผ่นเสียบในแต่ละช่องตะก และรอให้ยางแข็งตัวประมาณ 3-4 ชั่วโมง ถอดแผ่นเสียบออก ยกยางจากตะก ใส่ในรางลำเลียงยางไปยังจักรรีดเพื่อรีดยางเป็นแผ่น

การรีดยางจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นตัวขับ จะรีดยางให้เป็นแผ่นมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แผ่นยางที่ออกจากจักรรีดจะตกลงในอ่างน้ำเพื่อล้างกรดที่ยังเหลือออก และนำแผ่นยางไปตากบนราวไม้ไผ่ แล้วนำไปแขวนบน “เกะ” ผึ่งไว้ให้แห้ง 1 คืนแล้ว นำเข้าห้องรมเป็นเวลาประมาณ 3-4 วัน เพื่อให้ยางสุก

ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต คือน้ำเสียจากจุดต่างๆ ในขั้นตอนการผลิต การล้างภาชนะ และอุปกรณ์ระหว่างและหลังผลิตเสร็จในแต่ละวันเศษยางจากการกวาดฟองยางในตะก รวมถึงเศษยางที่เสียจากกระบวนการผลิต

3. กระบวนการรมควัน

เป็นการนำยางแผ่นดิบที่รีดเสร็จแล้ววางพาดบนราวไม้ไผ่ที่สะอาด แล้วนำไปแขวนไว้บนเกะระวังอย่าให้ขอบยางแผ่นติดทับกัน ผึ่งยางไว้บนเกะให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำเกะยางเข้าห้องรมจุดไฟที่เตาไม้ฟืน ปลอบควันเข้าห้องรม อุณหภูมิให้ร้อนที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส เมื่อความร้อนกระจายทั่วทั้งห้องรมจึงนำเกะยางเข้าห้องรม ในวันที่ 1-2 ของการรมควันให้เปิดช่องระบายความชื้นที่เพดานห้องรม การเปิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น เมื่อความชื้นในห้องรมระเหยหมดจึงปิดช่องระบายความชื้น ทำการรมควันต่อจนยางแผ่นสุกจึงนำยางออกจากห้องรม เวลาที่ใช้ในการรมยาง

ประมาณ 3-4 วัน สิ่งสำคัญของขั้นตอนการรมยางคือ รักษาอุณหภูมิในห้องรมให้อยู่ในช่วง 50-70 องศาเซลเซียส และสูงสุดไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อยางหรือยางไหม้เกรียมต้องตัดทิ้งภายหลัง ในขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปอาจทำให้ยางขึ้นราหรือไม่สุกได้

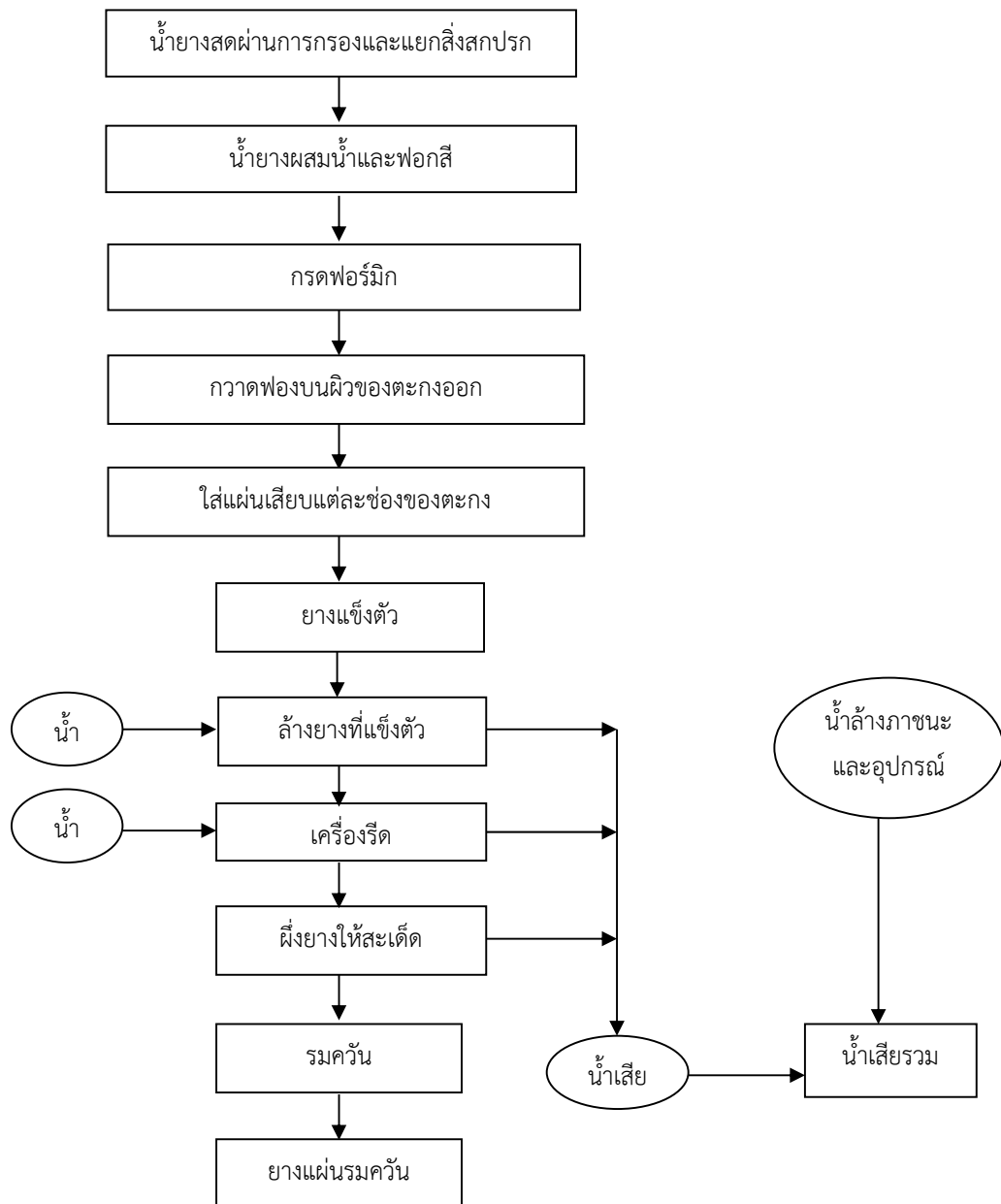
4. การคัดชั้นยาง

การคัดชั้นยางจะใช้การมองด้วยสายตาเป็นเกณฑ์ตัดสิน ทำการตัดสิ่งแปลกปลอม ฟองอากาศ และส่วนที่ไหม้ออกจากแผ่นยาง โดยทั่วไปยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ของสหกรณ์ฯ จะขายได้ในราคายางชั้น 3 นอกจากการผลิตที่มีปัญหาหรือเป็นยางคัดตั้ง ยางฟอง จะขายได้ในชั้นที่ 4 และ 5 ตามแต่คุณภาพ ซึ่งมาตรฐานการจัดชั้นคุณภาพและการหีบห่อยางธรรมชาติ ดังแสดงในตาราง 2-1

ตาราง 2-1 มาตรฐานการจัดชั้นคุณภาพและการหีบห่อยางธรรมชาติ

ชั้นยาง	การหีบห่อ	ยางเสียปลอมปน	คุณสมบัติยางแผ่น
ชั้น 1 พิเศษ (NO.1 RSS XL)	แต่ละก้อนต้องไม่มีรา แต่ขณะส่งมอบอนุญาตให้มีราแห้งจำนวนเล็กน้อยบนผิวก้อนที่ติดกับแผ่นยางที่ห่อได้	ต้องไม่มียางที่เป็นรอยไหม้เป็นจุดๆ หรือเป็นแถบๆ ไม่มียางย่อยหรือยางเยิ้ม ไม่มียางอ่อนรมไม่มียางแกร่ม ไม่มียางขุ่นมัว ไม่มียางไหม้	แผ่นยางต้องแห้งสนิทสะอาดและดูแข็งแรง คงทนปราศจากตำหนิใดๆ อันได้แก่ สิ่งแปลกปลอมเจือปน รา สนิม ยางฟอง ดินหรือทราย สิ่งสกปรกเจือปนอื่นๆ อนุญาตให้มีฟองอากาศขนาดเล็กได้
ชั้นที่ 1 (NO.1 RSS)	เหมือนชั้น 1 พิเศษ	เหมือนชั้น 1 พิเศษ	เหมือนชั้น 1 พิเศษ ต่างกันที่อนุญาตให้มีตำหนิเปลือกไม้และฟองอากาศได้เล็กน้อย
ชั้นที่ 2 (NO.2 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือราแห้งได้ไม่เกิน 5%	เหมือนชั้น 1 พิเศษ และชั้นที่ 1	เหมือนชั้นที่ 1
ชั้นที่ 3 (NO.3 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือราแห้งได้ไม่เกิน 10 %	เหมือนชั้น 1 พิเศษและชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2	เหมือนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 แต่ยินยอมให้ยางแผ่นดูไม่ค่อยสะอาดขึ้นเล็กน้อย
ชั้นที่ 4 (NO.4 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือราแห้งได้ไม่เกิน 20 %	เหมือนชั้น 1 พิเศษและชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3	เหมือนชั้นที่ 3 และอนุญาตให้มีตำหนิเปลือกไม้ ฟองอากาศ สิ่งเจือปน โปร่งแสงเหนียวเล็กน้อย ยางแกร่มได้
ชั้นที่ 5 (NO.5 RSS)	อนุญาตให้มีราสนิมหรือราแห้งไม่เกิน 20%	จะต้องไม่มียางที่มีรอยไหม้เป็นจุดๆ หรือเป็นแถบๆ ไม่มียางย่อยหรือยางเยิ้ม ไม่มียางไหม้ อนุญาตให้มียางอ่อนรมได้เล็กน้อย อนุญาตให้มียางแกร่มได้เล็กน้อย	ยางแผ่นจะต้องแห้งสนิท อนุญาตให้มีตำหนิ เปลือกไม้ ฟองอากาศ ยางฟองได้เล็กน้อย

ที่มา : สถาบันวิจัยยาง (2542)



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรวมคว้นของสหกรณ์โรงอบ/รมยาง
ที่มา : สุเมธ ไชยประพัทธ์ และอิสรา รักษาม (2548)

2.2 ระบบบ่อหมักไร้อากาศแบบแผ่นคลุม (Anaerobic Covered Lagoon)

เป็นระบบที่พัฒนาและปรับปรุงมาจากระบบบ่อปิดแบบ Covered Lagoon ส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบบ่อดิน มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความลึกของบ่อไม่ต่ำกว่า 6 เมตร สามารถรองรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้สูงสุดประมาณ 1-2 kgCOD/m³.d (สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) กรณีที่เป็นบ่อดินขุดอาจปูด้วยแผ่น PE (Polyethylene) HDPE (High Density Polyethylene) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของน้ำเสียลงใต้ดิน (ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ, 2551) ส่วนสำคัญของระบบนี้คือการปิดบ่อโดยใช้แผ่นโพลีเอทิลีน เช่น PE, HDPE หรือแผ่น PVC เพื่อให้เกิดสภาพไร้อากาศและรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทำให้ลดปัญหาเรื่องกลิ่น และสร้างกลิ่นที่ชุมชนได้

การทำงานของระบบนี้เริ่มจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยการย่อยสลายดังกล่าวจะเกิดกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids; VFA) โดยแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด จากนั้น VFA ที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนนำไปใช้และผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นองค์ประกอบหลัก ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บไว้ด้านบนของบ่อหมักเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานเชื้อเพลิงต่อไป

2.3 การประยุกต์ระบบบ่อหมักไร้อากาศแบบแผ่นคลุมสำหรับสหกรณ์กองทุนสวนยาง

ระบบบ่อหมักไร้อากาศแบบแผ่นคลุมที่สร้างขึ้น ณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเกำร้าง จำกัด ประกอบด้วยหน่วยบำบัด 4 หน่วย ได้แก่ บ่อบ้อนมูลสัตว์ บ่อหมักก๊าซชีวภาพ บ่อชกกากตะกอน และคูเก็บกากตะกอน เมื่อผนวกกับหน่วยบำบัดเดิมของสหกรณ์ฯ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ มี 9 หน่วยบำบัด โดยมีหน้าที่และความสำคัญของหน่วยบำบัดต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียมีรายละเอียดดังนี้

1. บ่อดักยาง ทำหน้าที่ดักเศษยางออกจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดเพื่อไม่ให้เศษยางอุดตันในท่อและในบ่อบำบัด
2. บ่อรวมน้ำเสีย ทำหน้าที่รวบรวมและเก็บกักน้ำเสีย ปรับอัตราการไหลและอัตราการอินทรีย์ให้สม่ำเสมอก่อนบ่อน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการบำบัด
3. บ่อบ้อนมูลสัตว์ เป็นบ่อซีเมนต์ตรงกลางบ่อมีท่อพีวีซีเชื่อมต่อเข้าไปในบ่อหมักฯ สำหรับเติมมูลสัตว์หรือวัสดุอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้
4. บ่อหมักก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่บำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)
5. บ่อชกกากตะกอน เป็นบ่อซีเมนต์ ภายในบ่อมีท่อพีวีซีสามารถถอดเข้าและออกได้ ทำหน้าที่ดึงกากตะกอนจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ กรณีมีการเติมมูลสัตว์หรือวัสดุอินทรีย์ลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

6. คูเก็บกากตะกอน เป็นบ่อดิน มีลักษณะเป็นบ่อเปิด ทำหน้าที่รองรับกากตะกอนที่ดึงออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ตากกากตะกอนก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน

7. บ่อฝัง ทำหน้าที่บำบัดและลดปริมาณสารอินทรีย์และไนโตรเจน โดยอาศัยการทำงานของกลุ่มสิ่งมีชีวิตในน้ำ ได้แก่ สาหร่าย จุลินทรีย์ บ่อฝังมีกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทั้งสภาวะใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนบนของบ่อแสงแดดสามารถส่องได้ มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งได้รับออกซิเจนส่วนใหญ่จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายนั่นเอง นอกจากนี้ยังได้รับออกซิเจนเนื่องจากอากาศละลายที่ผิวน้ำอีกบางส่วน ปริมาณสาหร่ายและออกซิเจนละลายน้ำในบ่อฝังจะลดลงตามความลึกของบ่อ เนื่องจากแสงแดดส่องผ่านได้น้อยลง และเมื่อบ่อมีความลึกระดับหนึ่งจะมีสภาวะไร้ออกซิเจน จึงทำให้ส่วนล่างของบ่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน

8. บ่อสูบลift ทำหน้าที่สูบน้ำเสียจากบ่อฝังไปบ่อปรับสภาพ เนื่องจากระดับพื้นที่บ่อสุดท้าย (บ่อปรับสภาพ) ของสหกรณ์ฯ อยู่สูงกว่าบ่อฝัง น้ำเสียจึงไม่สามารถไหลไปเองตามแรงโน้มถ่วงของโลกได้

9. บ่อปรับสภาพ ทำหน้าที่ปรับสภาพน้ำก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และพักเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อรอการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ใช้ในการเกษตร และการล้างทำความสะอาดพื้น ใช้ในการเลี้ยงปลาหรือสัตว์น้ำอื่นๆ เป็นต้น

2.4 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 55-75% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-45% เป็นองค์ประกอบหลัก และประกอบด้วยก๊าซอื่นๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 1-2% ก๊าซไนโตรเจน (N_2) 0-1% และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) 0-1% (Hilkiah Igoni *et al.*, 2008)

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นพลังงาน 1.1×10^7 Btu มีค่าความร้อนเท่ากับ 39.4 มิลลิจูล/ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม ไม้ฟืน 1.50 กิโลกรัม และไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554)

2.5 ศักยภาพและความเป็นไปได้ของวัสดุอินทรีย์ที่จะใช้ในการหมักร่วม

การศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยเบื้องต้น พบว่า การหมักร่วมแบบไร้อากาศ (Co-Digestion) เป็นรูปแบบที่พัฒนามาจากการจัดการของเสียไร้อากาศของฟาร์มปศุสัตว์แถบยุโรปมาตั้งแต่อดีต ร่วมกับการใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรที่เกิดขึ้นในปริมาณมากมาหมักร่วมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มขึ้น เช่น มูลสัตว์ พืชพลังงานหมัก (Whole Crop Silage) มูลฝอยอินทรีย์ (Food Waste) เป็นต้น ซึ่งคาดว่าปี ค.ศ. 2020 สหภาพยุโรปจะใช้พลังงาน 20% จากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy System; REW) (Nielsen *et al.*, 2009) ซึ่งในอดีต Nordberg and Edström (1997) ได้ศึกษาการหมัก Ley Crop Silage ฟางข้าว และมูลสุกรในรูปแบบการหมักร่วมแบบไร้อากาศ CSTR ที่สัดส่วนการผสม

วัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราภาระบรรทุกเท่ากับ 6 gVS/L/d TS 20% พบว่า สัตว์ส่วน Ley Crop Silage 100% ที่เติมธาตุอาหาร มีอัตราการเกิด Methane Yield สูงสุดเท่ากับ 0.32 L/Vs removed นอกจากนี้งานวิจัยของ Wichern et al. (2009) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าหมักกับหญ้าสดด้วยระบบหมักย่อยไร้อากาศ 36 L ที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วงมีโซฟิลิก (38°C) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.5 และ 0.3 gVS/m³/d พบว่าทั้ง 2 ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 593-607 L/kgVS โดยการหมักไฮโดรไลสและหญ้าสดสามารถกำจัด COD ได้ 84.4% และ 87.7% ตามลำดับ สำหรับการกำจัด VS ในขณะที่การหมักหญ้าสดมีการกำจัด COD และ VS ได้น้อยกว่าอยู่ที่ 83.1% และ 87.4% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบการหมักร่วมเริ่มมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย ซึ่ง สมฤดี ฤทธิ์ยากุล และคณะ (2551) ได้ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และผลพลอยได้จากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา หมักร่วมที่อัตราส่วน 50M:50W, TS 5% ที่ OLR 2 kgVS/m³.d สามารถกำจัดของแข็งระเหยง่ายและผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 76.9% และ 0.16 LCH₄/gVS removed ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้

นอกจากนี้จากการศึกษาของ Macias-Corral et al. (2008) พบว่า การหมักมูลวัวอย่างเดียวสามารถผลิตมีเทนได้ 62 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักของแข็งจากกากของเสียเทศบาลอย่างเดียวสามารถผลิตมีเทนได้ 37 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก แต่การหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของแข็งจากกากของเสียเทศบาลสามารถผลิตมีเทนได้ 172 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก และการหมักร่วมระหว่างมูลวัวกับของเสียจากต้นฝ้ายสามารถผลิตมีเทนได้ 87 ลูกบาศก์เมตรต่อตันวัสดุหมัก ดังนั้นจะเห็นว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับวัสดุหมักอื่น สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้นจากการใช้มูลสัตว์เพียงอย่างเดียว ส่วน Callahan et al. (2002) ทำการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้วัสดุหมักร่วม คือ มูลปศุสัตว์กับมูลไก่ และเศษผักผลไม้ ทำการบ้อนสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง โดยควบคุมค่าภาระบรรทุก (OLR) ให้มีค่าระหว่าง 3.19-5.01 กิโลกรัม สารอินทรีย์ระเหยง่าย/ ลูกบาศก์เมตร-วัน ด้วยการปรับค่าอัตราส่วนของวัสดุหมักแต่ละชนิด พบว่าการหมักมูลปศุสัตว์ร่วมกับเศษผักผลไม้ ที่มีอัตราส่วน 50 % (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในการเติมสารอินทรีย์แบบต่อเนื่องให้ค่าประสิทธิภาพของมีเทนที่ดี แต่ค่าการลดลงของของแข็งระเหยง่ายลดลงเล็กน้อย ส่วนมูลไก่นั้นไม่เหมาะในการหมักแบบ Co-digestion เพราะมีปริมาณแอมโมเนียอิสระที่รบกวนระบบ เมื่อภาระบรรทุกเพิ่มขึ้นกลับได้ประสิทธิภาพของมีเทนและการลดลงของของแข็งระเหยง่ายลดลง ดังนั้นการนำสารอินทรีย์คาร์บอนมาผสมร่วมในการหมักสามารถที่จะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากวัตถุประสงค์หลักยังเป็นการบำบัดน้ำเสียแล้ว การนำส่วนผสมอื่นมาผสมรวมกับน้ำเสียอาจทำให้คุณภาพน้ำผ่านจากระบบบำบัดแย่ง ทั้งนี้ต้องมีการศึกษาอย่างรอบคอบในทุกแง่มุม

2.6 การใช้น้ำทิ้งในเชิงเกษตรกรรม

การนำน้ำเสียกลับมาใช้เพื่อการเกษตรกรรมได้รับความนิยมโดยเฉพาะในกลุ่มประเทศตะวันออกกลางซึ่งมีภูมิอากาศแห้งแล้ง ขาดแคลนน้ำในการเกษตรกรรม แต่ในปัจจุบันการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมาใช้เพื่อการเกษตรกรรม เนื่องจากสารอาหารพืชในน้ำเสียซึ่งอุดมไปด้วยแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชกลับมาใช้ใหม่ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยระบบบำบัดแล้ว การติดตั้งระบบการนำน้ำนั้นมาหมุนใช้ใหม่เพื่อการเกษตรกรรมกับพืชประเภท Willow ในประเทศออสเตรเลีย โดยที่ไม่ต้องกำจัดสารอาหารพืชเหล่านั้นออกไป ยังมีการลงทุนและดำเนินการที่ต่ำกว่าอยู่พอสมควร (Rosenqvist *et al.*, 1997)

การศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพของดินในแปลงที่รดด้วยน้ำเสียนานกว่า 80 ปี กับดินที่รดด้วยน้ำธรรมชาติตามปกติที่เมือง Bakersfield รัฐแคลิฟอร์เนีย ด้วยพารามิเตอร์ total porosity, pH, electrical conductivity, magnesium, phosphorus, และ zinc ผลปรากฏว่ามีเพียง total porosity และ Mg เท่านั้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าที่ดินทั้งสองแปลงสามารถที่จะใช้ปลูกพืชได้ดีแต่พบว่าดินในแปลงที่รดด้วยน้ำเสียมีความอัดแน่น (compaction) เพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการซับเก็บกัก (holding capacity) สารอาหารพืช เช่น Mg ได้ลดลง (Wang *et al.*, 2003)

การนำน้ำทิ้งจากบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์โรงอบ/รมยาง ไปใช้ประโยชน์ เช่น รดต้นไม้ จะเป็นการเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้กับพืช จากผลการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากโรงรมยางไปใช้รดสวนยางพารา พบว่า ให้น้ำหนักร่มยางพาราเฉลี่ยเท่ากับ 10-40 กิโลกรัม มีค่า DRC (Dry Rubber Content; DRC) เฉลี่ยเท่ากับ 36.62 ซึ่งสูงกว่าสวนยางพาราที่ได้รับน้ำฝนที่มีน้ำหนักร่มยางสดเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 กิโลกรัม และค่า DRC เฉลี่ยเท่ากับ 33.29 และเกษตรกรไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ย (สายัณห์ สดุดิ และคณะ, 2548)

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 การติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

(1) ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสีย มาวิเคราะห์หาคุณลักษณะน้ำเสียพื้นฐานตามพารามิเตอร์ดังตาราง 3-1 ด้วยวิธีการตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21thed) (APHA, AWWA and WEF, 2005) จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการตรวจวิเคราะห์ ดังตาราง 3-2

ตาราง 3-1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการ
Temperature	Thermometer
pH	pH meter
Alkalinity	Direct Titration Method*
VFA	Direct Titration Method*
TCOD	Closed Reflux , Titration Method
SS	Gravimetric Method
TKN	Macro-Kjeldahl Method
Total Phosphorus	Persulfate Digestion, Vanadomolybdophosphoric Acid

หมายเหตุ * คือ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย และ World Environment Center (2540)

ตาราง 3-2 พารามิเตอร์ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย และน้ำทิ้ง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

พารามิเตอร์	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ความถี่
Temperature, pH, TCOD, SS, Alkalinity, VFA	-น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน -น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ -น้ำทิ้งบ่อสุดท้าย	4 ครั้ง/เดือน
TN, TP, TK	-น้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ -น้ำทิ้งบ่อสุดท้าย	4 ครั้ง/เดือน

(2) ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ จำนวน 2 ครั้ง/เดือน ด้วยเครื่อง Portable Gas Analyser ยี่ห้อ Geotech รุ่น Biogas Check ดังรูปที่ 3-1 โดยตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซอื่นๆ



รูปที่ 3-1 เครื่อง Portable Gas Analyser

(3) ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพมีวิธีการดังนี้

1. ปล่องก๊าซชีวภาพออกจากแผ่นคลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพให้หมด จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 2 วัน และตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น
2. คำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพในหน่วย ลบ.ต่อตันน้ำยางสด โดยใช้ข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้มีหน่วยเป็น ลบ.ม.ต่อวันหารด้วยปริมาณน้ำยางสดในช่วงเวลาที่มีวัดก๊าซชีวภาพมีหน่วยเป็น กก.

(4) ติดตามข้อมูลสัดส่วนการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในสหกรณ์ฯ

การเก็บข้อมูลการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด เป็นการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนในการรมยาง โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว และกรณีที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพ มีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักไม้ฟืนทั้งหมดที่ใช้ในการรมยาง
2. ชั่งน้ำหนักยางแผ่นรมควันที่ได้จากการรมยางต่อห้อง (ใน 1 รอบการรมยาง)

3. คำนวณหาปริมาณการใช้ไม้ฟืนต่อปริมาณน้ำหนัวยางแผ่นรมควัน (หน่วยเป็น กิโลกรัมไม้ฟืนต่อกิโลกรัมยางแห้ง)

4. คำนวณต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน โดยนำข้อมูลจากข้อ 3. คูณกับราคาไม้ฟืน

5. เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตยางแผ่นที่ประหยัดได้จากข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนทั้ง 2 กรณี

(5) ศึกษาเพิ่มเติมเงื่อนไข ข้อจำกัด ปัญหา ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปแบบและการใช้เตาที่เหมาะสม และอุปกรณ์ต่างๆ

3.2 ทดสอบการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

3.2.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ ถังเก็บก๊าซชีวภาพ เครื่องกวน และปั๊มสุบของเหลวแบบปรับอัตราการไหล (รูปที่ 3-2 ถึง 3-4) มีรายละเอียดดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ทำจากขวดแก้วใส ปริมาตรรวม 5 ลิตร และมีปริมาตรใช้งานจริง (Working volume) 3.5 ลิตร ประกอบด้วย

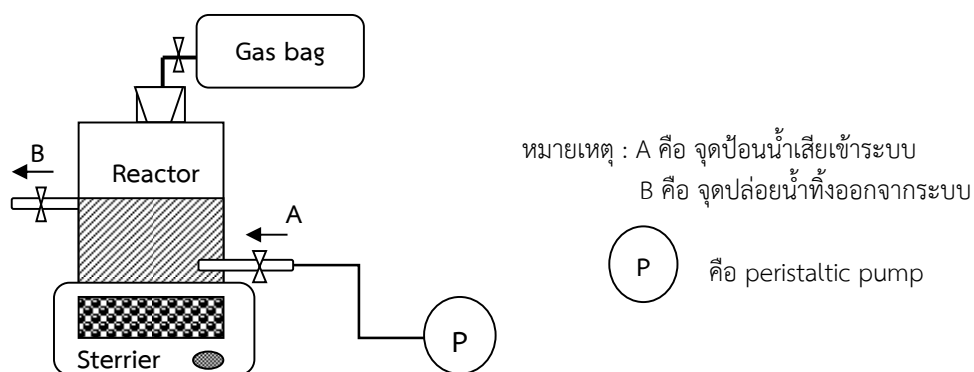
1.1 จุดป้อนน้ำเสียเข้าระบบ (ช่อง A) อยู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์

1.2 จุดปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบ (ช่อง B) อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์

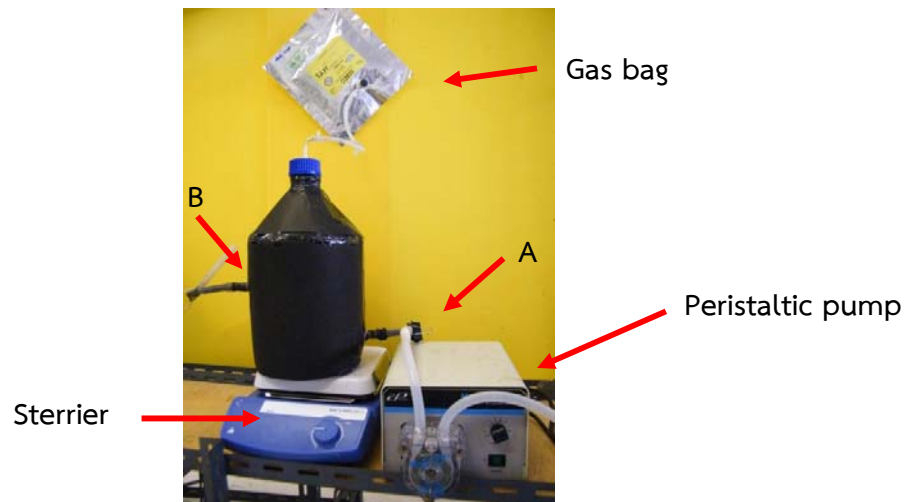
2. ถังเก็บก๊าซชีวภาพ (Gas bag) เชื่อมต่อกับท่อส่งก๊าซชีวภาพกับถังปฏิกรณ์ เพื่อกักเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบ

3. เครื่องกวนผสม (Sterrier) ใช้กวนผสมน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

4. ปั๊มสุบของเหลวแบบปรับอัตราการไหล (peristaltic pump) ทำหน้าที่สูบน้ำเสียเข้าในถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3-2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ (จำลอง)



หมายเหตุ : A คือ จุดป้อนน้ำเสียเข้าระบบ B คือ จุดปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบ

รูปที่ 3-3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3-4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 ชุดการทดลอง

3.2.2 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

1. ป้อนน้ำเสียเข้าระบบและถ่ายน้ำทิ้งออกจากระบบ วันละ 1 ครั้ง โดยปล่อยน้ำทิ้งออกทางช่อง B และป้อนน้ำเสียเข้าระบบโดยใช้ peristaltic pump สูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกิริยาทางช่อง A
2. กวนผสมน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ ด้วยเครื่องกวนผสม เป็นเวลา 10 นาที
3. เมื่อครบ 24 ชม. ให้ทำตามในข้อ 1. และ 2.

3.2.3 ศึกษาคุณสมบัติน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

(1) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

เก็บน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจากบ่อรวมน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา มาวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสีย ได้แก่ Temperature, pH, TCOD, SS, TKN, NH_4^+-N , และ TP

(2) มูลสุกร

เก็บตัวอย่างมูลสุกร จากฟาร์มสุกรในพื้นที่จังหวัดสงขลา และนำมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และค่าปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) และค่าความชื้น (moisture) จากนั้นนำมูลสุกรไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาบดให้ละเอียด ดังรูปที่ 3-5 เพื่อนำไปใช้ในการหมักร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน



รูปที่ 3-5 มูลสุกรอบแห้ง

(3) เชื้อตั้งต้น (Seed)

เชื้อตั้งต้น (Seed) ที่นำมาใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) เก็บมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรในเขตพื้นที่ จ.สงขลา และนำมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) และค่าของแข็งระเหยง่าย (VS)

3.2.4 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)

การเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up) โดยนำเชื้อตั้งต้นในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 30% ของปริมาตรใช้งานจริง (Working volume) จากนั้นเติมน้ำเสียหรือวัสดุหมักรวม (มูลสุกรกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน) ในถังปฏิกรณ์จนครบปริมาตรใช้งานจริง ตั้งทิ้งไว้ 2 คืน เพื่อให้เชื้อตั้งต้นปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย และเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าระบบในวันถัดไป

3.2.5 ชุดการทดลองในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

การทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพทำการเดินระบบพร้อมกันจำนวน 4 ชุดการทดลอง ดังตาราง 3-3 ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 35, 30 และ 25 วัน ตามลำดับ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตาราง 3-3 ชุดการทดลองที่ใช้เดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

ชุดการทดลอง	น้ำเสีย/วัสดุหมักรวม
1	น้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW)
2	1%TS มูลสุกร และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (1%TS-PM+WW)
3	2%TS มูลสุกร และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (2%TS-PM+WW)
4	3%TS มูลสุกร และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (3%TS-PM+WW)

3.2.6 พารามิเตอร์ และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง และก๊าซชีวภาพ

ในระหว่างทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ จะเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และน้ำทิ้งจากระบบมาวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ pH, TCOD, VFA, Alkalinity, TS, VS, TN และ TP ความถี่ 4 วัน/ครั้ง พร้อมทั้งวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน และตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่อง Gas Chromatography

3.3 การทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

การประชุมร่วมกับคณะกรรมการของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา เพื่อขออนุญาตในการทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จากนั้นใช้ข้อมูลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการจากโครงการฯ ปีที่ 1 ในการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันกับมูลสุกร มาใช้เป็นแนวทางในการเลือกเติมมูลสุกรในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ในระหว่างทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ pH, TCOD, SS, TN, TP และ TK ทุกวัน ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ 3 วันต่อครั้ง และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 2 วันต่อครั้ง

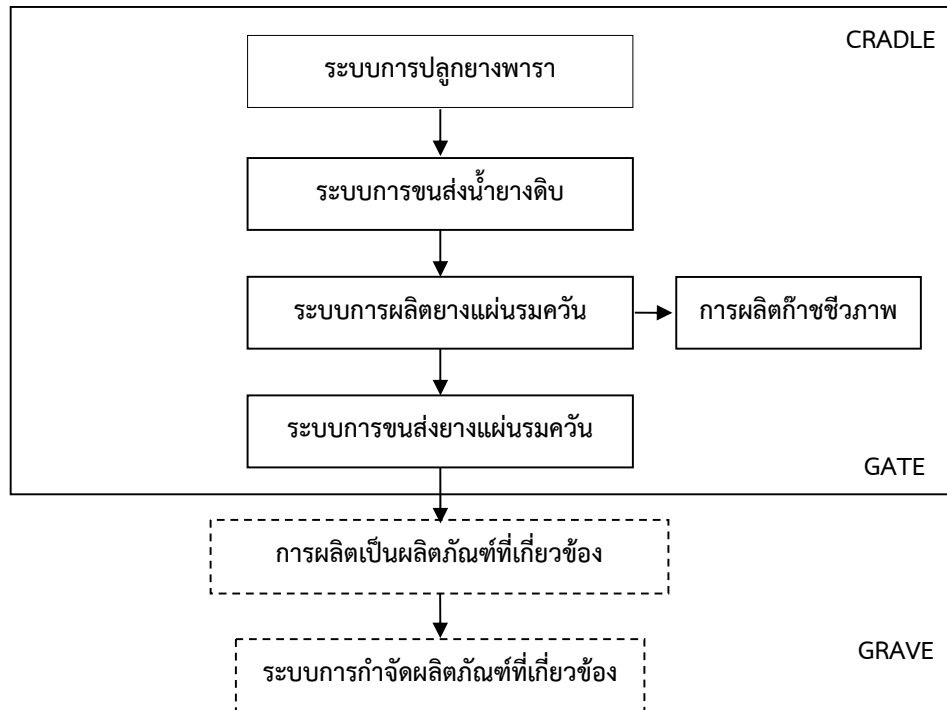
3.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ข้อมูลจากการประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ออกแบบภายใต้ค่าระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน และมูลค่าพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์ฯ

3.5 ประเมินปริมาณ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากลใน ISO 14067 และแบบทวนการสอบ (Verification Sheet) การประเมินการใช้ทางเลือกของก๊าซชีวภาพเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยผลิตภัณฑ์ที่น่ามาศึกษา คือ ยางแผ่นรมควันชั้นที่ 3 (3rd Grade Rubber Smoked Sheet) โดยกำหนดหน่วยผลิตภัณฑ์ (Functional Unit) เท่ากับ 1 กิโลกรัม (โดยเฉลี่ยแล้วยางแผ่นรมควัน 1 แผ่นมีน้ำหนักประมาณ 0.8 กิโลกรัม) และการแสดงค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จะมีหน่วยเป็น kgCO₂eq./kg ยางแผ่นรมควัน

2. การกำหนดขอบเขตการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการประเมินในส่วนของการผลิตทั้งหมด ไม่ได้ประเมินในส่วนของการใช้งานและการกำจัด (Cradle to Gate) โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ ได้แก่ การได้มาของวัตถุดิบในส่วนของการขนส่งวัตถุดิบ (น้ำยางสด และกรดฟอร์มิก) ระบบการผลิตยางแผ่นรมควัน (ครอบคลุมการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับสหกรณ์ฯ ที่มีบ่อหมักก๊าซชีวภาพ) และระบบการขนส่งยางแผ่นรมควัน ซึ่งมีการจัดข้อมูลในส่วนของการกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันภายในสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา จำนวน 9 สหกรณ์ฯ ดังรูปที่ 3-6 โดยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากเอกสารของสหกรณ์ฯ การเดินสำรวจกระบวนการผลิตเพื่อสังเกตแหล่งกำเนิดของเสีย และการสัมภาษณ์พนักงาน



รูปที่ 3-6 ขอบเขตการประเมินปริมาณ carbon footprint แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นทึบ (ส่วนที่ไม่รวมในการศึกษา คือระบบที่แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลสหกรณ์กองทุนสวนยางนาร่องที่ทำการศึกษา (สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง)

สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด ตั้งอยู่ที่ ม.6 ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา จดทะเบียนเป็นสหกรณ์ฯ เมื่อปี พ.ศ. 2539 เป็นสหกรณ์ฯ ที่สร้างรุ่นปี พ.ศ. 2538 มีกำลังการผลิต 2.5 ตันต่อวัน มีห้องรมยาง 4 ห้อง และเตาไม้ฟืน 4 เตา สามารถบรรจุยางได้ขนาด 6 เก้า ต่อ 1 ห้องรมยาง ธุรกรรมหลักของสหกรณ์ฯ คือ การรวบรวมน้ำยางสดจากสมาชิก แล้วนำมาผลิตเป็นยางแผ่นรมควันเพื่อจำหน่าย

(1) วิธีการผลิตยางแผ่นรมควัน

สหกรณ์ฯ มีการรับซื้อน้ำยางสดในช่วงเวลา 8.00-11.00 น. เพื่อรวบรวมน้ำยางสดเข้าสู่ขั้นตอนกระบวนการผลิตยางแผ่น โดยนำน้ำยางสดมากรองเพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากนั้นนำน้ำยางสดเติมลงไปบนตะกวดผสมน้ำและกรดฟอร์มิกในอัตราส่วนที่เหมาะสมและกวนให้เข้ากัน กวาดยางฟองด้านบนตะกวดออกแล้วใส่แผ่นเสียบในแต่ละช่องตะกวด รอให้ยางแข็งตัวประมาณ 3-4 ชม. จึงถอดแผ่นเสียบออกและยกแผ่นยางจากตะกวดลงไปนึ่งในอ่างล้างยางแล้วลำเลียงเข้าจักรรีดเพื่อรีดยางให้เป็นแผ่น ซึ่งในขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นหลักๆ 4 จุด ได้แก่ น้ำเสียจากตะกวดหลังจากคัดแยกเนื้อยาง น้ำเสียจากรางล้างยาง น้ำเสียจากการรีดแผ่นยาง น้ำเสียจากการล้างภาชนะและการล้างพื้น เป็นต้น โดยน้ำเสียทั้งหมดจะไหลลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

เมื่อรีดยางเป็นแผ่นแล้วจะนำแผ่นยางตากบนราวไม้ไผ่และแขวนไว้บนเกะยางให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำยางเข้าห้องรม จุดไฟที่เตาไม้ฟืน ปล่องควันเข้าห้องรม อุณหภูมิให้ร้อนที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส เมื่อความร้อนกระจายทั่วทั้งห้องรมจึงนำเกะยางเข้าห้องรม

สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการรมยางของสหกรณ์ฯ คือ ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพ โดยในวันที่ 1-2 ของการรมควันให้เปิดช่องระบายความชื้นที่เพดานห้องรม การเปิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น เมื่อความชื้นในห้องรมส่วนใหญ่เหลือน้อยแล้ว จึงปิดช่องระบายความชื้นที่ฝ้าหลังคาทำการรมควันต่อจนยางแผ่นสุกแล้วจึงนำยางออกจากห้องรม เวลาที่ใช้ในการรมยางประมาณ 3-4 วัน และนำยางออกจากห้องรมเพื่อนำไปทำการตัดสิ่งแปลกปลอม ฟองอากาศและส่วนที่ไหม้ออกจากแผ่นยาง และนำไปจัดจำหน่ายต่อไป

(2) ระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ดังรูปที่ 3-1 ถึง 3-6 ประกอบด้วยหน่วยบำบัด ดังนี้

1. บ่อดักเศษยาง
2. บ่อรวมน้ำเสีย
3. บ่อบีออนมูลสัตว์
4. บ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีขนาดกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 12 m x 20 m x 3.5 m
5. บ่อซักรากตะกอน

6. คูเก็บกากตะกอน ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 3.8 m x 6 m
7. บ่อฝัง มีขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 9 m x 20.7 m
8. บ่อสูบ
9. บ่อปรับสภาพ (บ่อสุดท้าย) มีขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 26 m x 33.5 m

การไหลของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจะถูกส่งเข้าระบบบำบัดน้ำเสียโดยผ่านบ่อดักเศษยาง บ่อรวมน้ำเสีย บ่อหมักก๊าซชีวภาพ ภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะมีจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพและก๊าซชีวภาพจะถูกกักเก็บไว้ใต้แผ่นคลุมพลาสติกเพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลเข้าไปในบ่อฝัง บ่อนี้จะช่วยลดสารอินทรีย์และไนโตรเจนโดยอาศัยการทำงานของกลุ่มสิ่งมีชีวิตในน้ำ ได้แก่ จุลินทรีย์ และ สาหร่าย เป็นต้น จากนั้นน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบ่อฝังจะถูกสูบไปยังบ่อปรับสภาพ (เนื่องจากระดับของบ่อฝังต่ำกว่า) ซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสีย

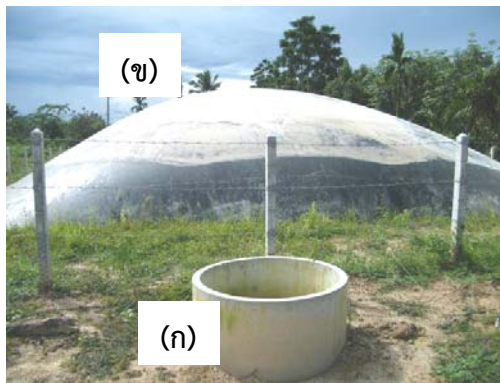
กรณีที่ต้องการเติมมูลสัตว์หรือวัสดุอินทรีย์ลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถเติมมูลสัตว์ลงไปใบบ่อป้อนมูลสัตว์ โดยทางด้านล่างของบ่อป้อนมูลสัตว์มีท่อเชื่อมต่อกับด้านล่างของบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ภายหลังการเติมมูลสัตว์หรือวัสดุอินทรีย์ลงไป จะมีชักากากตะกอนจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพออกทางบ่อชักกากากตะกอนอย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ (ความถี่และระยะเวลาในการชักากากตะกอนขึ้นอยู่กับปริมาณมูลสัตว์ที่เติมลงไป) จากนั้นตะกอนดังกล่าวจะไหลเข้าไปในคูเก็บกากตะกอน และสามารถนำกากตะกอนไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้ โดยระบบนี้ได้มาจากการวิจัยในโครงการวิจัยของผู้วิจัยก่อนหน้านี้



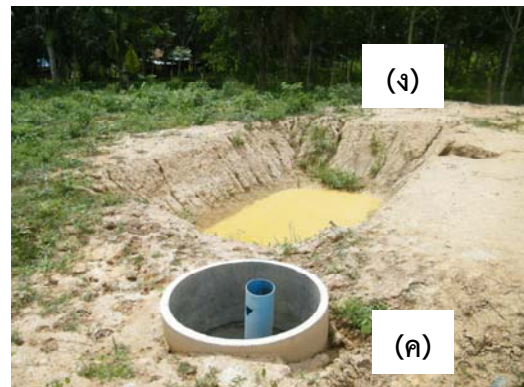
รูปที่ 4-1 บ่อดักเศษยาง



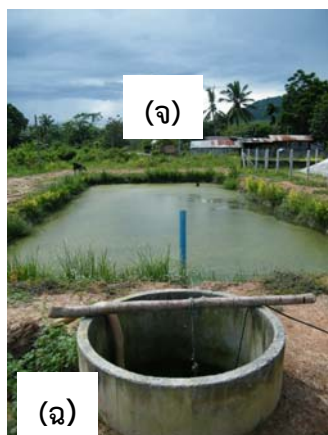
รูปที่ 4-2 บ่อรวมน้ำเสีย



รูปที่ 4-3 (ก) บ่อป้อนมูลสัตว์
(ข) บ่อหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4-4 (ค) บ่อชักกากตะกอน และ (ง) คูเก็บกากตะกอน



รูปที่ 4-5 (จ) บ่อฝัง และ (ฉ) บ่อสูบ



รูปที่ 4-6 บ่อปรับสภาพ

(2.1) ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันและอัตราการเกิดน้ำเสีย

ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตปริมาณมากซึ่งจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำยางสดที่นำมาผลิตยางแผ่น ดังนั้น ปริมาณการใช้น้ำจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ ไม่มีบันทึกข้อมูลการใช้น้ำ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการประมาณค่าอัตราการใช้น้ำจากกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการผลิตเพื่อหาปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น รายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

(1) น้ำใช้ในการผสมทำยางในตะก

$$\text{ขนาดตะก กว้าง} \times \text{ยาว} = (1.2 \text{ m}) \times (0.55 \text{ m})$$

ความสูงของน้ำที่เติมในแต่ละตะกขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ยาง โดยเฉลี่ยประมาณ 0.15 m
ดังนั้น 1 ตะก ใช้น้ำในการผลิตเท่ากับ 0.099 m^3

โดยใน 1 ตะกจะเติมน้ำยางประมาณ 120 kg (คิดเป็นน้ำหนักยางแห้งประมาณ 35 kg)

$$\text{ฉะนั้นความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้น้ำในตะก} = (0.099/120) \text{ m}^3/\text{kg น้ำยางสด}$$

$$\text{ปริมาณน้ำใช้ในการผสมยางในตะก} = 0.000825R \text{ m}^3$$

เมื่อ R คือ น้ำหนักน้ำยางสด (kg)

(2) น้ำใช้ในรางล้างลำเลียงยางจากตะกเข้าจักรรีด

$$\text{รางแช่ยาง กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} = (1 \text{ m}) \times (8.5 \text{ m}) \times (0.8 \text{ m})$$

$$= 6.8 \text{ m}^3$$

จะเติมน้ำประมาณ 80% ของความลึก (เมื่อวางยางลงไปจะเต็มพอดี)

$$= 5.44 \text{ m}^3$$

โดยมีการเติมน้ำเข้ารางอยู่เสมอระหว่างการปฏิบัติงานซึ่งประมาณการว่าเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำในราง

$$\text{ฉะนั้นน้ำที่ใช้ในรางแช่ยาง} = 5.44 \times 1.5$$

$$= 8.16 \text{ m}^3$$

(3) น้ำใช้สำหรับจักรรีด

การรีดจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ต่อ ยาง 300 แผ่น หรือ 6 ตะก (120 กก.น้ำยางสด / ตะก $\times$ 6 ตะก = 720 กก.)

$$\text{น้ำที่ปล่อยระหว่างรีด} = 34 \text{ ลิตร ต่อ นาที}$$

$$\text{ฉะนั้นน้ำใช้ในการรีดยาง} = (34 \text{ ลิตร ต่อ นาที}) \times (20 \text{ นาที} / 720 \text{ กก.น้ำยางสด}) \times R / 1,000 \text{ m}^3$$

$$= 0.944R/1000 \text{ m}^3$$

(4) น้ำใช้ส่วนอื่น ๆ เช่น ล้างถัง ล้างพื้น ล้างมือคนงาน

$$\text{ประมาณวันละ} = 1.5 \text{ m}^3$$

(5) น้ำซีรั่มจากน้ำยางสด

ในน้ำยางสดจะมีเนื้อยางประมาณ 30% และที่เหลือเป็นน้ำซีรั่ม ฉะนั้นปริมาณน้ำเสียจากส่วนนี้

$$= 0.7R/1000 \text{ m}^3$$

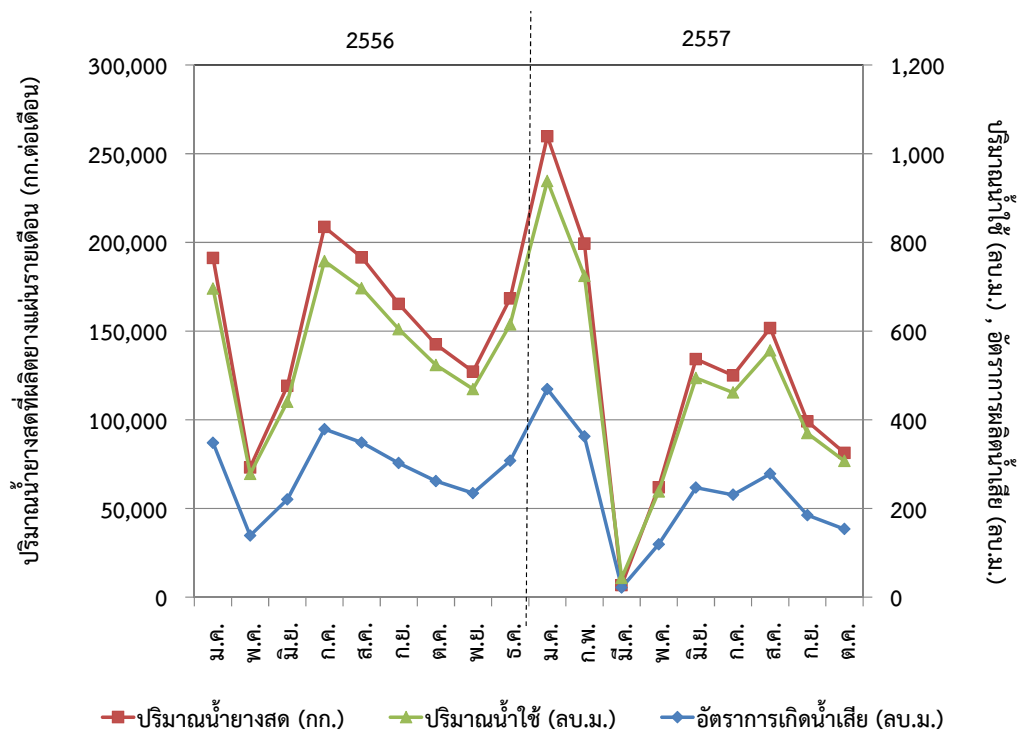
ดังนั้น อัตราการใช้ในการผลิต ควรจะมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำใช้ (m}^3\text{)} &= (1) + (2) + (3) + (4) \\ &= 0.000825R + 8.16 + 0.944R/1000 + 1.5 \\ &= 9.66 + 0.001769R \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเกิดน้ำเสีย (m}^3\text{)} &= (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \\ &= 9.66 + 0.001769R + 0.0007R \\ &= 9.66 + 0.002469R \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4-2)$$

ผลคำนวณปริมาณน้ำใช้และอัตราการเกิดน้ำเสียโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำยางสดของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ในปี พ.ศ.2556-2557 สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง มีการผลิตยางแผ่นรมควันประมาณ 200 วันต่อปี มีการหยุดผลิตยางแผ่นในช่วงฤดูยางผลัดใบ (มีนาคม-เมษายน) และในบางช่วงของฤดูฝน (กันยายน-พฤศจิกายน) เป็นต้น

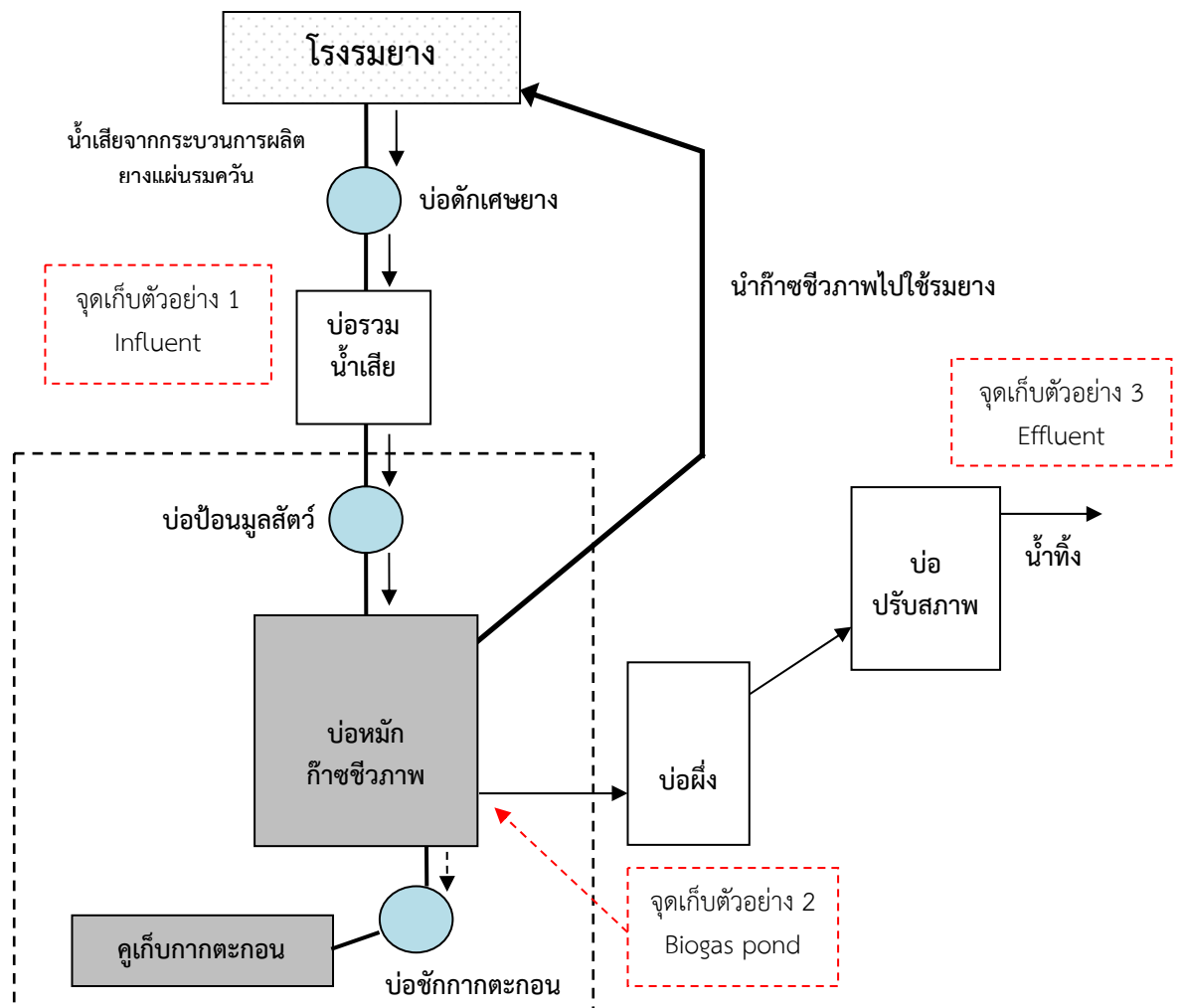
ข้อมูลปริมาณน้ำยางสดของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4-7 จะเห็นว่าในปี พ.ศ. 2556 เดือนพฤษภาคมเป็นช่วงเริ่มเปิดกรีดยางไปจนถึงเดือนกรกฎาคม แนวโน้มของปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเพิ่มสูงขึ้น ต่อมาในเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ปริมาณน้ำยางสดมีแนวโน้มลดลงเพราะเข้าสู่ช่วงฤดูฝน และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2557 ก่อนจะเข้าสู่ช่วงฤดูยางผลัดใบในเดือนมีนาคม-เมษายน และในเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2557 ปริมาณน้ำยางสดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งลดลงตั้งแต่เดือนกันยายนเพราะเข้าสู่ช่วงฤดูฝน จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสีย อีกทั้งแนวโน้มของปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในแต่ละเดือนของแต่ละรอบปีเป็นไปทิศทางเดียวกันด้วย ทั้งนี้ อัตราการเกิดน้ำเสียหรือปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดยังเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย



รูปที่ 4-7 ปริมาณน้ำยางสด และผลคำนวณปริมาณน้ำใช้และอัตราการเกิดน้ำเสีย
สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ในปี พ.ศ.2556-2557

4.2 ผลการติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง จำนวน 3 จุด ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัด ดังแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่างในรูปที่ 4-8 ถึง 4-12



รูปที่ 4-8 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียและจุดเก็บตัวอย่าง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด



รูปที่ 4-9 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (บ่อรวมน้ำเสีย)



รูปที่ 4-10 บ่อหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 4-11 บ่อฝัง (จุดเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ บริเวณเส้นประ)



รูปที่ 4-12 บ่อปรับสภาพ (บ่อสุดท้ายของระบบบำบัด)

4.2.1 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่า ร้าง จำกัด

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด
ผู้วิจัยได้ดำเนินการในระหว่างเดือนสิงหาคม 2556- สิงหาคม 2557 ดังตาราง 4-1

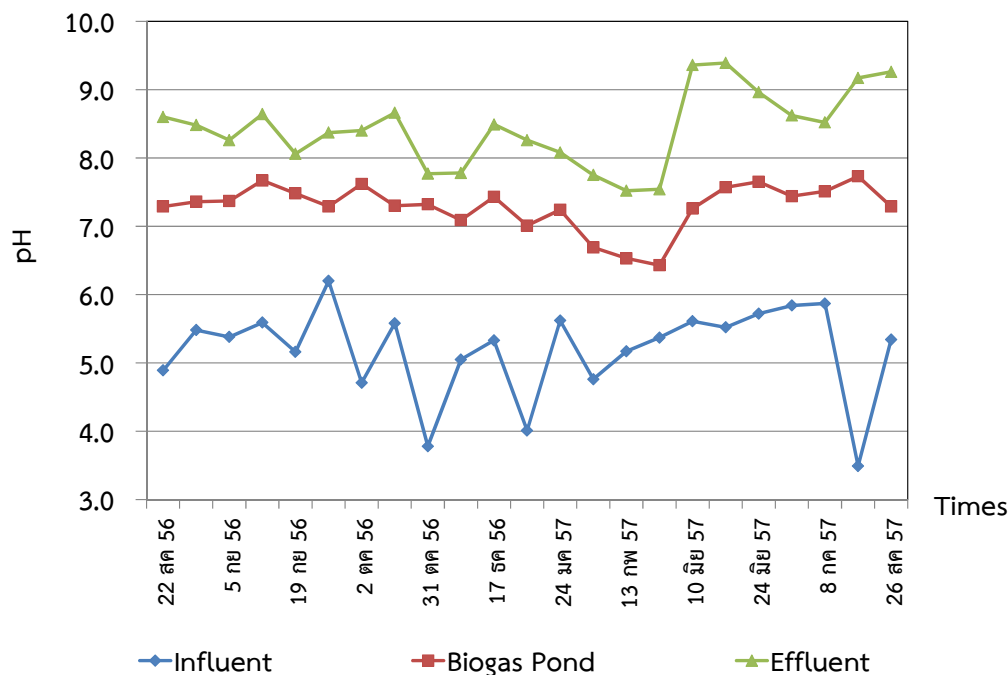
ตาราง 4-1 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง
ในระหว่างเดือนสิงหาคม 2556- สิงหาคม 2557

พารามิเตอร์	น้ำเสียกระบวนการผลิต ยางแผ่นรมควัน		น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ		น้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ	
	Avg.±SD	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD	Range
Temperature (°C)	29.6±1.6	27.0-32.0	30.0±1.7	27.0-33.3	29.9±1.7	27.0-33.3
pH	5.19±0.67	3.49-6.20	7.29±0.34	6.43-7.73	8.43±0.55	7.52-9.39
VFA (mg/L as CH ₃ COOH)	625.5±387.0	140.0-1,550.0	418.2±493.1	60.0-1,940.0	104.1±52.5	40.0-220.0
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	541.1 ±270.0	170.0-1,310.0	1,603.2 ±349.9	1,120.0-2,770.0	1,050.9 ±256.8	860.0-2,090.0
TCOD (mg/L)	3,987.9±2,064.1	1,432.5-10,432.5	1,020.7 ±401.1	166.0-1,660.00	582.0 ±226.3	254.6-941.0
SS (mg/L)	490.0±294.6	135.0-1,350.0	902.5±364.5	430.0-1,660.0	352.5±193.5	40.0-740.0
TN (mg/L)	216.2±144.6	32.0-535.0	186.9±129.3	35.0-425.0	161.0±146.4	32.5-675.0
TP (mg/L)	202.0 ±195.8	21.3-660.0	300.3± 329.5	65.0-1,445.0	256.2±267.4	37.5-962.5
TK (mg/L)	411.8±293.9	60.5-1,225.0	752.2±204.7	235.0-1,020.0	787.8 ±225.2	165.0-1,345.0

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง มี
รายละเอียด ดังนี้

(1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลของค่า pH น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน อยู่ในช่วง 3.9-6.20 เมื่อน้ำเสีย
ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในช่วง 6.43-7.73 โดยค่า
pH ในช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำ
เสียแบบไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 2004) คือ ช่วง 6.5-7.5 ขณะที่ค่า pH ในน้ำทิ้งจากบ่อปรับ
สภาพมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผ่านการบำบัดจากบ่อฝัง มีค่าอยู่ในช่วง 7.52-9.39 ดังรูปที่ 4-13 โดยเมื่อ
เทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3
(พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 5.5-9.0 พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของ
สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ผ่านค่ามาตรฐานดังกล่าว

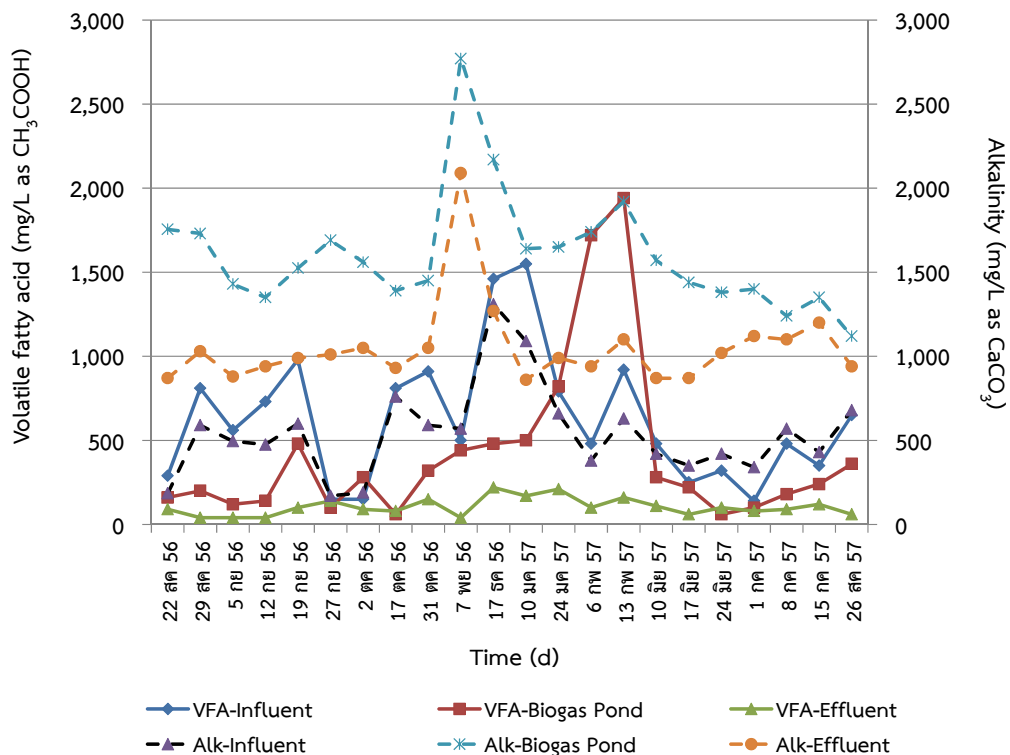


รูปที่ 4-13 ค่า pH ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

(2) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) และสภาพด่าง (Alkalinity)

ผลของค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน มีค่าอยู่ในช่วง 140.0-1,550.0 mg/L as CH_3COOH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 625.5 mg/L as CH_3COOH เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่าความเข้มข้นของ VFA มีค่าลดลง อยู่ในช่วง 60.0-1,940.0 mg/L as CH_3COOH และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 418.2 mg/L as CH_3COOH ซึ่งค่าความเข้มข้นของ VFA ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ และพบว่ามีความเพิ่มสูงขึ้นในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2557 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำยางสดและปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน นั้นแสดงว่าในบ่อหมักก๊าซชีวภาพมีการย่อยสลาย VFA เพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ โดยการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน ขณะที่ค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพมีค่าอยู่ในช่วง 40.0-220.0 mg/L as CH_3COOH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 104.1 mg/L as CH_3COOH

เมื่อพิจารณาช่วงค่าที่เหมาะสมของความเข้มข้นของ VFA ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH และค่ายอมรับได้สูงสุดประมาณ 2,000 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุทมนสินโรจน์, 2543) พบว่าค่าความเข้มข้นของ VFA จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดไม่เกิน 2,000 mg/L as CH_3COOH ซึ่งสภาพแวดล้อมภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพยังอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 ค่า VFA และ Alkalinity ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

ผลของค่า Alkalinity ในน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 170.0-1,310.0, 1,120.0-2,770.0 และ 860.0-2,090.0 mg/L as CaCO_3 ตามลำดับ เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า Alkalinity มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีโปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำทำให้เกิดการย่อยสลายให้แอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนีย (NH_3) สามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ดังสมการ (3-3) อีกทั้งช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และช่วยลดสภาพความเป็นกรดเนื่องจาก VFA อีกทั้งถ้าในน้ำทิ้งมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์จะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตที่ทำปฏิกิริยากับ VFA จากขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ และได้แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งจะถูกละลายด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับมาในระบบ (Leslie Grady *et al.*, 1999) ดังสมการ (4-4) ถึง (4-6) ทั้งนี้ ตลอดระยะเวลาในการติดตามคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง พบว่าค่า Alkalinity ของน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 1,120.0-2,770.0 mg/L as CaCO_3 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่

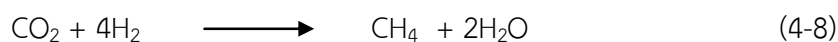
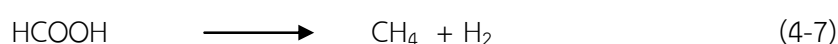
เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ คือ ช่วง 1,000-5,000 mg/L as CaCO₃ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) ดังรูปที่ 4-14



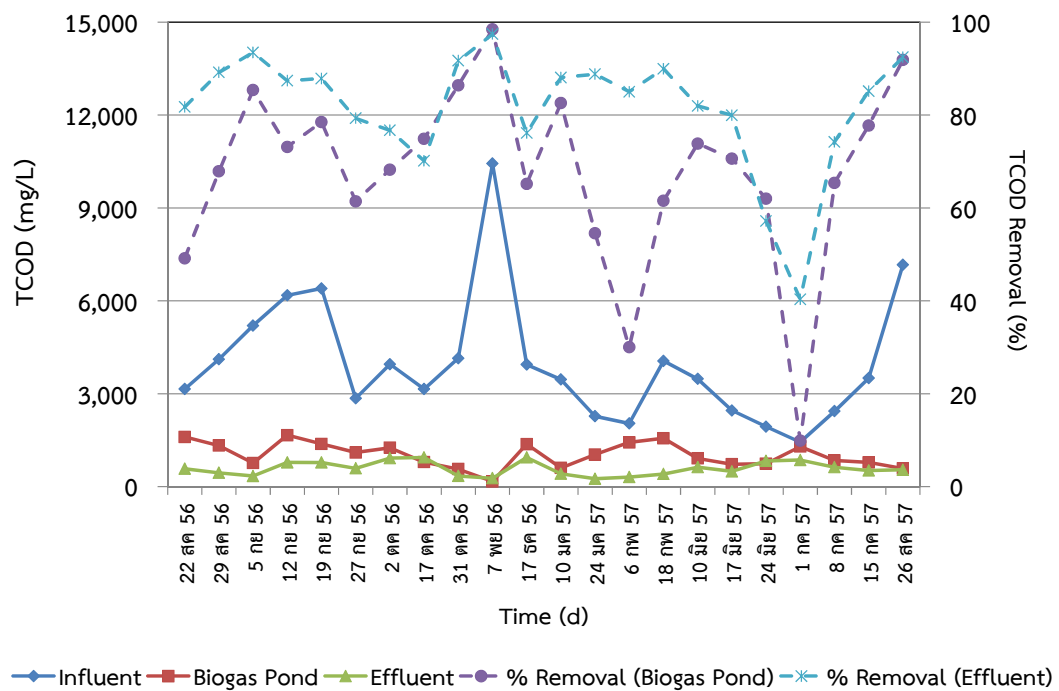
เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alk) โดยคำแนะนำของอัตราส่วนดังกล่าวควรน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำควรหาแนวทางแก้ไขโดยเร็วเพราะค่า pH อาจลดลงจนระบบอาจล้มเหลวได้ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2546) สำหรับค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alk) ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.50 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพยังทำงานได้ดี

(3) ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD)

ผลของค่า TCOD ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันอยู่ในช่วง 1,432.5-10,432.5 mg/L เฉลี่ย 3,987.9 mg/L และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่า TCOD ลดลงอยู่ในช่วง 166.0-1,660.0 mg/L เฉลี่ย 1,603.2 mg/L จากนั้นเมื่อน้ำทิ้งผ่านการบำบัดจากบ่อฝั่มและบ่อปรับสภาพ พบว่าค่า TCOD ในน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพลดลงมีค่าอยู่ในช่วง 254.6-941.0 mg/L เฉลี่ย 582.0 mg/L โดยคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพ ร้อยละ 67.7 และ 81.5 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-15 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เพิ่มขึ้นเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพตามลำดับ โดย TCOD ที่หายไปในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย คือ กรดฟอร์มิก (HCOOH) ไปเป็นก๊าซมีเทน (CH₄) ดังสมการ (4-7) นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic Methanogens) ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทนหรือเรียกว่าแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H₂ Utilizer) ดังสมการ (4-8)



เมื่อพิจารณาเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 120 mg/L หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 mg/L พบว่า ค่า TCOD ของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ ยังไม่ผ่านค่ามาตรฐาน แต่ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ ไม่ได้ปล่อยน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายออกสู่สาธารณะ แต่ได้สูบน้ำทิ้งไปรดสวนยางพาราที่อยู่ใกล้กับสหกรณ์ฯ โดยจากผลการศึกษาของ สายัณห์ สดุดี และคณะ (2548) พบว่า แพลงยางพาราที่ได้รับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดของสหกรณ์ฯ (ประมาณสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง) จะให้ปริมาณน้ำยางสดสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้รับน้ำทิ้ง และมีแนวโน้มของ ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC) เพิ่มขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้การให้น้ำต้องคำนึงถึงปัจจัยความชื้นในดิน ปริมาณที่ให้ ความถี่ และคุณภาพของน้ำที่ใช้



รูปที่ 4-15 ค่า TCOD ของน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ และประสิทธิภาพการบำบัด สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

(4) ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

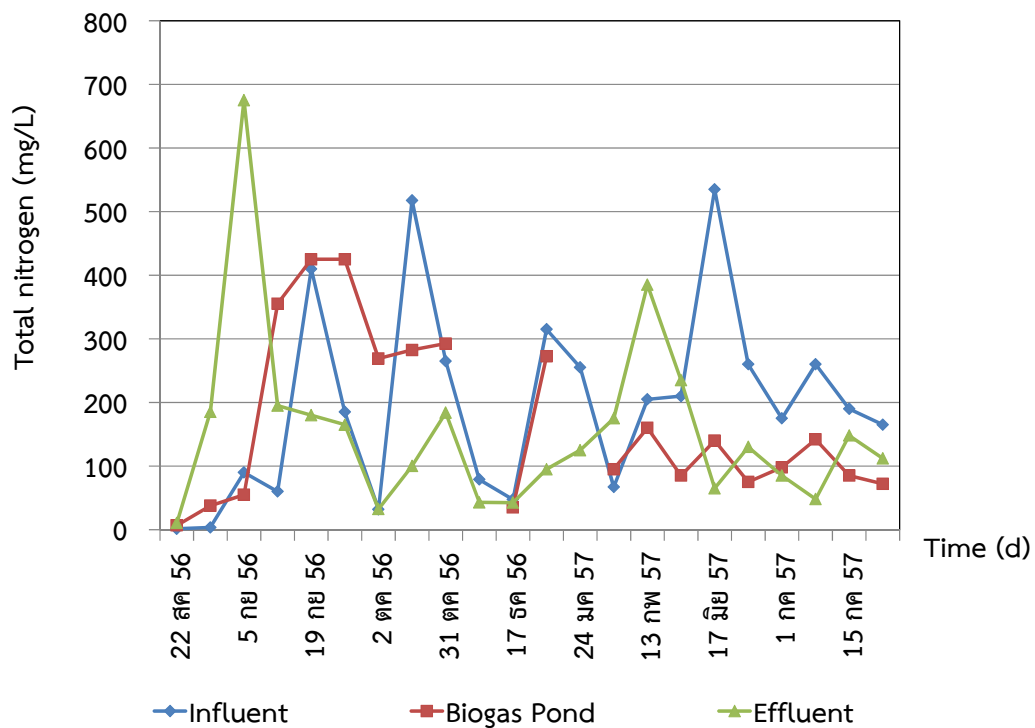
ผลค่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีค่าอยู่ในช่วง 135.0-1,350.0 mg/L เฉลี่ย 490.0 mg/L เมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าความเข้มข้น SS อยู่ในช่วง 430.0-1,660.0 mg/L เฉลี่ย 902.5 mg/L ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากในบ่อหมักก๊าซชีวภาพมีตะกอนจุลินทรีย์อยู่จำนวนมากและก๊าซชีวภาพบางส่วนในบ่อหมักก๊าซชีวภาพอาจจะยกดันขึ้นตะกอนจุลินทรีย์ให้หลุดออกมากับน้ำทิ้ง ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพมีค่าอยู่ในช่วง 40.0-740.0 mg/L เฉลี่ย 352.2 mg/L และเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 50 mg/L หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 mg/L พบว่า ค่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ ยังไม่ผ่านค่ามาตรฐาน เนื่องจากมีสาหร่ายเจริญเติบโตในบ่อสุดท้ายและมีตะกอนที่เกิดจากการย่อยสลายของสาหร่ายซึ่งสามารถใช้เป็นสารอาหารให้กับพืชได้ด้วย

(5) สารอาหารพืช

ผลตรวจวิเคราะห์สารอาหารพืชในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP) และโพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium : TK) เพื่อประกอบการพิจารณาการนำน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์

(5.1) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

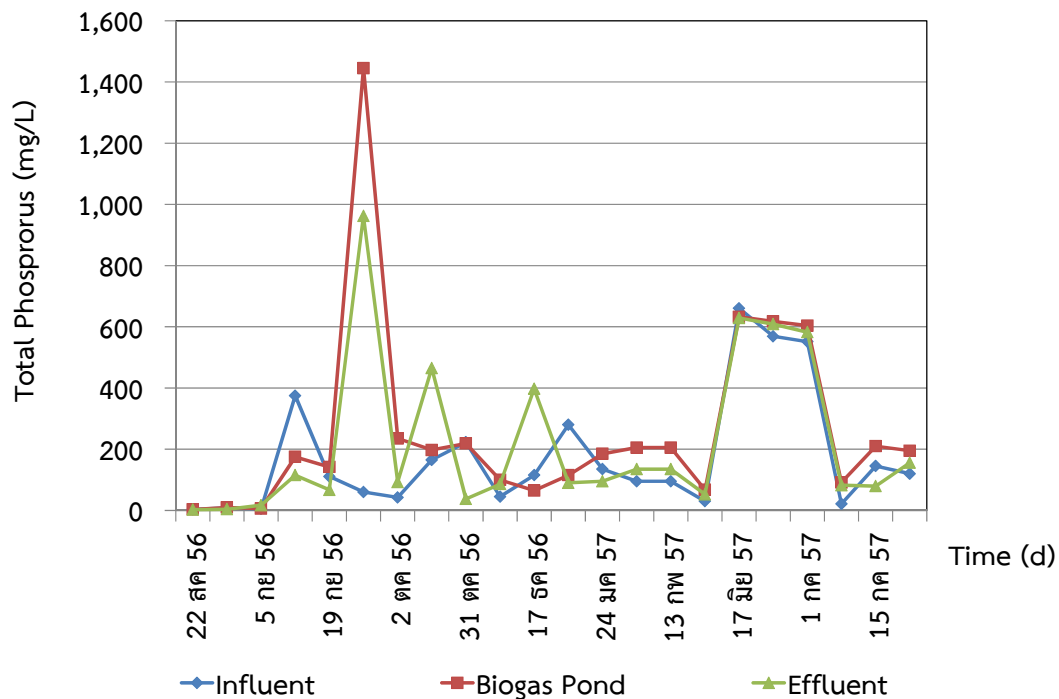
ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพและน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 32.0-535.0, 35.0-425.0 และ 32.5-675.0 mg/L ตามลำดับ โดยเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพจะมีค่าความเข้มข้นของ TN ลดลงเพียงเล็กน้อย เฉลี่ยเท่ากับ 186.9 และ 161.0 mg/L ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-16 คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 54.4 และ 59.8 ตามลำดับ ทั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ โดย TN ที่หายไปบางส่วนนั้นเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียสามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ อีกทั้งจุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่



รูปที่ 4-16 ค่า TN ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

(5.2) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

ผลวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพและน้ำทิ้งจากบ่อปรับสภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 21.3-660.0, 65.0-1,445.0 และ 37.5-962.5 mg/L ตามลำดับ โดยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะมีค่า TP สูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ และลดลงเล็กน้อยเมื่อผ่านการบำบัดจากบ่อปรับสภาพ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 300.3 และ 256.2 mg/L ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-17 ทั้งนี้ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัดสารอาหารฟอสได้ แต่อย่างไรก็ตามในน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพมี TP เหลืออยู่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งสารอาหารของพืชได้

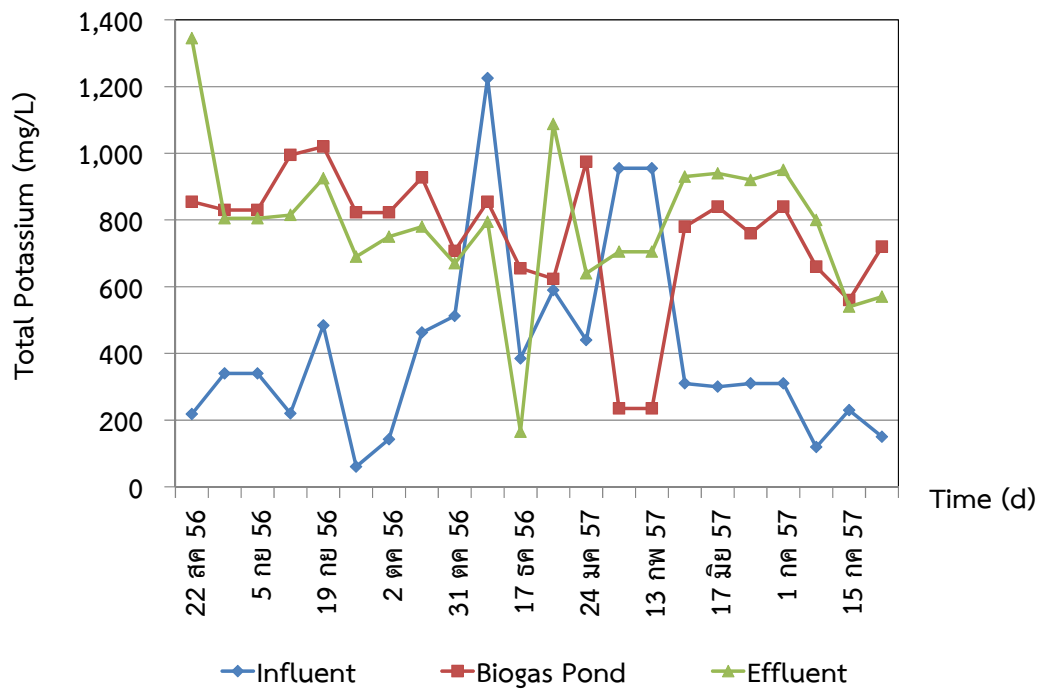


รูปที่ 4-17 ค่า TP ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

(5.3) โพแทสเซียมทั้งหมด (Total Potassium : TK)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมทั้งหมด ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 60.5-1,225.0, 235.0-1,020.0 และ 165.0-1,345.0 mg/L ตามลำดับ โดยเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพ พบว่าค่า TK มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 752.2 และ 787.8 mg/L ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-18

ดังนั้น ผลวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารพืชในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดมีปริมาณธาตุอาหาร ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และโพแทสเซียมทั้งหมด (TK) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำพืชได้ ซึ่งเมื่อประเมินที่อัตราน้ำทิ้งจากระบบที่ร้อยละ 80 ของน้ำเสียเข้าระบบ (เท่ากับ $0.8 \times 15 = 12$ ลบ.ม.ต่อวัน) ทำให้ทดแทน ไนโตรเจน (TN) ฟอสฟอรัส (TP) และโพแทสเซียม (TK) ได้เฉลี่ย 1,932, 3,074 และ 9,454 g/d ตามลำดับ



รูปที่ 4-18 ค่า TK ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อปรับสภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

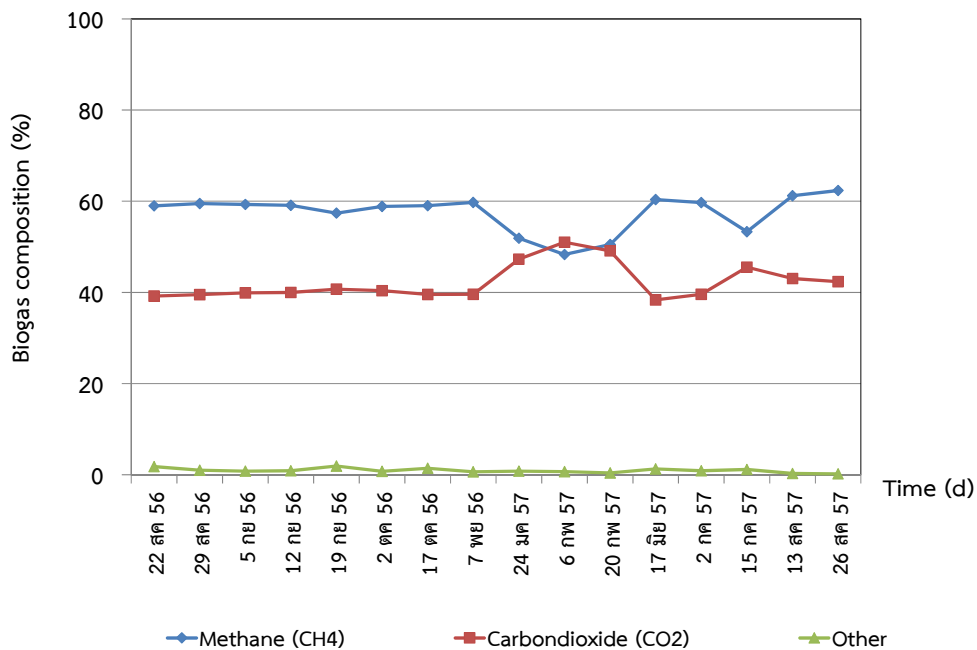
3.2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

ผลตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Portable Gas Analyser ยี่ห้อ Geotech รุ่น Biogas Check โดยตรวจวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพบริเวณท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเตาไม้ฟืน ดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-19 จุดตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพบริเวณท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพก่อนเข้าเตาไม้ฟืน

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง พบว่า ก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) เฉลี่ยร้อยละ 57.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เฉลี่ย ร้อยละ 42.2 และก๊าซอื่นๆ เฉลี่ยร้อยละ 0.9 และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพตลอด ระยะเวลาของการเก็บข้อมูลจะเห็นว่าค่อนข้างคงที่ และเริ่มลดลงช่วงปลายเดือนมกราคม 2557 เนื่องจากในเดือนมกราคมมีปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตสูงกว่าในเดือนอื่นๆ ซึ่งเป็นการ เพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate ; OLR) ให้กับระบบบำบัด ดังรูปที่ 4-7 ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนลดลง จากนั้นเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งใน เดือนมิถุนายน เป็นช่วงการผลิตยางแผ่นรมควันหลังฤดูยางผลัดใบ ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในบ่อ หมักก๊าซชีวภาพสามารถฟื้นตัวได้ดีหลังหยุดเดินระบบไปในช่วงฤดูยางผลัดใบเป็นเวลา 2-3 เดือน อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนยังมีค่าสูงกว่าร้อยละ 45 ซึ่งจะจุดไฟติด ขณะที่ก๊าซออกซิเจนและ ก๊าซอื่นๆ มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูปที่ 4-20



รูปที่ 4-20 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

4.2.3 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

การตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ระบบท่อวัดก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ 4-21 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ดังตาราง 4-2 ทั้งนี้ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้เฉลี่ย 13.2 m³/ton น้ำยางสด หรือ 4.05 m³/ m³ น้ำเสีย ทั้งนี้ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นสำคัญ และค่าที่วัดได้อาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในบ่อจากน้ำเสียของวันก่อนหน้าที่เก็บข้อมูลซึ่งมีปริมาณการผลิตมากเพราะจากการประเมินทางทฤษฎี พบว่า น้ำเสีย 1 m³ ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันมี COD ประมาณ 4,000-5,000 mg/L โดยเฉลี่ย ซึ่งจะทำได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 1.60-1.75 m³/ m³ น้ำเสีย

ตาราง 4-2 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

ครั้งที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m ³)	ปริมาณน้ำยางสด (kg)	ปริมาณน้ำเสีย* (m ³)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (m ³ /ton น้ำยางสด)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ** (m ³ / m ³ น้ำเสีย)
1	135.0	13,485.5	42.96	10.01	3.14
2	144.0	11,631.5	38.38	12.38	3.75
3	169.0	12,360.5	40.18	13.67	4.21
4	199.0	11,867.7	38.96	16.77	5.11

หมายเหตุ : *คำนวณจากสมการ (4-2)

**ค่าที่รายงานอาจอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูงจากน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อในวันก่อนหน้าที่เก็บข้อมูล





รูปที่ 4-21 การติดตั้งและตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ระบบท่อชุดก๊าซชีวภาพ ณ บ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

4.2.4 ผลการติดตามข้อมูลการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืน

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการใช้ก๊าซชีวภาพในการรวมคว้นอย่างร่วมกับไม้ฟืนอย่างต่อเนื่องจากโครงการวิจัยในปีที่ 1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไม้ฟืนและต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ (1) ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง จะใช้เวลาในการรวมยาง 1-4 วัน และ (2) ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง โดยในวันที่ 1 ของการรวมจะใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว ต่อมาในวันที่ 2-4 ของการรวมคว้น จะใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพ โดยจะลดปริมาณไม้ฟืนลงครึ่งหนึ่งของการรวมยางวันที่ 1 และใช้ก๊าซชีวภาพผสมร่วมกันจนกระทั่งยางสุก ทั้งนี้การลดปริมาณไม้ฟืนนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณยางแผ่นในหลอม

4.2.4.1 วิธีเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืน

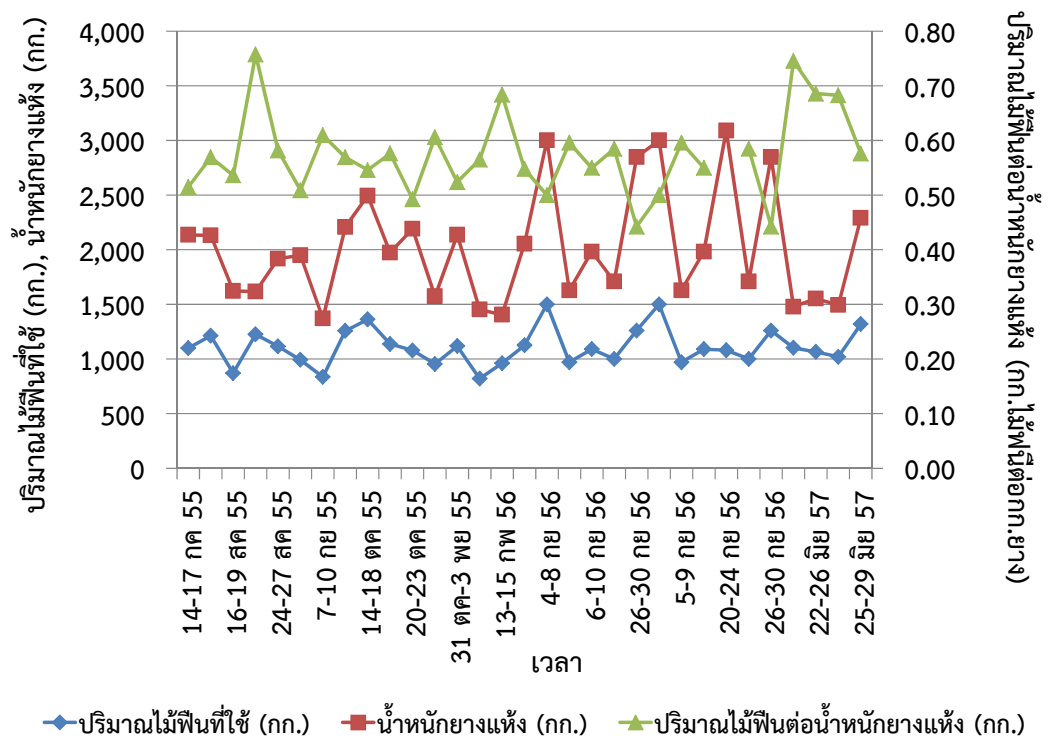
การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนใช้วิธีชั่งน้ำหนักไม้ฟืนที่ใช้ในการรวมยาง และชั่งน้ำหนักยางแผ่นรมควันต่อรอบการรวมยาง จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าปริมาณไม้ฟืนที่ใช้ต่อน้ำหนักยางแผ่นรมควัน มีหน่วยเป็น kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน

4.2.4.2 ผลปริมาณการใช้ไม้ฟืนในการรวมยาง

ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนในการรวมยางของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง มีรายละเอียดดังนี้

(1) ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง

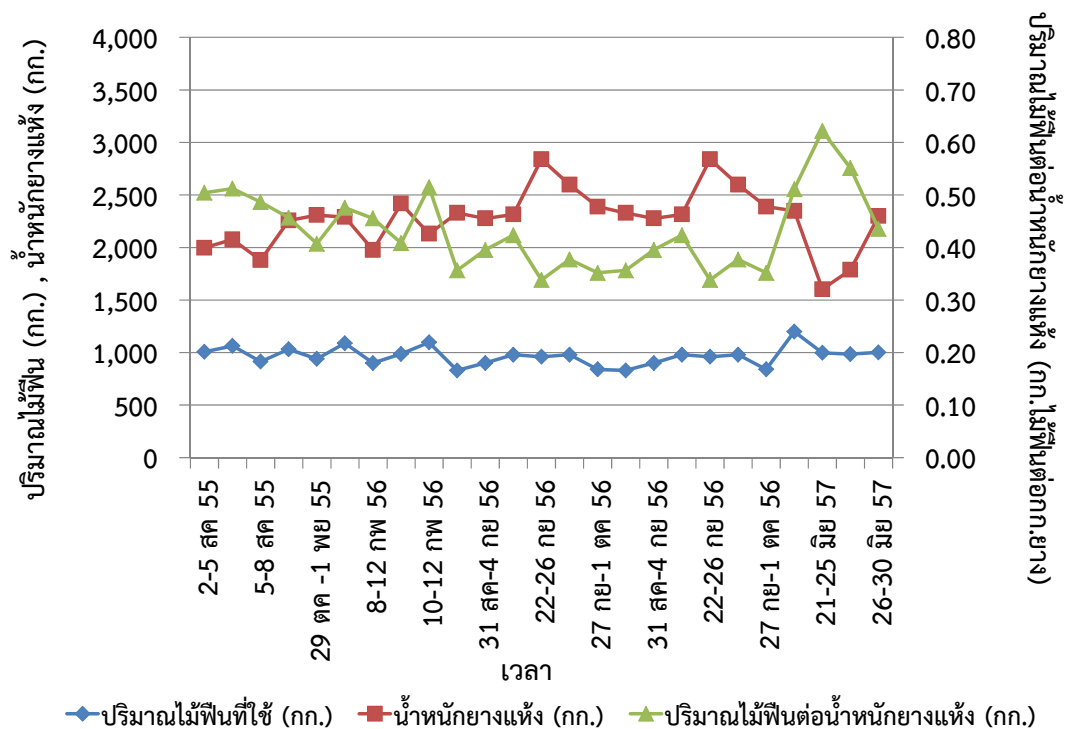
ผลปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรวมยาง มีปริมาณการใช้ไม้ฟืนต่อรอบการรวมยางค่าอยู่ในช่วง 821-1,500 kg ไม้ฟืน/รอบการรวมยาง ในขณะที่น้ำหนักยางแผ่นรมควันมีความผันแปรค่อนข้างสูงเช่นกันอยู่ในช่วง 1,500-3,000 kg เมื่อคำนวณปริมาณการใช้ไม้ฟืน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.76 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน ดังรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 ปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรรมยาง

(2) ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณการใช้ไม้ฟืนอยู่ในช่วง 0.34-0.62 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.43 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน โดยปริมาณการใช้ไม้ฟืนตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างคงที่ และมีค่าอยู่ในช่วง 830-1,200 kg ไม้ฟืน/รอบการรรมยาง นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ไม้ฟืนขณะรรมยางร่วมกับก๊าซชีวภาพค่อนข้างคงที่ว่าการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการรรมยางแผ่นเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 4-23



รูปที่ 4-23 ปริมาณการใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง

4.2.4.3 ต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน

ปริมาณการใช้ไม้พินในกรณี (1) ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว และ (2) ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพ พบว่ามีปริมาณการใช้ไม้พินเฉลี่ย 0.57 และ 0.43 กก ไม้พิน/kg ยางแผ่นรมควันตามลำดับ โดยการใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณการใช้ไม้พินน้อยกว่าการใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว เฉลี่ย 0.14 กก ไม้พิน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน (เมื่อคำนวณที่ราคาไม้พิน 1 บาท/kg) และสัดส่วนที่ประหยัดได้ประมาณ 25%

4.2.4.4 ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควัน

ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับมาตรฐานของยางแท่ง STR 10 เพราะไม่มีมาตรฐานของยางแผ่นรมควันดังตาราง 4-3 พบว่า ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทุกพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และมีความแตกต่างกับยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูปที่ 4-24



รูป 4-24 (ก) ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง
(ข) ยางแผ่นที่รมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง

ตาราง 4-3 ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง และยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พินร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง (ค่าเฉลี่ยจาก 2 ครั้ง ในเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน 2557)

รายการ	ผลการทดสอบ								
	ปริมาณสิ่งสกปรก (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสิ่งระเหย (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณเถ้า (% โดยน้ำหนัก)	ปริมาณ ไนโตรเจน (% โดยน้ำหนัก)	ความอ่อนตัว เริ่มแรก (P ₀)	ดัชนี ความอ่อนตัว (P ₀)	ความหนืด ML (1+4) 100°C	สี	ปริมาณที่ถูกสกัด ด้วยอะซิโตน (%โดยน้ำหนัก)
ยางแผ่นที่รมด้วย ไม้พิน	0.018	0.55	0.28	0.38	47.0	94.7	76.6	8.5	3.71
ยางแผ่นที่รมด้วย ไม้พินร่วมกับก๊าซ ชีวภาพ	0.019	0.66	0.30	0.39	48.0	93.8	74.1	8.5	3.41
ความไม่แน่นอน (U _c)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
วิธีทดสอบ มาตรฐาน SMR:Bulletin No.7-1992	Part B.4	Part B.5	Part B.6	Part B.7	Part B.8	Part B.8	Part B.9	Part B.10	-
มาตรฐานยางแท่ง STR 10*	Max = 0.08	Max = 0.80**	Max = 0.60	Max = 0.60	Min = 30	Min = 50	-	สีน้ำตาล	-

หมายเหตุ : *มาตรฐานของยางแท่ง STR 10

**มาตรฐานของปริมาณสิ่งระเหยมีค่าสูงสุดไม่เกินร้อยละ 0.80

4.2.5 ศึกษาเงื่อนไข ข้อจำกัด ปัญหา ความปลอดภัยในการใช้งาน รูปแบบและการใช้เตาที่เหมาะสม

สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด มีเตาไม้ฟืนจำนวน 4 เตา ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.5 m x 1.5 m x 1.37 m ประตุนเตาขนาด 0.8 m x 0.9 m ดังรูปที่ 4-25

ผลการสำรวจเตาไม้ฟืนพบว่าสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเตาไม้ฟืน และยังใช้เตาไม้ฟืนแบบเดิมกับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ร่วมกับไม้ฟืน โดยมีวิธีการดังนี้

1. นำท่อเหล็กเข้าเตาไม้ฟืนผ่านช่องสี่เหลี่ยมที่บานประตูเพื่อความสะดวกในการนำท่อก๊าซชีวภาพไปในเตา ดังรูปที่ 4-26
2. เปิดวาล์วก๊าซชีวภาพ จุดไฟที่ปลายท่อเหล็กไปจ่อรวมไว้ที่กองไม้ฟืน และปิดประตุนเตา (ใช้ก๊าซชีวภาพในวันที่ 2 ของการรมยางจนยางสุก)
3. ปิดวาล์วท่อก๊าซชีวภาพทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ ดังรูปที่ 4-27

ผู้วิจัยได้แนะนำข้อควรระวังกับทางสหกรณ์ฯ ขณะใช้ก๊าซชีวภาพ ดังนี้

1. ตรวจสอบท่อเหล็กที่นำเข้าเตาไม้ฟืน เนื่องจากอาจมีขี้เถ้าเข้าไปอุดตันในเส้นท่อจนอาจเป็นสาเหตุให้ก๊าซชีวภาพไม่สามารถไหลออกมาได้
2. ขณะโกยขี้เถ้าที่เหลืจากการเผาไหม้ไม้ฟืน ถ้าขี้เถ้ายังร้อนอยู่ควรระมัดระวังไม่ให้โดนท่อพีวีซีที่เชื่อมต่อกับท่อเหล็กเพื่อป้องกันการหลอมเหลวของท่อพีวีซี
3. ระวังการควบนั่นของน้ำในท่อลำเลียงก๊าซก่อนเข้าเตา ควรเปิดระบายเป็นครั้งคราว



รูปที่ 4-25 ประตูเตาไม้ฟืนบริเวณที่เจาะรูสำหรับนำท่อลำเลียงก๊าซชีวภาพเข้าไปในเตาไม้ฟืน



รูปที่ 4-26 ท่อพีวีซีเชื่อมต่อกับท่อเหล็กเข้าเตาไม้ฟืน (ท่อเหล็กยาวประมาณ 1-2 เมตร)



รูปที่ 4-27 วาล์วควบคุมการนำก๊าซชีวภาพเข้าเตาหมัก

4.3 ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

การทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) และการหมัก WW ร่วมกับมูลสุกร (PM) ที่ 1% TS, 2% TS และ 3% TS ตามลำดับ รวม 4 ชุดการทดลอง เดินระบบภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน, 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน ตามลำดับ มีผลการทดลองเดินระบบ ดังนี้

(1) ค่าพีเอช (pH)

ค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ (1) WW, (2) 1% TS-PM+WW, (3) 2% TS-PM+WW และ (4) 3% TS-PM+WW ดังแสดงในตาราง 4-4

เมื่อพิจารณาค่า pH ของน้ำเสียเข้าระบบฯ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ค่า pH ของน้ำเสียในชุดการทดลองที่ 1 : WW มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ 2 : 1% TS-PM+WW, 3 : 2% TS-PM+WW และ 4 : 3% TS-PM+WW ตามลำดับ เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 2-4 มีการเติมมูลสุกรที่สัดส่วนต่างๆ มีผลให้คุณสมบัติของค่า pH และ TCOD มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็งที่เพิ่มสูงขึ้น (%TS)

เมื่อพิจารณาค่า pH ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบฯ ในการทดลองเดินระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ผลการเดินระบบที่ HRT 35 วัน ค่า pH มีแนวโน้มลดลงช่วง 12 วันแรกของการเดินระบบ ซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์กำลังปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย และหลังจากวันที่ 26 ค่า pH ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นในวันที่ 40-71 ของการเดินระบบ ค่า pH ในน้ำทิ้งค่อนข้างคงที่จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว รวมเวลาในการเดินระบบฯ จำนวน 77 วัน โดยค่า pH ในน้ำทิ้งเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 6.98, 6.99, 7.01 และ 6.97 ตามลำดับ

ตาราง 4-4 ค่า pH ของน้ำเสีย และน้ำทิ้งของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

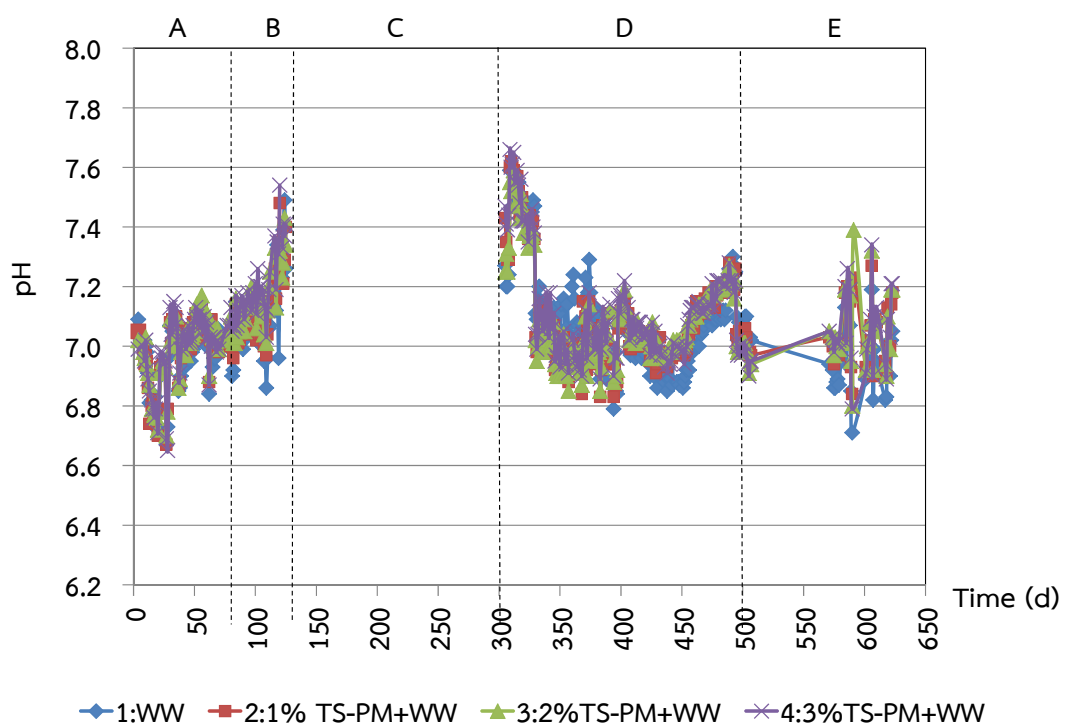
Treatment	Influent		Effluent	
	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD
HRT 35 d				
1 : WW	5.36-6.38	5.78±0.47	6.67-7.58	6.98±0.11
2 : 1% TS-PM+WW	5.64-7.03	6.22±0.49	6.70-7.63	6.99±0.13
3 : 2% TS-PM+WW	5.75-7.12	6.35±0.46	6.65-7.69	7.01±0.15
4 : 3% TS-PM+WW	5.82-7.16	6.35±0.46	6.67-7.63	6.97±0.13
HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	3.35-5.54	5.16±0.63	6.86-7.49	7.07±0.13
2 : 1% TS-PM+WW	4.12-5.61	5.42±0.45	6.96-7.48	7.11±0.12
3 : 2% TS-PM+WW	4.75-5.86	5.70±0.33	7.01-7.43	7.15±0.11
4 : 3% TS-PM+WW	5.00-5.91	5.75±0.27	7.03-7.54	7.19±0.11
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	3.51-6.92	5.29±0.64	6.79-7.59	7.09±0.19
2 : 1% TS-PM+WW	4.42-7.17	6.07±0.65	6.83-7.62	7.08±0.19
3 : 2% TS-PM+WW	4.74-7.17	6.22±0.51	6.85-7.59	7.08±0.17
4 : 3% TS-PM+WW	5.08-7.11	6.25±0.41	6.89-7.66	7.11±0.18
HRT 25 d				
1 : WW	5.26-6.99	6.08±0.52	6.23-7.30	6.99±0.18
2 : 1% TS-PM+WW	5.80-7.00	6.47±0.36	6.84-7.28	7.06±0.11
3 : 2% TS-PM+WW	6.09-7.06	6.60±0.25	6.80-7.39	7.06±0.13
4 : 3% TS-PM+WW	6.14-7.04	6.67±0.22	6.79-7.77	7.07±0.16

ผลการเดินระบบฯ ภายใต้ค่า HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเดินระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์ทำงานได้ดีกับน้ำเสียและของเสียในชุดการทดลองต่างๆ แม้ว่าจะลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ให้สั้นลง และใช้เวลาในการเดินระบบภายใต้ค่า HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) เป็นเวลา 60 วัน โดยค่า pH ในน้ำทิ้งเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 7.07, 7.11, 7.15 และ 7.19 ตามลำดับ จากนั้นได้เข้าสู่ช่วงฤดูยางผลัดใบเป็นช่วงที่เกษตรกรหยุดกรีดยางทำให้สหกรณ์ฯ หยุดผลิตยางแผ่นรมควันและไม่มีน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลาดังกล่าว

ผลการเดินระบบฯ ภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) พบว่า 25 วันหลังเริ่มฟื้นตัวเดินระบบอีกครั้ง ค่า pH ในน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 7.2-7.6 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถฟื้นตัวได้ดี และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบได้ ใช้เวลาเดินระบบทั้งหมดเป็นเวลา 184 วัน (วันที่ 488 ของการเดินระบบรวม) โดยค่า pH ในน้ำทิ้งเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 7.09, 7.08, 7.08 และ 7.11 ตามลำดับ

ผลการเดินระบบฯ ภายใต้ค่า HRT 25 วัน พบว่า ค่า pH เฉลี่ยในน้ำทิ้งใน 20 วันแรกของการเดินระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองมีค่าสูงกว่า 7.2 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี และในระหว่างเดินระบบทดลองได้หยุดเดินระบบไประยะหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4-28 แต่เมื่อกลับมาเดินระบบอีกครั้งจะเห็นว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งยังอยู่ในช่วง 6.7-7.3 บ่งชี้ว่าจุลินทรีย์ในระบบสามารถทำงานได้ดีอยู่ในช่วงค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างมีเทน โดยค่า pH ในน้ำทิ้งเฉลี่ยของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 6.99, 7.06, 7.06 และ 7.07 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบค่า pH ในน้ำทิ้งจากการทดลองเดินระบบฯ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ทั้ง 4 ชุดการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า pH ในน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Metcalf and Eddy, 2004)



หมายเหตุ : A คือ HRT 35 วัน, B คือ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)
C คือ หยุดเดินระบบ, D คือ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)
E คือ HRT 25 วัน

รูปที่ 4-28 ค่า pH ของน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ทั้ง 4 ชุดการทดลองภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

(2) การกำจัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD Removal)

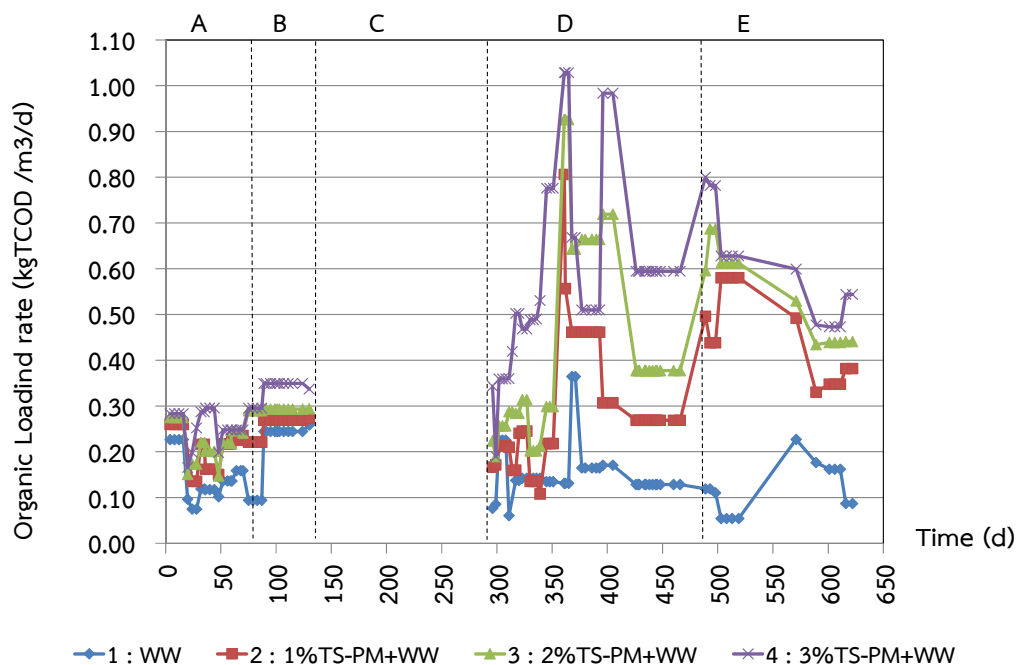
ค่า TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้การเดินระบบฯ ที่ HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังแสดงใน ตาราง 4-5

ตาราง 4-5 ค่า TCOD ของน้ำเสีย น้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

ชุดการทดลอง	Influent		Effluent		TCOD Removal (%)
	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD	
HRT 35 d					
1 : WW	2,615.0-7,925.0	5,156.8±2,092.1	254.0-1,130.0	533.8±259.3	84.4
2 : 1% TS-PM+WW	4,740.0-9,095.0	6,938.1±1,828.0	700.0-1,200.0	821.3±142.2	93.6
3 : 2% TS-PM+WW	5,160.0-9,615.0	7,502.9±1,633.1	686.0-1,321.0	964.7±218.4	90.0
4 : 3% TS-PM+WW	5,805.0-10,342.5	9,180.3±1,564.0	702.0-1,450.0	1,007.8±227.3	86.9
HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)					
1 : WW	3,290.0-9,050.0	7,180.7 ±2,431.8	270.0-1,020.0	515.7 ±201.3	88.0
2 : 1% TS-PM+WW	7,740.0-9,540.0	8,980.7 ±775.0	446.0-1,546.0	934.1 ±299.4	93.1
3 : 2% TS-PM+WW	10,140.0-10,290.0	10,228.3 ±55.8	110.0-1,451.0	858.1 ±357.1	94.6
4 : 3% TS-PM+WW	10,340.0-12,225.0	11,694.0 ±852.1	270.0-1,640.0	963.3 ±401.4	93.4
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)					
1 : WW	1,760.0-10,625.0	4,448.8 ±1,702.2	56.0-1,231.0	379.6 ±258.7	87.1
2 : 1% TS-PM+WW	3,145.0-16,235.0	8,296.0 ±3,496.8	188.0-9,750.0	970.2 ±1,623.2	94.7
3 : 2% TS-PM+WW	5,525.0-27,000.0	12,514.9±6,208.8	296.0-9,250.0	975.9 ±1,383.2	94.9
4 : 3% TS-PM+WW	5,540.0-30,000.0	17,411.6 ±5,742.6	568.0-10,875.0	1,402.8 ±1,697.0	93.6
HRT 25 d					
1 : WW	1,357.5-5,670.0	2,907.9 ±1,373.4	212.0-1,988.0	593.7±458.7	84.8
2 : 1% TS-PM+WW	8,260.0-14,500.0	11,286.4 ±2,469.6	404.0-1,895.0	854.6 ±404.6	94.5
3 : 2% TS-PM+WW	10,850.0-17,175.0	13,535.7 ±2,487.8	528.0-3,905.0	1,328.2 ±1,007.3	95.2
4 : 3% TS-PM+WW	11,830.0-20,000.0	15,107.1 ±2,931.2	508.0-8,970.0	1,928.5 ±2,226.3	94.3

เมื่อพิจารณาค่า TCOD ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 : WW มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด ขณะที่ในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่า TCOD เฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด (1%TS, 2%TS และ 3%TS) ของมูลสุกร ในน้ำเสียเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์หรืออัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ดังตาราง 4-6 แต่จะสังเกตว่าน้ำเสียที่เก็บมาจากสหรณในแต่ละช่วงมีความสกปรกไม่สม่ำเสมอจึงทำให้การเพิ่มของค่า COD เมื่อเติมมูลสัตว์ผสมไม่ได้เป็นแนวโน้มเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่า OLR ในชุดการทดลองที่ 1 : WW ของการเดินระบบภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน มีค่าเฉลี่ย 0.14, 0.21, 0.15 และ 0.12 kg COD/m³.d จะเห็นได้ว่าค่า OLR ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีความผันแปรซึ่งสอดคล้องกับค่า TCOD ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (ตาราง 4-5) ในขณะที่ ค่า OLR ของชุดการทดลองที่ 2 : 1% TS-PM+WW, 3 : 2% TS-PM+WW และ 4 : 3% TS-PM+WW ภายใต้ค่า HRT เดียวกันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็ง (%TS) ที่ผสมรวมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) และเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (HRT) ที่ลดลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่า OLR ภายใต้ค่า HRT 30 วัน ก่อนและหลังฤดูยางผลัดใบ พบว่า ช่วงหลังฤดูยางผลัดใบมีค่า OLR ของน้ำเสียที่เข้าระบบสูงกว่า เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ (TCOD) มีค่าสูงกว่าการเดินระบบที่ HRT 30 วัน ก่อนฤดูยางผลัดใบ



หมายเหตุ : A คือ HRT 35 วัน, B คือ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)
C คือ หยุดเดินระบบ, D คือ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)
E คือ HRT 25 วัน

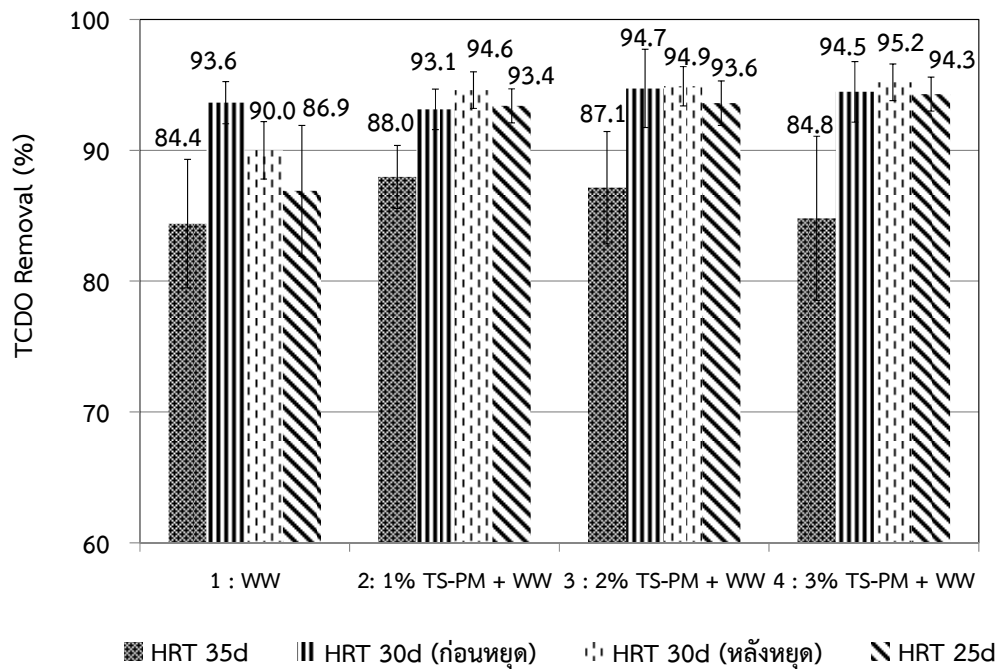
รูปที่ 4-29 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (TCOD) ของน้ำเสียเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
ในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ),
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

ตาราง 4-6 ค่าเฉลี่ยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (TCOD) ของน้ำเสียเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

ชุดการทดลอง	OLR (kg COD/m ³ .d)			
	HRT 35d	HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)	HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)	HRT 25d
1 : WW	0.14	0.21	0.15	0.12
2 : 1% TS-PM+WW	0.21	0.26	0.29	0.45
3 : 2% TS-PM+WW	0.22	0.29	0.43	0.54
4 : 3% TS-PM+WW	0.26	0.33	0.59	0.60

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในทุกชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ มีค่าสูงกว่าร้อยละ 85 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของการเดินระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ HRT 35 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการทดลองชุดที่ 2 สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 93.6 ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการทดลองชุดที่ 3 สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 94.6 ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการทดลองชุดที่ 2 สูงสุดเฉลี่ย 94.7% และที่ HRT 25 วัน มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการทดลองชุดที่ 3 สูงสุดเฉลี่ย 95.2% ดังรูปที่ 4-30

อย่างไรก็ตาม แม้จะลดระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียให้สั้นลง ประกอบกับการเดินระบบทดลองเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการสะสมของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ภายในระบบ แม้จะมีการถ่ายตะกอนจุลินทรีย์ออกในบางช่วง แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (TCOD) ของระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น ผลจากการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (OLR) ได้ในช่วง 0.12-0.60 kg COD/m³.d อีกทั้งผลของประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจากการลดระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) ซึ่งใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรมยางให้มีขนาดเล็กลงเพื่อประหยัดพื้นที่และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยการดำเนินการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์อาจที่การแปรผันตามฤดูกาล และจากการสำรวจพบว่าบางสหกรณ์ได้มีการปรับปรุงเพิ่มกำลังการผลิตโดยการต่อเติมห้องรมยาง ดังนั้นการปรับบ่อให้เล็กลงเพื่อประหยัดงบประมาณจึงมีความเสี่ยงที่ระบบจะรองรับภาระไม่ไหวในกรณีดังกล่าว



รูปที่ 4-30 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนหยุดอย่างพลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังหยุดอย่างพลัดใบ) และ HRT 25 วัน

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

ผลค่าความเข้มข้นของ VFA ของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังหยุดอย่างพลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังแสดงในตาราง 4-7 โดยค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำเสียเข้าระบบในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็งทั้งหมด (1%TS, 2%TS และ 3%TS) ของมูลสุกรในน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ให้กับระบบฯ

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ VFA ของน้ำทิ้งออกจากระบบ ภายใต้การเดินระบบที่ HRT 30 วัน (หลังหยุดอย่างพลัดใบ) พบว่า ค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งในชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย 289.4, 445.5, 450.3 และ 616.4 mg/L as CH_3COOH ตามลำดับ ขณะที่การเดินระบบภายใต้ HRT 25 วัน ค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งในชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ย 128.9, 235.6, 291.1 และ 355.6 mg/L as CH_3COOH ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็งทั้งหมด (1%TS, 2%TS และ 3%TS) เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นได้ทัน

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ VFA ของน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่าความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งลดลง เนื่องจากในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) หลักๆ 2 ชนิด คือ จุลินทรีย์สร้างกรด

และจุลินทรีย์สร้างมีเทน โดยจุลินทรีย์สร้างกรด ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid; VFA) ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว เช่น กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก เป็นต้น โดยกรดที่เกิดส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย ต่อมาจุลินทรีย์สร้างมีเทนซึ่งมีหลายกลุ่ม เช่น จุลินทรีย์สร้างมีเทนจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic Methanogens) กลุ่มนี้ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอนเพื่อผลิตก๊าซมีเทน หรือเรียกว่าจุลินทรีย์สร้างมีเทนกลุ่มที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2 Utilizer) และสามารถใช้อกรดฟอร์มิกเป็นสารตั้งต้นได้ด้วย ดังสมการ (4-7) และ (4-8) สำหรับจุลินทรีย์สร้างมีเทนกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก (Acetotrophic Methanogens) เป็นจุลินทรีย์สร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานได้เพียงสารเดียว และบางชนิดยังสามารถใช้ CO สร้างก๊าซมีเทนได้ด้วย

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 60.0-1,200.0, 60.0-1,550.0, 80.0-1,700.0 และ 100.0-6,300.0 mg/L as CH_3COOH ขณะที่ความเข้มข้นของ VFA ในน้ำทิ้งจากระบบที่ HRT 25 วัน ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 100.0-160.0, 140.0-540.0, 140.0-800.0 และ 180.0-1,080.0 mg/L as CH_3COOH ตามลำดับ

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาช่วงค่าที่เหมาะสมของค่าความเข้มข้นของ VFA ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศควรมีค่าอยู่ในช่วง 50-500 mg/L as CH_3COOH และค่ายอมรับได้สูงสุดประมาณ 2,000 mg/L as CH_3COOH (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) จะเห็นว่าการเดินระบบที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 4 มีค่าสูงสุดเกินค่าดังกล่าว แต่จากการทดลองไม่พบการล้มเหลวจากการเดินระบบ ขณะที่ชุดการทดลองอื่นๆ ของทั้ง HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ค่าความเข้มข้นของ VFA อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ

ตาราง 4-7 ค่า VFA ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

ชุดการทดลอง	VFA (mg/L as CH_3COOH)			
	Influent		Effluent	
	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	310.0-1,120.0	636.5 ±234.1	60.0-1,200.0	289.4 ±316.5
2 : 1% TS-PM+WW	220.0-2,250.0	1,108.1 ±571.8	60.0-1,550.0	445.5 ±449.0
3 : 2% TS-PM+WW	540.0-3,950.0	1,546.2 ±946.0	80.0-1,700.0	450.3±500.4
4 : 3% TS-PM+WW	740.0-5,900.0	2,085.8 ± 1,576.7	100.0-6,300.0	616.4 ±1,121.1
HRT 25 วัน				
1 : WW	180.0-940.0	555.8 ±323.9	100.0-160.0	128.9 ±24.7
2 : 1% TS-PM+WW	540.0-1,360.0	973.3 ±389.1	140.0-540.0	235.6±119.9
3 : 2% TS-PM+WW	800.0-1,760.0	1,335.0 ±408.6	140.0-800.0	291.1 ±197.8
4 : 3% TS-PM+WW	1,080.0-1,660.0	1,483.3 ±249.9	180.0-1,080.0	355.6 ±276.4

ค่า Alkalinity ในน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้อัตรา HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังแสดงในตาราง 4-8

เมื่อพิจารณาค่า Alkalinity ภายในระบบซึ่งพิจารณาได้จากค่า Alkalinity ในน้ำทิ้งจากระบบ ภายใต้อัตรา HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน พบว่า ค่า Alkalinity ในน้ำเสียเข้าระบบในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของแข็งทั้งหมด (1%TS, 2%TS และ 3%TS) ของมูลสุกรในน้ำเสีย และเมื่อผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่า Alkalinity ในน้ำทิ้งจากระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกชุดการทดลอง เนื่องจากในน้ำเสียเข้าระบบมีโปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำยางเกิดการย่อยสลายให้แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งแอมโมเนีย (NH_3) สามารถรวมตัวกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH_4HCO_3) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของ pH และช่วยลดสภาพความเป็นกรดเนื่องจาก VFA และถ้าในน้ำทิ้งมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอและมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ จะได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตที่ทำปฏิกิริยากับ VFA จากขั้นตอนการสร้างกรดอินทรีย์ และจะได้แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ซึ่งจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียสร้างมีเทนให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน และได้แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตกลับมาในระบบ (Leslie Grady *et al.*, 1999)

เมื่อพิจารณาช่วงค่า Alkalinity ในน้ำทิ้งจากการเดินระบบภายใต้อัตรา HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน คือ ช่วง 1,000-5,000 mg/L as CaCO_3 (เกรียงศักดิ์ อุทมนสินโรจน์, 2543)

ตาราง 4-8 ค่า Alkalinity ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้อัตรา HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

ชุดการทดลอง	Alkalinity (mg/L as CaCO_3)			
	Influent		Effluent	
	Range	Range	Range	Range
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	85.0-1,100.0	511.4 $\pm$ 295.8	60.0-1,520.0	788.6 $\pm$ 476.0
2 : 1% TS-PM+WW	245.0-1,500.0	952.2 $\pm$ 397.0	70.0-2,190.0	1,078.9 $\pm$ 621.0
3 : 2% TS-PM+WW	425.0-1,800.0	1,219.2 $\pm$ 458.6	70.0-2,260.0	1,210.3 $\pm$ 705.6
4 : 3% TS-PM+WW	600.0-2,080.0	1,476.6 $\pm$ 532.4	80.0-3,250.0	1,445.1 $\pm$ 876.3
HRT 25 วัน				
1 : WW	280.00-1,080.0	530.9 $\pm$ 359.5	600.0-1,000.0	860.0 $\pm$ 116.6
2 : 1% TS-PM+WW	740.0-1,880.0	1,098.0 $\pm$ 540.6	1,080.0-2,720.0	1,446.7 $\pm$ 488.2
3 : 2% TS-PM+WW	1,020.0-2,320.0	1,447.3 $\pm$ 581.5	1,480.0-2,000.0	1,646.7 $\pm$ 151.0
4 : 3% TS-PM+WW	1,300.0-2,440.0	1,636.4 $\pm$ 519.0	1,760.0-4,320.0	2,175.6 $\pm$ 807.6

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alk) โดยถ้าอัตราส่วนดังกล่าวน้อยกว่า 0.4 ถือได้ว่าระบบยังทำงานได้ดี แต่ถ้าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีบัฟเฟอร์ต่ำควรหาแนวทางแก้ไขโดยเร็วเพราะ pH อาจลดลงจนระบบอาจล้มเหลวได้ (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2546) และผลจากการเดินระบบฯ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน พบว่า VFA : Alk มีค่าอยู่ในช่วง 0.35-0.43 และ 0.15-0.18 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ดี มีบัฟเฟอร์เพียงพอสำหรับต้านทานการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และการสะสมของ VFA ในระบบ

(3) ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids ; TS) และของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids ; VS)

ค่า TS และ VS ของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้การเดินระบบฯ ที่ HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังแสดงในตาราง 4-9 และตาราง 4-10

เมื่อพิจารณาค่า TS ของน้ำเสียเข้าระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ค่า TS ในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเติมมูลสุกรในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า TS ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำสุด ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่า TS ของน้ำเสียเข้าระบบมีความสอดคล้องกับค่า TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ เช่นกัน

สำหรับค่า TS ของน้ำทิ้งจากการทดลองเดินระบบทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ค่า TS ในน้ำทิ้งต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบ แต่อาจมีในช่วงของการเดินระบบภายใต้ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ที่ค่า TS ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากภายในระบบมีการสะสมของตะกอนของมูลสุกรจึงทำให้ก๊าซชีวภาพดันตะกอนออกมากับน้ำทิ้ง ผู้วิจัยจึงได้ถ่ายตะกอนจ่ออกจากระบบบางส่วน และทำการเดินระบบต่อเนื่องซึ่งพบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่า TS ในน้ำทิ้งที่ HRT ต่างๆ พบว่า ค่า TS ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มเพิ่มสูงเมื่อลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ทั้งนี้เนื่องจากการลด HRT เป็นการเพิ่มอัตราการการระบรทุก (OLR) ให้กับระบบ โดยเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในระบบเพิ่มสูงขึ้นแต่จุลินทรีย์มีระยะเวลาที่น้อยยสลายน้ำเสียลดลงจึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด TS ลดลงเช่นกัน สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด TS ในทุกชุดการทดลองพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ลดลง ดังรูปที่ 4-31

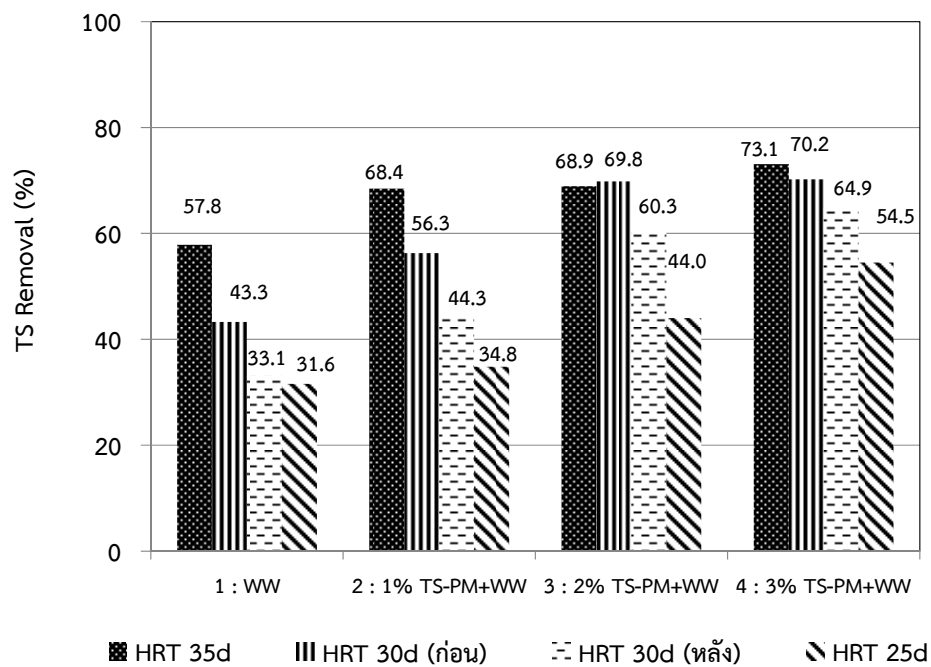
ตาราง 4-9 ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ของการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับ
ห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

ชุดการทดลอง	TS (g/L)			
	Influent		Effluent	
	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD
HRT 35 d				
1 : WW	1.7-4.4	3.3±1.1	1.4-2.6	1.8±0.3
2 : 1% TS-PM+WW	4.0-9.0	6.6±1.8	1.2-2.8	2.3±0.4
3 : 2% TS-PM+WW	5.2-13.8	9.2±2.8	2.1-3.3	2.7±0.4
4 : 3% TS-PM+WW	7.1-13.2	11.0±1.9	2.1-3.6	2.9±0.5
HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	2.6-3.8	3.2±0.6	1.4-3.0	2.0±0.5
2 : 1% TS-PM+WW	5.7-6.7	6.1±0.5	2.5-3.3	2.7±0.3
3 : 2% TS-PM+WW	9.2-10.0	9.5±0.4	2.4-3.3	2.9±0.4
4 : 3% TS-PM+WW	11.4-11.8	11.6±0.2	2.9-3.8	3.5±0.3
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	0.4-3.8	2.1±1.4	1.6-4.0	2.3 ±0.7
2 : 1% TS-PM+WW	2.1-6.4	4.8±1.4	1.8-5.5	2.9 ±1.2
3 : 2% TS-PM+WW	1.9-10.3	8.1±2.2	1.2-4.4	3.0 ±0.8
4 : 3% TS-PM+WW	1.3-17.5	11.0 ±3.7	0.9-4.8	3.4 ±1.1
HRT 25 d				
1 : WW	1.5-3.6	2.5±0.8	1.1-2.8	1.9±0.6
2 : 1% TS-PM+WW	2.7-7.4	5.2±1.6	2.1-4.2	2.8±0.7
3 : 2% TS-PM+WW	6.5-10.4	8.6±1.1	2.5-5.2	3.9±0.9
4 : 3% TS-PM+WW	9.2-17.0	10.9±2.7	2.3-5.0	3.7±0.8

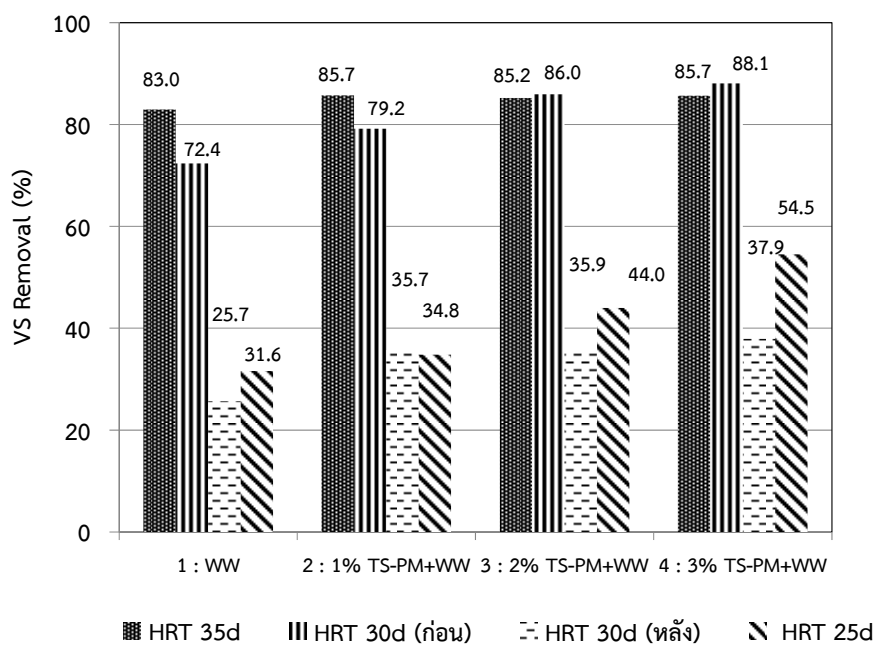
ตาราง 4-10 ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ของการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

ชุดการทดลอง	VS (g/L)			
	Influent		Effluent	
	Range	Avg.±SD	Range	Avg.±SD
HRT 35 d				
1 : WW	1.1-4.2	2.3±0.8	0.4-1.9	0.7±0.3
2 : 1% TS-PM+WW	2.7-7.1	4.6±1.7	0.3-1.3	0.7±0.2
3 : 2% TS-PM+WW	3.4-10.9	6.5±2.6	0.6-1.5	0.9±0.2
4 : 3% TS-PM+WW	4.9-10.1	7.7±1.6	0.6-1.3	1.0±0.2
HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	2.0-2.4	2.2±0.2	0.4-0.8	0.6±0.1
2 : 1% TS-PM+WW	4.1-4.3	4.2±0.1	0.7-1.1	0.9±0.1
3 : 2% TS-PM+WW	6.3-6.6	6.5±0.2	0.6-1.2	0.9±0.2
4 : 3% TS-PM+WW	8.0-8.2	0.9±0.2	0.6-1.2	1.0±0.2
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	0.08-1.10	0.7 ±0.3	0.5-1.6	1.2 ±0.3
2 : 1% TS-PM+WW	1.1-2.3	1.7 ±0.4	1.2-6.1	2.5 ±1.3
3 : 2% TS-PM+WW	2.1-3.2	2.8 ±0.5	1.4-2.5	2.0±0.4
4 : 3% TS-PM+WW	2.9-5.2	3.8 ±0.8	1.7-3.0	2.3±0.4
HRT 25 d				
1 : WW	0.5-1.5	1.0±0.4	0.7-1.3	0.9±0.1
2 : 1% TS-PM+WW	1.5-8.3	2.7±1.7	1.0-1.8	1.5±0.2
3 : 2% TS-PM+WW	1.8-3.4	2.8±0.4	1.6-2.3	1.9±0.2
4 : 3% TS-PM+WW	2.7-4.3	3.4±0.5	1.1-2.4	2.0±0.4

เมื่อพิจารณาค่า VS ของน้ำเสียเข้าระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีการเติมมูลสุกรในการหมักร่วมกับน้ำเสียซึ่งสอดคล้องกับค่า TS ของน้ำเสียเข้าระบบ สำหรับค่า VS ในน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 4 ชุดการทดลองจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ค่า VS ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) ลดลง เป็นผลมาจากอัตราการการย่อยสลาย (OLR) ของระบบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบทำให้ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ลดลง และประสิทธิภาพการกำจัด VS ในทุกชุดการทดลองพบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) ลดลง ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน TS ดังแสดง ผลประสิทธิภาพการกำจัด TS และ VS ในรูปที่ 4-31 และ 4-32



รูปที่ 4-31 ประสิทธิภาพการกำจัด TS ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน



รูปที่ 4-32 ประสิทธิภาพการกำจัด VS ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

(4) สารอาหารพืช

ผลตรวจวิเคราะห์สารอาหารพืชในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP) ประกอบการพิจารณาการนำน้ำทิ้งไปใช้ประโยชน์

(4.1) ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen : TN)

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารสำหรับสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ผลวิเคราะห์ค่า TN ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังตาราง 4-11

ตาราง 4-11 ค่า TN ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

Treatment	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	Range	Average±S.D.	Range	Average±S.D.
HRT 35 d				
1 : WW	38.4-196.6	116.2±67.0	24.9-83.6	56.7±19.2
2 : 1%TS-PM+WW	29.4-223.7	127.2±76.7	46.3-130.0	81.1±32.6
3 : 2%TS-PM+WW	31.6-254.8	128.4±89.7	50.9-110.7	75.2±21.7
4 : 3%TS-PM+WW	74.6-264.4	162.4±83.4	45.4-133.3	78.9±29.1
HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	100.0-420.0	192.3±124.1	65.0-540.0	228.5±151.6
2 : 1%TS-PM+WW	75.0-456.0	207.4±127.8	75.0-810.0	283.8±214.3
3 : 2%TS-PM+WW	90.0-720.0	286.2±205.0	65.0-740.0	292.7±217.3
4 : 3%TS-PM+WW	130.0-690.0	341.9±209.4	55.0-610.0	305.8±167.2
HRT 25 d				
1 : WW	13.4-128.0	62.8±43.5	116.0-228.0	165.1±36.2
2 : 1%TS-PM+WW	49.0-270.0	139.3±90.5	125.0-285.0	196.7±48.0
3 : 2%TS-PM+WW	24.0-292.0	136.3±113.5	172.0-250.0	223.6±27.7
4 : 3%TS-PM+WW	22.0-237.0	94.5±88.4	218.0-325.0	276.5±33.3

ผลของค่า TN ในน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังตาราง 4-11 พบว่าค่า TN ในน้ำทิ้งที่ HRT 35 d ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 56.7, 81.1, 75.2 และ 78.9 mg/L ตามลำดับ ผลของค่า TN จากการเดินระบบที่ HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ) พบว่า ค่า TN ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบทุกชุดการทดลอง โดยค่า TN ในน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 228.5, 283.8, 292.7 และ 305.8 mg/L ตามลำดับ และที่ HRT 25 วัน มีค่า TN ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบทุกชุดการทดลอง โดยค่า TN ในน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 165.1, 196.7, 223.6 และ 276.5 mg/L ตามลำดับ ทั้งนี้ ระบบบำบัดแบบไร้อากาศไม่สามารถบำบัด

ไนโตรเจนได้ ดังนั้น ความเข้มข้นของค่า TN ในน้ำทิ้งที่ลดลงนั้นเนื่องจากถูกจุลินทรีย์ในระบบนำไปเป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่

(4.2) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น TP ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังตาราง 4-12

ตาราง 4-12 ค่า TP ของน้ำเสีย และน้ำทิ้ง จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ

Treatment	Influent (mg/L)		Effluent (mg/L)	
	Range	Average±S.D.	Range	Average±S.D.
HRT 35 d				
1 : WW	72.5-253.8	143.1±65.5	35.6-141.3	81.1±36.5
2 : 1%TS-PM+WW	53.0-197.0	130.7±58.0	28.6-127.8	74.8±36.0
3 : 2%TS-PM+WW	43.0-230.9	139.2±66.6	32.1-154.2	86.2±41.2
4 : 3%TS-PM+WW	108.5-247.5	188.8±45.1	60.8-146.5	94.6±31.6
HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ)				
1 : WW	85.0-67.5	245.2±148.2	70.0-770.0	224.4±183.6
2 : 1%TS-PM+WW	140.0-590.0	305.3±107.7	70.0-660.0	220.0±135.2
3 : 2%TS-PM+WW	150.0-770.0	410.5±133.9	90.0-360.0	215.7±84.6
4 : 3%TS-PM+WW	160.0-970.0	556.6±194.9	85.0-480.0	250.2±109.8
HRT 25 d				
1 : WW	15.1-125.0	74.3±44.2	72.3-279.0	152.1±64.3
2 : 1%TS-PM+WW	190.0-248.0	213.3±25.9	126.0-341.0	213.1±72.8
3 : 2%TS-PM+WW	257.0-355.0	313.2±40.0	84.0-253.0	172.0±60.9
4 : 3%TS-PM+WW	297.0-450.0	378.0±66.7	80.0-428.0	195.6±102.0

ผลของค่า TP ของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน ดังตาราง 4-12 พบว่าเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพค่า TP ในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงจากการเดินระบบภายใต้ค่า HRT ต่างๆ โดยที่ HRT 35 d มีค่า TP ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 81.1, 74.8, 86.2 และ 94.6 mg/L ตามลำดับ ผลของค่า TP จากการเดินระบบที่ HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 224.4, 220.0, 215.7 และ 250.2 mg/L ตามลำดับ ขณะที่ผลการเดินระบบที่ HRT 25 วัน มีค่า TP ในน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 152.1, 213.1, 172.0 และ 195.6 mg/L ตามลำดับ

ดังนั้น ผลวิเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทำให้ทราบว่า สารอาหารดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงจากการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ในระบบโดยใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้น น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียยังมีสารอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลืออยู่ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำต้นไม้หรือให้น้ำในสวนยางพาราได้ และเมื่อประเมินที่อัตราน้ำทิ้งจากระบบที่ 80% ของน้ำเสียเข้าระบบ (เท่ากับ $0.8 \times 15 = 12 \text{ m}^3/\text{d}$) ทำให้ทดแทนไนโตรเจน (TN) และฟอสฟอรัส (TP) ดังตารางที่ 3-13 โดยเมื่อเปรียบเทียบค่า TN และ TP ในน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35, 30 และ 25 วัน ในชุดการทดลอง 1, 2, 3 และ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า HRT ที่ลดลงและเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณ %TS ของมูลสุกรที่หมักร่วมกับน้ำเสีย นั้นแสดงให้เห็นว่า การหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียมีผลต่อปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตาราง 4-13 ผลประเมินสารอาหารจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง และน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

ชุดการทดลอง	TN (g/d)	TP (g/d)
HRT 35 d		
1 : WW	680.4	973.2
2 : 1%TS-PM+WW	973.2	897.6
3 : 2%TS-PM+WW	902.4	1,034.4
4 : 3%TS-PM+WW	946.8	1,135.2
HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ)		
1 : WW	2,742.0	2,692.8
2 : 1%TS-PM+WW	3,405.6	2,640.0
3 : 2%TS-PM+WW	3,512.4	2,588.4
4 : 3%TS-PM+WW	3,669.6	3,002.4
HRT 25 d		
1 : WW	1,981.2	1,825.2
2 : 1%TS-PM+WW	2,360.4	2,557.2
3 : 2%TS-PM+WW	2,683.2	2,064.0
4 : 3%TS-PM+WW	3,318.0	2,347.2
บ่อสุดท้ายของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง	1,932.0	3,074.0

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารอาหารจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง ในกรณีที่บ้านบำบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียว พบว่า ค่า TN เฉลี่ยสูงกว่าในน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน ขณะที่ค่า TP เฉลี่ยสูงกว่าในน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทุก HRT แต่อย่างไรก็ตาม จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำ

เสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง พบว่าสามารถนำน้ำทิ้งจากบ่อสุดท้ายไปใช้ประโยชน์รดต้นพืช และสวน
ยางพาราที่อยู่ใกล้เคียงสหกรณ์ฯ ได้

(4) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production Rate)

ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการทดลองระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับ
ห้องปฏิบัติการ จำนวน 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1 : WW , 2 : 1% TS-PM+WW, 3 : 2% TS-
PM+WW และ 4 : 3% TS-PM+WW ภายใต้ค่า HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ),
HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

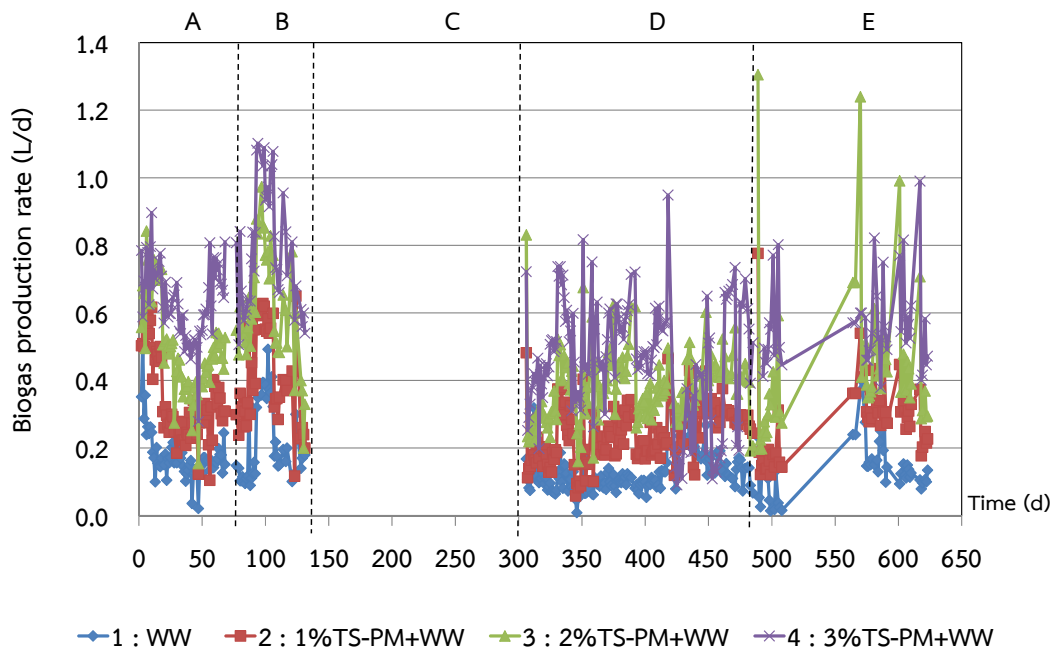
ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ภายใต้ HRT ต่างๆ ดังนี้ ที่ HRT 35 วัน มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4
เฉลี่ย 0.17, 0.34, 0.49 และ 0.63 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง
ที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.54, 3.09, 4.71 และ 7.21 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ

ผลอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3
และ 4 มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.22, 0.41, 0.61 และ 0.78 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการ
เกิดก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.44, 2.74, 4.25 และ 6.19 L/L_{น้ำเสีย}
ตามลำดับ

ผลของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการ
ทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.12, 0.24, 0.38 และ 0.46 L/d
ตามลำดับ และมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.23, 2.55,
3.53 และ 3.69 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ

ผลของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มี
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.14, 0.28, 0.43 และ 0.58 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการเกิดก๊าซ
ชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.79, 2.19, 3.31 และ 4.90 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ

ดังนั้น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมมูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ
1%TS, 2%TS และ 3%TS ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่การเดินระบบภายใต้ค่า
HRT 35 วัน มีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดในทุกชุดการทดลอง และเมื่อลดค่า HRT (30 และ
25 วัน) ในการเดินระบบ พบว่า แนวโน้มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลงเนื่องจากอัตราการ
บรรทุกสารอินทรีย์ในระบบที่เพิ่มสูงขึ้น



หมายเหตุ : A คือ HRT 35 วัน, B คือ HRT 30 วัน (ก่อนหยุดยั้งการผลิตไบโอ)
C คือ หยุดเดินระบบ, D คือ HRT 30 วัน (หลังหยุดยั้งการผลิตไบโอ)
E คือ HRT 25 วัน

รูปที่ 4-33 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชุดการทดลอง
ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนหยุดยั้งการผลิตไบโอ),
HRT 30 วัน (หลังหยุดยั้งการผลิตไบโอ) และ HRT 25 วัน

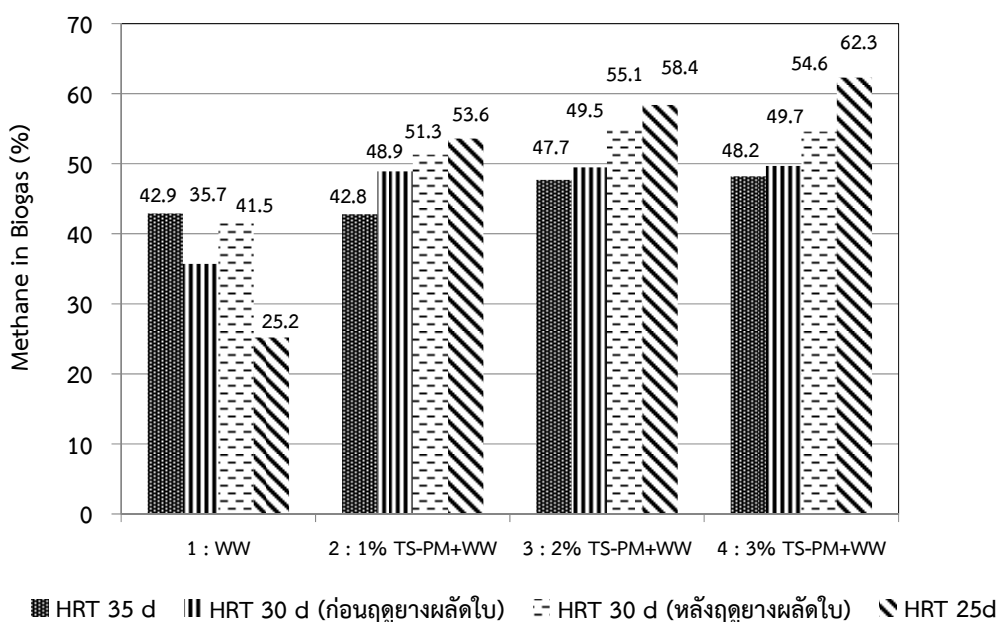
เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจากการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลองภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ HRT 30 วัน (หลังหยุดยั้งการผลิตไบโอ) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ลำดับถัดมาคือ HRT 35 วัน, HRT 30 วัน (หลังหยุดยั้งการผลิตไบโอ) และ HRT 25 วัน ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัด VS ดังรูปที่ 4-31 ทั้งนี้ แนวโน้มโดยรวมในอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงตามระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (HRT) เนื่องจากอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ที่เพิ่มสูงขึ้นจะไปกระทบกับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง อีกทั้งระยะเวลาที่จุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับสารอินทรีย์ลดลงด้วย

ในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งมีการหมักน้ำเสียเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า การเติมมูลสุกรมาหมักร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน จะช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพให้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ค่า TCOD ในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นตาม %TS

ทั้งนี้ ในระบบบำบัดน้ำเสียควรมีบ่อบำบัดชั้นหลังบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเพื่อบำบัดสารอินทรีย์ในส่วนที่เหลือ

ผลองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ชุดการทดลองที่ HRT ต่างๆ พบว่า การเดินระบบที่ HRT 35 วัน องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าใกล้เคียงกัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 42.9, 42.8, 47.7 และ 48.2 ตามลำดับ องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 35.7, 48.9, 49.5 และ 49.7 ตามลำดับ ผลการเดินระบบที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) พบว่า องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 41.5, 51.3, 55.1 และ 54.6 ตามลำดับ และผลการเดินระบบที่ HRT 25 วัน พบว่า องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 25.2, 53.6, 58.4 และ 62.3 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการทั้ง 4 ชุดการทดลองภายใต้ค่า HRT ต่างๆ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 2, 3 และ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า HRT ลดลง ขณะที่องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ HRT ต่างๆ พบว่า ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าลดลงเมื่อ HRT ลดลง และผลจากการทดลองเดินระบบทำให้ทราบว่า การหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียช่วยเพิ่มองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพให้เพิ่มสูงขึ้น และมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4-34



รูปที่ 4-34 องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 4 ชุดการทดลอง ภายใต้ค่า HRT 35 วัน , HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ HRT 25 วัน

ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 35 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.09, 0.20, 0.31 และ 0.46 $L_{CH_4}/g\ COD_{removed}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}/g\ TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) ดังสมการ (3-13) พบว่า อัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ในชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (ตาราง 4-14) เนื่องจากน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบมีของแข็งมูลสุกรปนอยู่ด้วย โดย SS บางส่วนสามารถย่อยสลายได้ในเวลาต่อมาหลังจากถูกทิ้งไว้ให้ย่อยสลายในถังปฏิกิริยา สารอินทรีย์ส่วนนี้จะผลิตก๊าซชีวภาพในเวลาต่อมา

ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.08, 0.15, 0.20 และ 0.26 $L_{methane}/g\ COD_{removed}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}/g\ TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) ในสมการ (4-13) พบว่า อัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี

ในขณะที่ ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.17, 0.18 และ 0.12 $L_{methane}/g\ COD_{removed}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}/g\ TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) ในสมการ (4-13) พบว่า อัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี

ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.15, 0.17 และ 0.22 $L_{methane}/g\ COD_{removed}$ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ว่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.35 $L_{methane}/g\ TCOD_{removed}$ (Metcalf and Eddy, 2004) ในสมการ (4-13) พบว่า อัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD ทุกชุดการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี

$$\text{Observed Methane Yield } (L_{CH_4}/g\ TCOD_{removed}) = \frac{\text{Total Biogas Production } (L/d) \times \% \text{ Methane}}{[TCOD_{in} (g/L) - TCOD_{out} (g/L)] \times Q (L/d)} \quad (4-13)$$

ตาราง 4-14 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการทดลองชุดต่างๆ ภายใต้ HRT ต่างๆ

Treatment	Feed (mL/d)	TCOD _{Inf} (g/L)	TCOD _{Eff} (g/L)	Biogas Production Average (L/d)	Methane (%)	Observed Methane Yield (L _{CH4} /gTCOD _{removed})	Observed Methane Yield (L _{CH4} STP/gTCOD _{removed})
HRT 35 d							
1 : WW	100	5.08	0.57	0.15	26.1	0.09±0.004	0.07±0.004
2 : 1%TS-PM+WW	100	7.75	0.68	0.31	46.0	0.20±0.08	0.17±0.07
3 : 2%TS-PM+WW	100	8.04	1.04	0.46	48.1	0.31±0.03	0.27±0.03
4 : 3%TS-PM+WW	100	8.68	1.21	0.72	47.7	0.46±0.06	0.39±0.05
HRT 30 d (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)							
1 : WW	116	8.68	0.48	0.17	43.3	0.08±0.30	0.06±0.26
2 : 1%TS-PM+WW	116	9.45	0.62	0.32	45.6	0.15±0.59	0.13±0.50
3 : 2%TS-PM+WW	116	10.27	0.53	0.49	43.2	0.20±0.79	0.17±0.66
4 : 3%TS-PM+WW	116	12.12	0.56	0.72	49.2	0.26±1.05	0.22±0.89
HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ)							
1 : WW	116	3.75	0.31	0.14	37.8	0.14±0.04	0.11±0.03
2 : 1%TS-PM+WW	116	7.84	0.35	0.30	49.4	0.17±0.04	0.14±0.03
3 : 2%TS-PM+WW	116	11.01	0.56	0.44	53.7	0.18±0.02	0.15±0.02
4 : 3%TS-PM+WW	116	17.34	0.80	0.35	51.7	0.12±0.01	0.07±0.05
HRT 25 d							
1 : WW	140	2.80	0.41	0.11	38.4	0.14±0.03	0.11±0.03
2 : 1%TS-PM+WW	140	9.26	0.57	0.31	59.7	0.15±0.05	0.13±0.04
3 : 2%TS-PM+WW	140	11.01	0.68	0.46	57.5	0.17±0.09	0.14±0.08
4 : 3%TS-PM+WW	140	13.01	0.73	0.69	59.3	0.22±0.13	0.19±0.11

3.4 การประชุมร่วมกับคณะกรรมการของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ในการทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

คณะวิจัยได้ประชุมร่วมกับคณะกรรมการของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด เพื่อขออนุญาตในการทดสอบเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยหัวหน้าโครงการฯ แจ้งรายละเอียดโครงการฯ วิธีการทดลองเติมมูลสัตว์และการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ผลจากการประชุมทางคณะกรรมการสหกรณ์ฯ ยินดีเข้าร่วมโครงการฯ และพร้อมสนับสนุนการทดลองเพื่อจะนำผลการทดลองที่ได้มาแนวทางในการเติมมูลสัตว์ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพต่อไปในอนาคต ดังรูปที่ 4-35



รูปที่ 4-35 คณะวิจัยประชุมร่วมกับคณะกรรมการของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง

3.5 ผลทดสอบเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ณ สหกรณ์นาร่อง

ผู้วิจัยได้เก็บมูลสุกรสดจากฟาร์มสุกรเพื่อนำมาเติมในบ่อหมักก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง โดยสมบัติของมูลสุกรและน้ำเสียผสมมูลสุกรที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตาราง 4-15

ตาราง 4-15 สมบัติของมูลสุกรและประมาณการสมบัติน้ำเสียจากแผ่นนมควั่นผสมมูลสุกร

พารามิเตอร์	มูลสุกร	น้ำเสียผสมมูลสุกร*
TS (g/Kg)	292.0	-
VS (g/Kg)	213.9	-
Moisture (%)	72.5	-
pH	-	7.03
TCOD (mg/L)	-	21,265.0
TN (mg/L)	-	1,580.0
TP (mg/L)	-	320.0
TK (mg/L)	-	322.5
SS (mg/L)	-	1,320.0

หมายเหตุ : *น้ำเสียผสมมูลสุกรที่ 3%TS ได้จากการนำเก็บตัวอย่างมูลสุกรมาผสมกับน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์องค์ประกอบ

ในระหว่างการทดลองจะเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาตรวจวิเคราะห์ประจำทุกวัน ในพารามิเตอร์ pH, TCOD, SS, TN, TP และ TK ตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพความถี่ 3 วันต่อครั้ง และวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพความถี่ 2 วันต่อครั้ง สำหรับปริมาณการเติมมูลสุกรในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 135 kg มูลสด/d โดยเทมูลสุกรลงทางบ่อป้อนมูลสัตว์ดังรูปที่ 4-36



รูปที่ 4-36 ชั่งน้ำหนักมูลสุกรก่อนเติมลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

4.5.1 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

วิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระหว่างการทดสอบเติมมูลสุกร (รูปที่ 4-37) มีวิธีการดังนี้

- (1) ปล่องก๊าซชีวภาพออกจากแผ่นคลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพให้หมด และเริ่มเติมมูลสุกรเป็นเวลา 15 วัน
- (2) ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น 2 วันต่อครั้ง
- (3) คำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพ ในหน่วย m^3/ton น้ำยางสด โดยใช้ข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้มีหน่วยเป็น m^3/d หารด้วยปริมาณน้ำยางสดในช่วงเวลาที่มีการวัดก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็น ton หรือคำนวณในหน่วย m^3/m^3 น้ำเสีย โดยใช้ข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้มีหน่วยเป็น m^3/d หารด้วยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ มีหน่วยเป็น m^3



รูปที่ 4-37 ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์ระบบท่อดูดก๊าซชีวภาพในระหว่างการทดสอบเติมมูลสุกร

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในระหว่างการทดลองเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 4-16 โดยทดลองเดินระบบเป็นเวลา 15 วัน พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณน้ำยางสดที่เข้าสู่กระบวนการผลิตโดยปริมาณการเติมมูลสุกรคงที่ และในวันที่ 12 ของการเดินระบบจะเห็นว่าปริมาณก๊าซชีวภาพยังเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณน้ำยางสดลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากการสะสมก๊าซชีวภาพอยู่ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง และในวันที่ 15 ของการเดินระบบพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงขณะที่ปริมาณน้ำยางสดในช่วงดังกล่าวลดลงเช่นเดียวกัน

ตาราง 4-16 ผลทดลองปริมาณการเติมมูลสุกร ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตรวจวัดได้ และองค์ประกอบก๊าซมีเทนจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

วัน-เดือน-ปี	Days	มูลสุกรที่เติม (kg/day)	ปริมาณน้ำยางสด (kg)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m ³ /ton)	ปริมาณน้ำเสีย* (m ³)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ** (m ³ /m ³ น้ำเสีย)	องค์ประกอบก๊าซมีเทน (%)
5 พ.ย. 57	1	136.4	3,153.9	20.34	34.79	5.95	-
6 พ.ย. 57	2	135.0	7,023.0				-
7 พ.ย. 57	3	141.0	5,147.7	27.78	22.37	6.39	-
8 พ.ย. 57	4	132.0	-				60.0
9 พ.ย. 57	5	134.0	-				-
10 พ.ย. 57	6	140.0	7,206.6	11.45	67.00	3.97	-
11 พ.ย. 57	7	136.0	7,951.2				-
12 พ.ย. 57	8	136.0	8,065.6				60.3
13 พ.ย. 57	9	133.0	4,484.5	10.67	40.21	3.28	-
14 พ.ย. 57	10	131.0	3,168.8				60.2
15 พ.ย. 57	11	131.0	4,719.6				-
16 พ.ย. 57	12	130.0	5,424.7	26.96	36.68	8.04	-
17 พ.ย. 57	13	136.5	5,518.7				61.1
18 พ.ย. 57	14	134.0	-				-
19 พ.ย. 57	15	135.0	-	-			61.2
20 พ.ย. 57	16	135.0	-	-			-
21 พ.ย. 57	17	133.0	-	-			-
22 พ.ย. 57	18	138.0	-	-			-
24 พ.ย. 57	19	-	-	-			61.3

หมายเหตุ : *คำนวณจากสมการ (4-2)

**ค่าที่รายงานอาจอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูงจากน้ำเสียที่เข้าสู่บ่อในวันก่อนหน้าที่เก็บข้อมูล

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซชีวภาพ ระหว่างการทดลองเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า องค์ประกอบของก๊าซมีเทนตลอดระยะการทดลองค่อนข้างคงที่ เฉลี่ย 60.7% โดยมีองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 13-15 ของการเดินระบบ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เฉลี่ย 38.2% และก๊าซอื่นๆ เฉลี่ย 1.1% นอกจากนี้มีการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 72 ppm ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ Sulfate Reducing Bacteria

(SRB) ในขณะที่เติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันยังไม่ปรับตัวเพิ่มจำนวนจึงตรวจวัดค่าได้น้อย ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ค่อนข้างต่ำ และหาก H_2S สัมผัสกับความชื้นจะทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศเป็นกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เป็นปัญหากัดกร่อนเครื่องยนต์เผาไหม้ ดังนั้นจึงได้กำหนดคุณภาพก๊าซชีวภาพที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า ต้องมีความเข้มข้นสูงสุดไม่เกิน 500 ppm นอกจากนี้ H_2S ยังเป็นก๊าซมีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ความเข้มข้น H_2S 200 ppm จะทำให้รู้สึกอ่อนเพลีย เป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ และถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 700 ppm จะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว อาจเสียชีวิตหากไม่ได้รับการช่วยเหลือ

4.5.2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากการเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ณ สหกรณ์น้ำร่อง

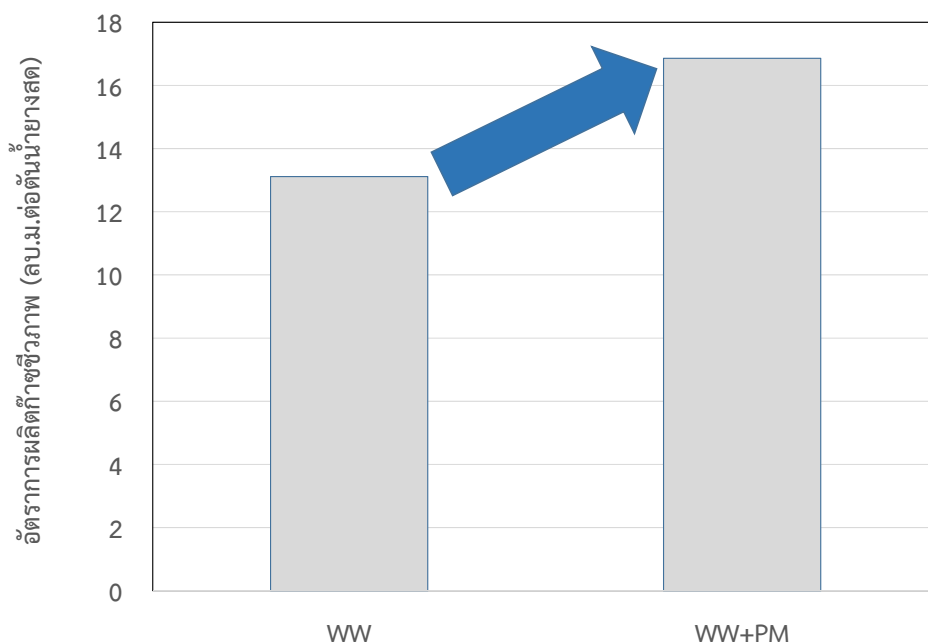
ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากการเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 6.68-6.92 ซึ่งค่า pH ในช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ คือ ช่วง 6.5-7.5 สำหรับค่า TCOD ของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 915.8 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด TCOD 95.8% ขณะที่ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และโพแทสเซียมทั้งหมด (TK) เฉลี่ย 234.7, 194.0 และ 857.5 mg/L ดังตาราง 4-17 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในขณะที่ไม่มีการเติมมูลสุกรมาหมักร่วมกับน้ำเสีย ดังนั้น สามารถนำน้ำทิ้งในกรณีที่มีเติมมูลสุกรมาหมักร่วมไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำพืชได้เช่นเดียวกัน

ตาราง 4-17 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อหมักฯ หลังเติมมูลสุกร

พารามิเตอร์	Effluent	
	Avg.±SD	Range
pH	6.82±0.08	6.68-6.92
TCOD (mg/L)	915.8±139.9	654.0-1,134.0
SS (mg/L)	495.3±128.4	260.0-740.0
TN (mg/L)	234.7±13.6	208.0-250.0
TP (mg/L)	194.0±58.3	140.0-380.0
TK (mg/L)	857.5±52.5	780.0-960.0

4.5.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสีย กระบวนการยางแผ่นรมควัน (WW+PM) และการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่น รมควัน (WW) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่าเฉลี่ย 13.2 m³/ton น้ำยางสด หรือ 4.05 m³/ m³ น้ำเสีย ขณะที่ผลการทดสอบเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) มีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด หรือ 5.53 m³/ m³ น้ำเสีย ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพจาก WW มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณก๊าซชีวภาพจาก WW+PM มีแนวโน้มไม่คงที่แต่มีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยสูงกว่า WW เท่ากับ 6.2 m³/ton น้ำยางสด ดังรูปที่ 4-38 และค่าที่วัดได้อาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในบ่อจากน้ำเสียของวันก่อนหน้าที่เก็บข้อมูล ซึ่งมีปริมาณการผลิตมากเพราะจากการประเมินทางทฤษฎี พบว่า น้ำเสีย 1 m³ ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันมี COD ประมาณ 4,000-5,000 mg/L โดยเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้ได้ก๊าซชีวภาพประมาณ 1.60-1.75 m³/ m³ น้ำเสีย



รูปที่ 4-38 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน และการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

4.6 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด และมูลค่าพลังงานที่ทดแทนได้จากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในสหกรณ์ฯ โดยคิดในกรณีที่มีและไม่มีการหมักร่วมระหว่างน้ำเสีย กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันกับมูลสุกร

4.6.1 ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35, 30 และ 25 วัน มีรายละเอียดดังนี้

(1) การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 11.5 ม. ยาว 24 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 617 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 530 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวน 1,046,094 บาท

(2) การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 11 ม. ยาว 22 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 529 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 452 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวน 1,033,736 บาท

(3) การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพมีขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 21 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาณบ่อทั้งหมด (Total Volume) 441 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 374 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างระบบเป็นเงินจำนวน 965,116 บาท

งานก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย งานปรับพื้นที่ งานโครงสร้างบ่อหมัก งานพลาสติกคลุมบ่อและท่อส่งก๊าซ และงานอื่นๆ ได้แก่ งานรั้วลวดหนาม งานติดตั้งประตู งานป้ายหน่วยบำบัด และงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย เป็นต้น ผลรายการประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ HRT 35, 30 และ 25 วัน รายละเอียดดังตาราง 4-17, 4-18 และ 4-19 ตามลำดับ

ตาราง 4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
1	งานปรับพื้นที่							
	งานขุดดิน ปรับดิน	620.00	ลบ.ม.	-	-	150.00	93,000.00	93,000.00
	งานปรับพื้นที่	1.00	งาน	-	-	15,000.00	15,000.00	15,000.00
	งานระบายน้ำเสียออกจากบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	งานส่องกล้องตรวจสอบระดับดิน	1.00	งาน			10,000.00	10,000.00	10,000.00
2	งานโครงสร้างบ่อหมัก							
	งานท่อ PVC 6" 8.5 พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	20.00	ท่อน	1,400.00	28,000.00	300.00	6,000.00	34,000.00
	งานท่อคอนกรีตเสริมเหล็กชั้น 3 ขนาด 1.0 x 0.5 ม.	25.00	วง	350.00	8,750.00	200.00	5,000.00	13,750.00
	ข้องอ 90 PVC 6"	3.00	ชิ้น	1,400.00	4,200.00	200.00	600.00	4,800.00
	ข้อสามทาง PVC 6"	5.00	ชิ้น	450.00	2,250.00	200.00	1,000.00	3,250.00
	ไวเมท 3.8 mm.	55.00	ตร.ม.	70.00	3,850.00	50.00	2,750.00	6,600.00

ตาราง 4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	คอนกรีตคาดเฉพาะจุด 240 ksc	10.00	ลบ.ม.	2,800.00	28,000.00	-	-	28,000.00
	คอนกรีตคาดทั้งบ่อ 240 ksc	50.00	ลบ.ม.	2,800.00	140,000.00	-	-	140,000.00
	ค่าแรงคาดบ่อ	60.00	ตร.ม.	-	-	180.00	10,800.00	10,800.00
	ค่าไม้แบบ	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	3,000.00	3,000.00	11,000.00
3	งานพลาสติกคลุมบ่อและท่อส่งก๊าซ						-	
	ท่อ PVC 3"	15.00	ท่อน	420.00	6,300.00	200.00	3,000.00	9,300.00
	ข้อต่อ 90 PVC 3"	4.00	ชิ้น	90.00	360.00	200.00	800.00	1,160.00
	สามทาง PVC 3"	3.00	ชิ้น	165.00	495.00	50.00	150.00	645.00
	สามทางลด 3" x 1.5"	7.00	ชิ้น	165.00	1,155.00	10.00	70.00	1,225.00
	ท่อ PVC 1"	18.00	ท่อน	120.00	2,160.00	100.00	1,800.00	3,960.00
	Ball valve 3"	2.00	ชิ้น	450.00	900.00	50.00	100.00	1,000.00
	Ball valve 1.5"	7.00	ชิ้น	95.00	665.00	50.00	350.00	1,015.00
	ข้อต่อตรง เกลียวใน 1.1/4"	7.00	ชิ้น	20.00	140.00	20.00	140.00	280.00
	หัวปลาไหล 1.1/4"	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	20.00	280.00	490.00

ตาราง 4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	เข็มขัดรัด	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	10.00	140.00	350.00
	ท่อเหล็ก 1" คัดน้ำเงิน	3.00	เส้น	450.00	1,350.00	150.00	450.00	1,800.00
	ท่อยางแข็ง	12.00	เมตร	100.00	1,200.00	50.00	600.00	1,800.00
	เทปพันเกลียว	4.00	ม้วน	20.00	80.00	15.00	60.00	140.00
	กาวยาท่อ	2.00	กระป๋อง	400.00	800.00	-	-	800.00
	สามทางลด 3" x 2"	2.00	ชิ้น	80.00	160.00	-	-	160.00
	ข้องอ 90 PVC 2"	2.00	ชิ้น	40.00	80.00	-	-	80.00
	ค่าแรง	1.00	งาน	-	-	4,000.00	4,000.00	4,000.00
	ดินสำหรับถมชาย HDPE	55.00	ลบ.ม.	180.00	9,900.00	100.00	5,500.00	15,400.00
	Support ท่อก๊าซภายในบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	Support ท่อก๊าซภายนอกบ่อ (ทุกระยะ 2 ม.)	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	2,500.00	2,500.00	10,500.00
	แผ่น PVC หนา 1.2 มม. สำหรับคลุมโดมบ่อหมัก	700.00	ม ²	280.00	196,000.00	-	-	196,000.00
	แผ่น PVC หนา 1.0 มม. สำหรับปูพื้นบ่อหมัก	300.00	ม ²	250.00	75,000.00	-	-	75,000.00
	ค่าแรงติดตั้ง เชื่อมพลาสติก	1.00	งาน	-	-	35,000.00	35,000.00	35,000.00

ตาราง 4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ค่าขนส่ง	1.00	งาน	17,000.00	17,000.00		-	17,000.00
	อิฐแดง 4 รู	50.00	ก้อน	5.00	250.00	5.00	250.00	500.00
	เชือกผูกขบบ่อ	2.00	กก.	100.00	200.00	200.00	400.00	600.00
	อิฐคาน	170.00	ก้อน	20.00	3,400.00	15.00	2,550.00	5,950.00
4	งานอื่น ๆ						-	
	ชุดควบคุมแรงดัน	1.00	งาน	4,000.00	4,000.00	1,000.00	1,000.00	5,000.00
	งานรั้วลวดหนามตันมุม ขนาด 6"x6"	4.00	ตัน	650.00	2,600.00	150.00	600.00	3,200.00
	งานรั้วลวดหนาม	35.00	ตัน	150.00	5,250.00	50.00	1,750.00	7,000.00
	งานลวดหนาม	5.00	ม้วน	750.00	3,750.00	800.00	4,000.00	7,750.00
	ทรายก่อ	6.00	คิว	600.00	3,600.00	500.00	3,000.00	6,600.00
	หิน	3.00	คิว	700.00	2,100.00	750.00	2,250.00	4,350.00

ตาราง 4-18 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ปูนตราเสือ	15.00	กระสอบ	175.00	2,625.00	300.00	4,500.00	7,125.00
	งานประตูล็อกทางเข้า (2 x 2 ม.)	1.00	ชุด	3,000.00	3,000.00	2,000.00	2,000.00	5,000.00
	งานผูกถังพลาสติก 4 ลูก	4.00	งาน	1,100.00	4,400.00	300.00	1,200.00	5,600.00
	งานป้ายโครงการ	1.00	งาน	10,000.00	10,000.00	-	-	10,000.00
	งานวิเคราะห์น้ำเสีย	3.00	ครั้ง	6,500.00	19,500.00	-	-	19,500.00
รวมราคา								888,780
ค่าดำเนินการ 10%								88,878
รวมภาษี 7%								68,436
รวมราคาทั้งหมด								1,046,094

ตาราง 4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
1	งานปรับพื้นที่							
	งานขุดดิน ปรับดิน	550.00	ลบ.ม.	-	-	150.00	82,500.00	82,500.00
	งานปรับพื้นที่	1.00	งาน	-	-	15,000.00	15,000.00	15,000.00
	งานระบายน้ำเสียออกจากบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	งานส่องกล้องตรวจสอบระดับดิน	1.00	งาน			10,000.00	10,000.00	10,000.00
2	งานโครงสร้างบ่อหมัก							
	งานท่อ PVC 6" 8.5 พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	20.00	ท่อน	1,400.00	28,000.00	300.00	6,000.00	34,000.00
	งานท่อนคอนกรีตเสริมเหล็กชั้น 3 ขนาด 1.0 x 0.5 ม.	25.00	วง	350.00	8,750.00	200.00	5,000.00	13,750.00
	ข้องอ 90 PVC 6"	3.00	ชิ้น	1,400.00	4,200.00	200.00	600.00	4,800.00
	ข้อสามทาง PVC 6"	5.00	ชิ้น	450.00	2,250.00	200.00	1,000.00	3,250.00
	ไวเมท 3.8 mm.	55.00	ตร.ม.	70.00	3,850.00	50.00	2,750.00	6,600.00

ตาราง 4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	คอนกรีตคาดเฉพาะจุด 240 ksc	10.00	ลบ.ม.	2,800.00	28,000.00	-	-	28,000.00
	คอนกรีตคาดทั้งบ่อ 240 ksc	50.00	ลบ.ม.	2,800.00	140,000.00	-	-	140,000.00
	ค่าแรงคาดบ่อ	60.00	ตร.ม.	-	-	180.00	10,800.00	10,800.00
	ค่าไม้แบบ	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	3,000.00	3,000.00	11,000.00
3	งานพลาสติกคลุมบ่อและท่อส่งก๊าซ						-	
	ท่อ PVC 3"	15.00	ท่อน	420.00	6,300.00	200.00	3,000.00	9,300.00
	ข้องอ 90 PVC 3"	4.00	ชิ้น	90.00	360.00	200.00	800.00	1,160.00
	สามทาง PVC 3"	3.00	ชิ้น	165.00	495.00	50.00	150.00	645.00
	สามทางลด 3" x 1.5"	7.00	ชิ้น	165.00	1,155.00	10.00	70.00	1,225.00
	ท่อ PVC 1"	18.00	ท่อน	120.00	2,160.00	100.00	1,800.00	3,960.00
	Ball valve 3"	2.00	ชิ้น	450.00	900.00	50.00	100.00	1,000.00
	Ball valve 1.5"	7.00	ชิ้น	95.00	665.00	50.00	350.00	1,015.00
	ข้อต่อตรง เกลียวใน 1.1/4"	7.00	ชิ้น	20.00	140.00	20.00	140.00	280.00
	หัวปลาไหล 1.1/4"	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	20.00	280.00	490.00

ตาราง 4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	เข็มขัดรัด	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	10.00	140.00	350.00
	ท่อเหล็ก 1" คัดน้ำเงิน	3.00	เส้น	450.00	1,350.00	150.00	450.00	1,800.00
	ท่อยางแข็ง	12.00	เมตร	100.00	1,200.00	50.00	600.00	1,800.00
	เทปพันเกลียว	4.00	ม้วน	20.00	80.00	15.00	60.00	140.00
	กาวทาท่อ	2.00	กระป๋อง	400.00	800.00	-	-	800.00
	สามทางลด 3" x 2"	2.00	ชิ้น	80.00	160.00	-	-	160.00
	ข้องอ 90 PVC 2"	2.00	ชิ้น	40.00	80.00	-	-	80.00
	ค่าแรง	1.00	งาน	-	-	4,000.00	4,000.00	4,000.00
	ดินสำหรับถมชาย HDPE	65.00	ลบ.ม.	180.00	11,700.00	100.00	6,500.00	18,200.00
	Support ท่อก๊าซภายในบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	Support ท่อก๊าซภายนอกบ่อ (ทุกระยะ 2 ม.)	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	2,500.00	2,500.00	10,500.00
	แผ่น PVC หนา 1.2 มม. สำหรับคลุมโดมบ่อหมัก	800.00	ม ²	280.00	224,000.00	-	-	224,000.00
	แผ่น PVC หนา 1.0 มม. สำหรับปูพื้นบ่อหมัก	350.00	ม ²	250.00	87,500.00	-	-	87,500.00
	ค่าแรงติดตั้ง เชื่อมพลาสติก	1.00	งาน	-	-	35,000.00	35,000.00	35,000.00

ตาราง 4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ค่าขนส่ง	1.00	งาน	17,000.00	17,000.00		-	17,000.00
	อิฐแดง 4 ร	50.00	ก้อน	5.00	250.00	5.00	250.00	500.00
	เชือกผูกขบบ่อ	2.00	กก.	100.00	200.00	200.00	400.00	600.00
	อิฐکان	170.00	ก้อน	20.00	3,400.00	15.00	2,550.00	5,950.00
4	งานอื่น ๆ						-	
	ชุดควบคุมแรงดัน	1.00	งาน	4,000.00	4,000.00	1,000.00	1,000.00	5,000.00
	งานรื้อลวดหนามต้นมุม ขนาด 6"x6"	4.00	ต้น	650.00	2,600.00	150.00	600.00	3,200.00
	งานรื้อลวดหนาม	35.00	ต้น	150.00	5,250.00	50.00	1,750.00	7,000.00
	งานลวดหนาม	5.00	ม้วน	750.00	3,750.00	800.00	4,000.00	7,750.00
	ทรายก่อ	6.00	คิว	600.00	3,600.00	500.00	3,000.00	6,600.00
	หิน	3.00	คิว	700.00	2,100.00	750.00	2,250.00	4,350.00

ตาราง 4-19 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ปูนตราเสือ	15.00	กระสอบ	175.00	2,625.00	300.00	4,500.00	7,125.00
	งานประตูล็อกทางเข้า (2 x 2 ม.)	1.00	ชุด	3,000.00	3,000.00	2,000.00	2,000.00	5,000.00
	งานผูกถังพลาสติก 4 ลูก	4.00	งาน	1,100.00	4,400.00	300.00	1,200.00	5,600.00
	งานป้ายโครงการ	1.00	งาน	10,000.00	10,000.00	-	-	10,000.00
	งานวิเคราะห์น้ำเสีย	3.00	ครั้ง	6,500.00	19,500.00	-	-	19,500.00
รวมราคา								878,280
ค่าดำเนินการ 10%								87,828
รวมภาษี 7%								67,628
รวมราคาทั้งหมด								1,033,736

ตาราง 4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
1	งานปรับพื้นที่							
	งานขุดดิน ปรับดิน	450.00	ลบ.ม.	-	-	150.00	67,500.00	67,500.00
	งานปรับพื้นที่	1.00	งาน	-	-	15,000.00	15,000.00	15,000.00
	งานระบายน้ำเสียออกจากบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	งานส่องกล้องตรวจสอบระดับดิน	1.00	งาน			10,000.00	10,000.00	10,000.00
2	งานโครงสร้างบ่อหมัก							
	งานท่อ PVC 6" 8.5 พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	20.00	ท่อน	1,400.00	28,000.00	300.00	6,000.00	34,000.00
	งานท่อคอนกรีตเสริมเหล็กชั้น 3 ขนาด 1.0 x 0.5 ม.	25.00	วง	350.00	8,750.00	200.00	5,000.00	13,750.00
	ข้องอ 90 PVC 6"	3.00	ชิ้น	1,400.00	4,200.00	200.00	600.00	4,800.00
	ข้อสามทาง PVC 6"	5.00	ชิ้น	450.00	2,250.00	200.00	1,000.00	3,250.00
	เหล็ก RB 6 มม.	55.00	ตร.ม.	70.00	3,850.00	50.00	2,750.00	6,600.00

ตาราง 4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	คอนกรีตคานาเฉพาะจุด 240 ksc	10.00	ลบ.ม.	2,800.00	28,000.00	-	-	28,000.00
	คอนกรีตคานาทั้งบ่อ 240 ksc	50.00	ลบ.ม.	2,800.00	140,000.00	-	-	140,000.00
	ค่าแรงคานาบ่อ	60.00	ตร.ม.	-	-	180.00	10,800.00	10,800.00
	ค่าไม้แบบ	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	3,000.00	3,000.00	11,000.00
3	งานพลาสติกคลุมบ่อและท่อส่งก๊าซ						-	
	ท่อ PVC 3"	15.00	ท่อน	420.00	6,300.00	200.00	3,000.00	9,300.00
	ข้อต่อ 90 PVC 3"	4.00	ชิ้น	90.00	360.00	200.00	800.00	1,160.00
	สามทาง PVC 3"	3.00	ชิ้น	165.00	495.00	50.00	150.00	645.00
	สามทางลด 3" x 1.5"	7.00	ชิ้น	165.00	1,155.00	10.00	70.00	1,225.00
	ท่อ PVC 1"	18.00	ท่อน	120.00	2,160.00	100.00	1,800.00	3,960.00
	Ball valve 3"	2.00	ชิ้น	450.00	900.00	50.00	100.00	1,000.00
	Ball valve 1.5"	7.00	ชิ้น	95.00	665.00	50.00	350.00	1,015.00
	ข้อต่อตรง เกลียวใน 1.1/4"	7.00	ชิ้น	20.00	140.00	20.00	140.00	280.00
	หัวปลาไหล 1.1/4"	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	20.00	280.00	490.00

ตาราง 4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	เข็มขัดรัด	14.00	ชิ้น	15.00	210.00	10.00	140.00	350.00
	ท่อเหล็ก 1" คัดน้ำเงิน	3.00	เส้น	450.00	1,350.00	150.00	450.00	1,800.00
	ท่อยางแข็ง	12.00	เมตร	100.00	1,200.00	50.00	600.00	1,800.00
	เทปพันเกลียว	4.00	ม้วน	20.00	80.00	15.00	60.00	140.00
	กาวยาท่อ	2.00	กระป๋อง	400.00	800.00	-	-	800.00
	สามทางลด 3" x 2"	2.00	ชิ้น	80.00	160.00	-	-	160.00
	ข้องอ 90 PVC 2"	2.00	ชิ้น	40.00	80.00	-	-	80.00
	ค่าแรง	1.00	งาน	-	-	4,000.00	4,000.00	4,000.00
	ดินสำหรับถมชาย HDPE	55.00	ลบ.ม.	180.00	9,900.00	100.00	5,500.00	15,400.00
	Support ท่อก๊าซภายในบ่อ	1.00	งาน	-	-	5,000.00	5,000.00	5,000.00
	Support ท่อก๊าซภายนอกบ่อ (ทุกระยะ 2 ม.)	1.00	งาน	8,000.00	8,000.00	2,500.00	2,500.00	10,500.00
	แผ่น PVC หนา 1.2 มม. สำหรับคลุมโดมบ่อหมัก	700.00	ม ²	280.00	196,000.00	-	-	196,000.00
	แผ่น PVC หนา 1.0 มม. สำหรับปูพื้นบ่อหมัก	300.00	ม ²	250.00	75,000.00	-	-	75,000.00
	ค่าแรงติดตั้ง เชื่อมพลาสติก	1.00	งาน	-	-	35,000.00	35,000.00	35,000.00

ตาราง 4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ค่าขนส่ง	1.00	งาน	17,000.00	17,000.00		-	17,000.00
	อิฐแดง 4 ร	50.00	ก้อน	5.00	250.00	5.00	250.00	500.00
	เชือกผูกขบบ่อ	2.00	กก.	100.00	200.00	200.00	400.00	600.00
	อิฐคาน	170.00	ก้อน	20.00	3,400.00	15.00	2,550.00	5,950.00
4	งานอื่น ๆ						-	
	ชุดควบคุมแรงดัน	1.00	งาน	4,000.00	4,000.00	1,000.00	1,000.00	5,000.00
	งานรื้อลวดหนามต้นมุม ขนาด 6"x6"	4.00	ต้น	650.00	2,600.00	150.00	600.00	3,200.00
	งานรื้อลวดหนาม	35.00	ต้น	150.00	5,250.00	50.00	1,750.00	7,000.00
	งานลวดหนาม	5.00	ม้วน	750.00	3,750.00	800.00	4,000.00	7,750.00
	ทรายก่อ	6.00	คิว	600.00	3,600.00	500.00	3,000.00	6,600.00
	หิน	3.00	คิว	700.00	2,100.00	750.00	2,250.00	4,350.00

ตาราง 4-20 ประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		รวมราคา
				ราคา	รวม	ราคา	รวม	
	ปูนตราเสือ	15.00	กระสอบ	175.00	2,625.00	300.00	4,500.00	7,125.00
	งานประตูเหล็กทางเข้า (2 x 2 ม.)	1.00	ชุด	3,000.00	3,000.00	2,000.00	2,000.00	5,000.00
	งานผูกถังพลาสติก 4 ลูก	4.00	งาน	1,100.00	4,400.00	300.00	1,200.00	5,600.00
	งานป้ายโครงการ	1.00	งาน	10,000.00	10,000.00	-	-	10,000.00
	งานวิเคราะห์น้ำเสีย	3.00	ครั้ง	6,500.00	19,500.00	-	-	19,500.00
รวมราคา								819,980
ค่าดำเนินการ 10%								81,998
รวมภาษี 7%								63,138
รวมราคาทั้งหมด								965,116

ผลการประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ระยะเวลาเก็บน้ำเสีย (HRT) 35, 30 และ 25 วัน มีมูลค่าการก่อสร้างเป็นเงินจำนวนประมาณ 1,046,094, 1,033,736 และ 965,116 บาท ตามลำดับ ทั้งนี้ ราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่หน้างานของสหกรณ์ฯ

4.6.2 ผลประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะทำการประเมินภายใต้ค่าระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน ซึ่งคิดในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว และกรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1% , 2% และ 3% ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

1. ราคาค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 1,046,094 บาท
2. น้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเข้าระบบฯ เฉลี่ย 15 m³/d
3. มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้จากการเก็บข้อมูลของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง สามารถลดการใช้ไม้ฟืนได้ 25% หรือ 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน
4. กำลังการผลิตยาง 2,500 กก.ต่อวัน
5. จำนวนวันที่ผลิตยาง 200 วันต่อปี
6. ค่ามูลสุกรรวมค่าขนส่งแล้ว 2.00 บาทต่อกก.

ตารางที่ 4-21 ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ในกรณีต่างๆ

สัดส่วนมูลสุกรที่เพิ่ม (%TS)	0	1	2	3
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อลิตรน้ำเสีย)	1.54	3.09	4.71	7.21
สัดส่วนก๊าซที่เพิ่มขึ้น (เท่า)	1.00	2.01	3.06	4.68
มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ (บาทต่อกก.ยาง) คิดที่ 1 บาทต่อกก.ไม้ฟืน	0.14	0.28	0.43	0.66
ปริมาณมูลสุกรที่เติมที่ 1% ของ 15 ลบ.ม. (กก.ต่อวัน)	0	150	300	450
มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ (บาทต่อวัน)	350	702	1,070	1,639
ค่ามูลสุกร (บาทต่อวัน)	0	300	600	900
มูลค่าสุทธิ (บาทต่อวัน)	350	402	470	739
มูลค่าสุทธิ (บาทต่อปี)	70,000	80,455	94,091	147,727
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	14.9	13.0	11.1	7.1

(1) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว

การคำนวณ

- ค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ = 1,046,094 บาท

- ผลตอบแทน คือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ 25% หรือ 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน

ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ มีกำลังการผลิต 2.5 ตันต่อวัน ดังนั้น $2,500 \text{ kg/d} \times 0.14 \text{ บาท/kg}$ ยางแผ่น

รมควัน = 350 บาทต่อวัน

- เมื่อสหกรณ์ฯ ผลิตยาง 200 วันต่อปี

ดังนั้น คิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดไม้ฟืนได้ = $350 \text{ บาทต่อวัน} \times 200 \text{ วันต่อปี}$
= 70,000 บาทต่อปี

- เมื่อแทนค่าในสูตร

ระยะเวลาการคืนทุน = เงินลงทุน/ผลตอบแทน

ระยะเวลาการคืนทุน = $\frac{1,046,094 \text{ บาท}}{70,000 \text{ บาทต่อปี}}$
= 14.9 ปี

ฉะนั้น การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ในกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว มีผลตอบแทนคือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 70,000 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 14.9 ปี

(2) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 1%

การคำนวณ

- ค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ = 1,046,094 บาท

- ผลตอบแทน คือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ 25% หรือ 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ มีกำลังการผลิต 2.5 ton/d และมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 1%TS ซึ่งมีการผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.01 เท่าของกรณีที่ใช้น้ำเสียอย่างเดียว ดังนั้น เมื่อมีกำลังการผลิต 2,500 กก.ต่อวัน $\times 0.28 \text{ บาทต่อกก.ยาง} = 702 \text{ บาทต่อวัน}$ และหักค่าใช้จ่ายในการซื้อมูลสุกรปริมาณ 300 บาทต่อวัน (คิดที่ราคามูลสุกร 2.00 บาทต่อกก.) ดังนั้น ผลตอบแทนที่ได้เมื่อมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 1%TS เท่ากับ $702 - 300 = 402 \text{ บาทต่อวัน}$

- เมื่อสหกรณ์ฯ ผลิตยาง 200 วันต่อปี

ดังนั้น คิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดไม้ฟืนได้ = $402 \text{ บาทต่อวัน} \times 200 \text{ วันต่อปี}$
= 80,455 บาทต่อปี

- เมื่อแทนค่าในสูตร

ระยะเวลาการคืนทุน = เงินลงทุน/ผลตอบแทน

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาการคืนทุน} &= \frac{1,046,094 \text{ บาท}}{80,455 \text{ บาทต่อปี}} \\ &= 13.0 \text{ ปี}\end{aligned}$$

ฉะนั้น การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ที่ 1%TS มีผลตอบแทนคือมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 80,455 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 13.0 ปี

(3) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 2%

การคำนวณ

- ค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ = 1,046,094 บาท

- ผลตอบแทน คือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ 25% หรือ 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ มีกำลังการผลิต 2.5 ตันต่อวัน และมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 2%TS ซึ่งมีการผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.06 เท่าของกรณีที่ใช้ น้ำเสียอย่างเดียว ดังนั้น เมื่อมีกำลังการผลิต 2,500 กก.ต่อวัน $\times 0.43$ บาทต่อกก.ยาง = 1,070 บาทต่อวัน และหักค่าใช้จ่ายในการซื้อมูลสุกรปริมาณ 600 บาทต่อกก. (คิดที่ราคาดมูลสุกร 2.00 บาทต่อกก.) ดังนั้น ผลตอบแทนที่ได้เมื่อมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 2%TS เท่ากับ $1,070 - 600 = 470$ บาทต่อวัน

- เมื่อสหกรณ์ฯ ผลิตยาง 200 วันต่อปี

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น คิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดไม้ฟืนได้} &= 470 \text{ บาทต่อวัน} \times 200 \text{ วันต่อปี} \\ &= 94,091 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

- เมื่อแทนค่าในสูตร

ระยะเวลาการคืนทุน = เงินลงทุน/ผลตอบแทน

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาการคืนทุน} &= \frac{1,046,094 \text{ บาท}}{94,091 \text{ บาทต่อปี}} \\ &= 11.1 \text{ ปี}\end{aligned}$$

ฉะนั้น การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ที่ 2%TS มีผลตอบแทนคือมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 94,091 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 11.1 ปี

(4) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่มีการหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันที่ TS เท่ากับ 3%

การคำนวณ

- ค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ = 1,046,094 บาท

- ผลตอบแทน คือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ 25% หรือ 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน ทั้งนี้ สหกรณ์ฯ มีกำลังการผลิต 2.5 ตันต่อวัน และมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 3%TS ซึ่งมีการผลิตก๊าซชีวภาพได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.68 เท่าของ 0%TS ดังนั้น เมื่อมีกำลังการผลิต 2,500 กก.ต่อวัน $\times$ 0.66 บาทต่อกก.ยาง = 1,639 บาทต่อวัน และหักค่าใช้จ่ายในการซื้อมูลสุกรปริมาณ 900 บาทต่อกก. (คิดที่ราคามูลสุกร 1 บาทต่อกก.) ดังนั้น ผลตอบแทนที่ได้เมื่อมีการเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันเท่ากับ 3%TS เท่ากับ $1,639 - 900 = 739$ บาทต่อวัน

- เมื่อสหกรณ์ฯ ผลิตยาง 200 วันต่อปี

ดังนั้น คิดเป็นมูลค่าที่สามารถประหยัดไม้ฟืนได้ $= 739 \text{ บาทต่อวัน} \times 200 \text{ วันต่อปี}$
 $= 147,727 \text{ บาทต่อปี}$

- เมื่อแทนค่าในสูตร

ระยะเวลาการคืนทุน $= \text{เงินลงทุน/ผลตอบแทน}$

ระยะเวลาการคืนทุน $= \frac{1,046,094 \text{ บาท}}{147,727 \text{ บาทต่อปี}}$
 $= 7.1 \text{ ปี}$

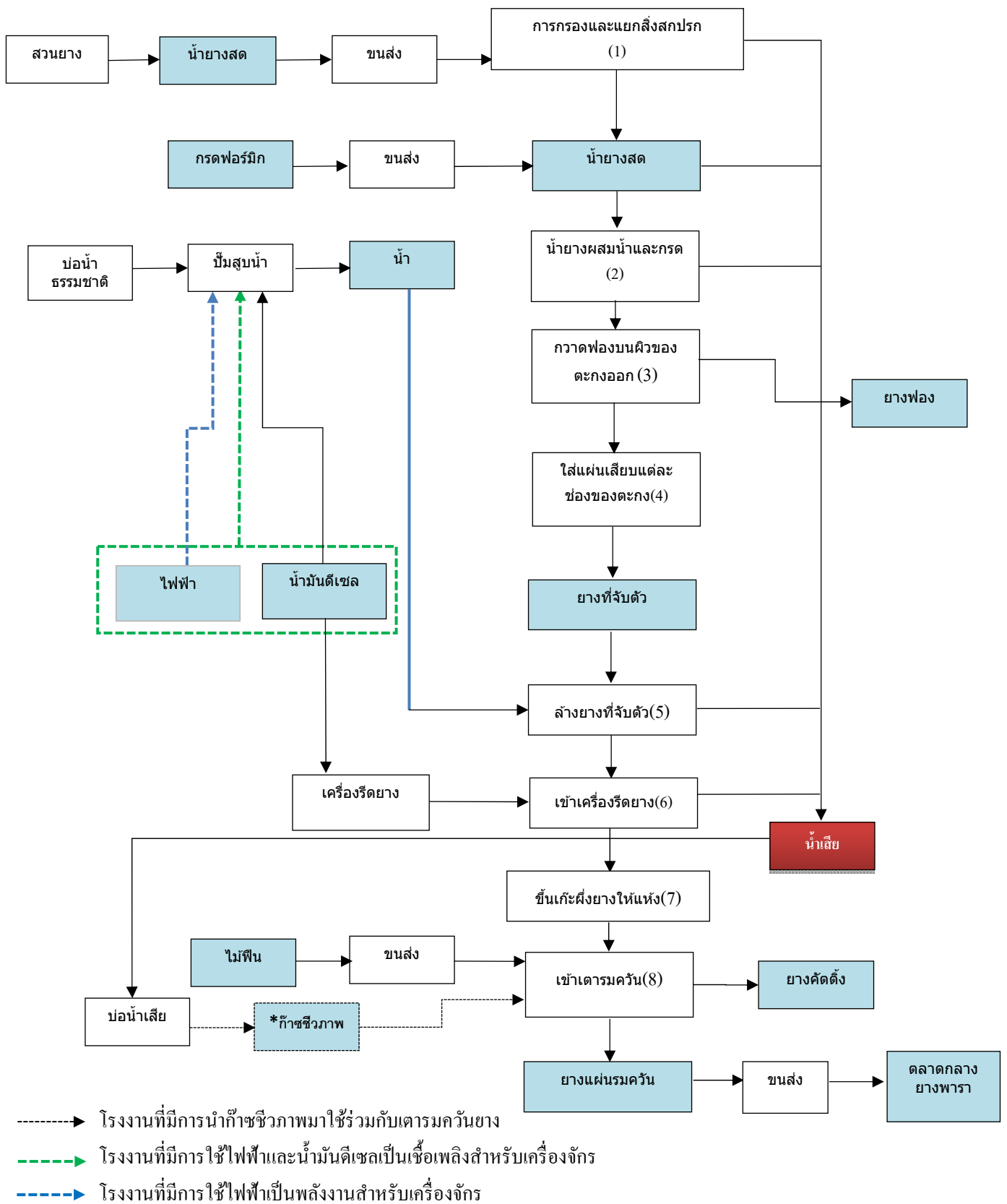
ฉะนั้น การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 35 วัน ที่ 3%TS มีผลตอบแทนคือ มูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้ เท่ากับ 147,727 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 7.1 ปี

4.7 ประเมินปริมาณ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

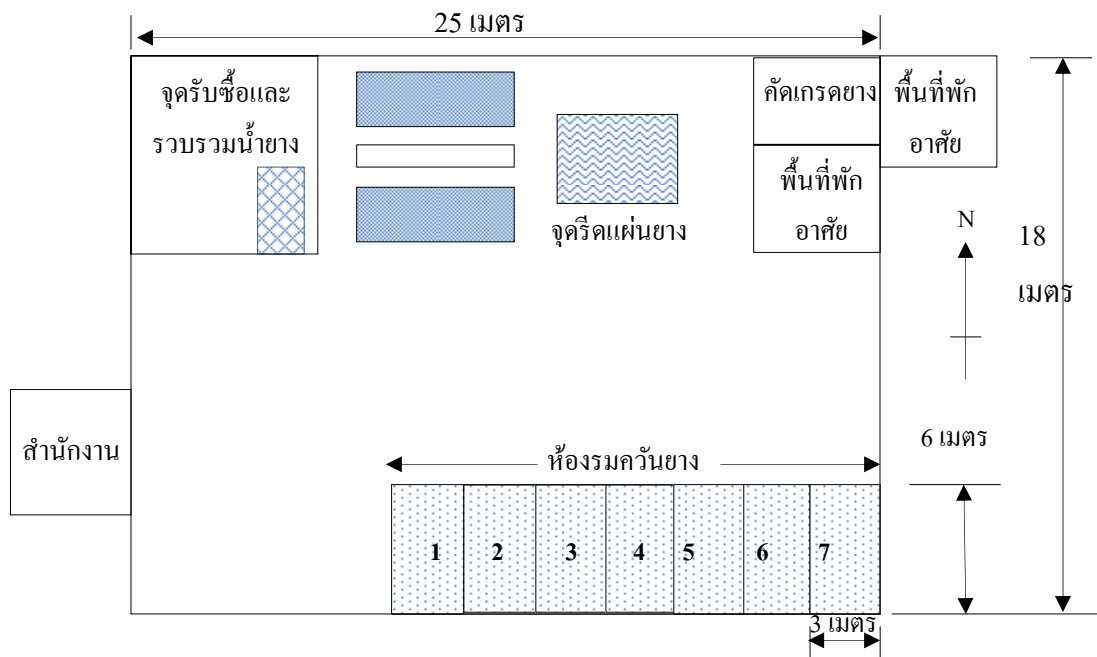
งานวิจัยนี้มุ่งประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของโรงงานยางแผ่นรมควันสหกรณ์กองทุนสวนยางในจังหวัดสงขลา โดยเครื่องมือของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อหาปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางจังหวัดสงขลา จำนวน 9 โรงงาน และเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากกระบวนการผลิตที่ใช้และไม่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยการศึกษาจำกัดขอบเขตเฉพาะกระบวนการผลิต (Cradle-to-Gate) โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาวิจัยดังนี้

4.7.1 รูปแบบของกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางจังหวัดสงขลา

รูปแบบของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยางจำนวน 9 โรงงาน เป็นรูปแบบเดียวกัน ยกเว้น 1 แห่ง คือ โรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด โรงงานแห่งนี้ มีลักษณะแตกต่างในส่วนของการบำบัดน้ำเสีย โดยมีการนำก๊าซชีวภาพจากบ่อบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการผลิต ผู้วิจัยจึงแบ่งกลุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์เป็น 2 รูปแบบ คือ โรงงานที่มีการใช้และไม่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม ขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูปที่ 4-39 โดยลักษณะรูปแบบอาคารของสหกรณ์ทุกโรงงานมีลักษณะผังรูปแบบอาคาร ดังรูปที่ 4-40



รูปที่ 4-39 รูปแบบของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง



รูปที่ 4-40 แผนผังโรงงานยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา

4.7.1.1 วัตถุดิบและขั้นตอนการผลิตยางแผ่นรมควัน

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง ได้แก่ น้ำยางสด กรดฟอร์มิก และน้ำ โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันแสดงในรูปที่ 4-39 เริ่มจากสมาชิกชาวสวนยางของโรงงานสหกรณ์ ทำการขนส่งน้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางพารามาขายให้กับทางโรงงานสหกรณ์ ในช่วงเช้า โดยพาหนะที่ใช้ในการขนส่งน้ำยางสดของสมาชิกส่วนใหญ่คือรถมอเตอร์ไซด์ 4 จังหวะ ดังรูปที่ 4-41 โดยระยะทางในการขนส่งจากการสอบถามข้อมูลพบว่า การขนส่งน้ำยางสดในแต่ละครั้งของเกษตรกร มีความไม่แน่นอนของระยะทางในการขนส่งเนื่องจากสภาพภูมิประเทศของในแต่ละพื้นที่ (แต่ละอำเภอ) มีความลาดชันตามพื้นที่ ซึ่งทางเกษตรกรเองไม่สามารถระบุระยะทางที่แน่นอนให้กับผู้วิจัยได้ ผู้วิจัยจึงใช้การสอบถามเกษตรกรที่มาส่งน้ำยางสดเพื่อขายให้กับทางสหกรณ์ ระยะทางเฉลี่ยที่ได้จากการสอบถามมีรัศมีไม่เกิน 5 กิโลเมตร จากสวนยางมายังสหกรณ์กองทุนสวนยางในแต่ละแห่ง จากนั้นทางโรงงานจะทำการกรอง แยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำยางสดด้วยตะแกรง ก่อนนำน้ำยางสดที่ผ่านการกรองจะเข้าในถังรวมน้ำยางสด ดังรูปที่ 4-42



รูปที่ 4-41 การขนส่งน้ำไปยังสหกรณ์ฯ ของชาวสวนยาง



ก. ถังรวมน้ำยางสด และวิธีการเทรวมน้ำยางสดสู่ถังรวมน้ำยางสด



ข. การกรองน้ำยางสดโดยใช้ตะแกรง เข้าสู่บ่อรับน้ำยางสด

รูปที่ 4-42 การรวบรวมน้ำยางสดและการกรองน้ำยางสดสู่บ่อรวมน้ำยาง

จากนั้นน้ำยางสดที่ผ่านการกรองในถังรวบรวม จะถูกลำเลียงไปยังบ่อแช่ยาง หรือ ตะกง โดยใช้สายยางขนาดใหญ่ในการปล่อยน้ำยางสดและน้ำ จากถังรวมน้ำยางเข้าสู่ตะกง ดังรูปที่ 4-43 การใช้สากหรือเครื่องมือขุดลอกในตะกง ส่วนยางที่ตกค้างในตะกง 9 โรงงานมีการใช้น้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับกระบวนการผลิต โดยน้ำจะถูกสูบไปยังถังเก็บน้ำ จำนวน 3 ถัง ปริมาตรถังละ 1 ลบ.ม. (ไม่มีสวิตช์ลากลอย) ทำการสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำ 1 ครั้งต่อวัน (น้ำอาจจะใช้ไม่หมดใน 1 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางสดที่ใช้ในกระบวนการผลิต)



ก. ตะกง



ข. การลำเลียงน้ำยางสดลงสู่ตะกงโดยใช้สายยาง



ค. การผสมน้ำยางในตะกง และการตักฟองยาง

รูปที่ 4-43 การลำเลียงน้ำยางสดและการผสมน้ำยางในตะกงยาง

ในตะกงมีการผสมน้ำยางสด น้ำ และกรดฟอร์มิค ซึ่งในการผสมเพื่อให้ยางจับตัวเป็นก้อน นั้นจะเกิดของเสียในขั้นตอนดังกล่าว คือ น้ำเสีย และยางฟอง เมื่อปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้ยางจับตัวกันเป็นก้อน คนงานจะใช้อุปกรณ์กวาดฟองยางที่เกิดขึ้น และนำไปพักไว้เพื่อขายเป็นยางฟองต่อไป จากนั้นคนงานจะนำแผ่นอลูมิเนียมขนาดพอดีกับช่องในตะกง จำนวน 49 แผ่น เสียบลงวาง ในขณะที่น้ำยางที่ผสมยังไม่เกิดการจับตัว เพื่อให้ได้ยางแผ่นดิบ ดังนั้น ใน 1 ตะกงจะเกิดยางแผ่นดิบ จำนวน 50 แผ่น

เมื่อเกิดการจับตัวของวัตถุดิบที่กล่าวนำข้างต้นแล้ว คนงานจะนำแผ่นที่เสียบไว้ออก ได้เป็นยางแผ่นดิบที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 4-44



ก. วิธีการผสมน้ำยางลงในตะก



ข. การเสียบแผ่นอลูมิเนียมลงในตะก



ค. ยางแผ่นดิบ

รูปที่ 4-44 กระบวนการทำแผ่นยางดิบ

กรดฟอร์มิกของโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยางจะเป็นกรดฟอร์มิก 94% ขนาดถังบรรจุ 35 กิโลกรัม โดยทางโรงงานสหกรณ์จะมีการซื้อกรดฟอร์มิกครั้งละประมาณ 6-10 แกลอนต่อครั้ง ตามกำลังการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังรูปที่ 4-45



รูปที่ 4-45 ถังกรดฟอร์มิก

โดยการขนส่งกรดฟอร์มิกจากการสอบถามและศึกษาแหล่งที่มาของกรดฟอร์มิกทำให้ทราบว่าแหล่งที่มาจากประเทศจีน โดยมีการขนส่งทางเรือจนมาถึงซัพพลายเออร์ในประเทศไทย จากนั้นไปยังร้านค้าปลีกในแต่ละจังหวัด และถูกขนส่งมายังโรงงานสหกรณ์ตามลำดับ ดังรูปที่ 4-46



รูปที่ 4-46 การขนส่งกรดฟอร์มิกจากแหล่งกำเนิดจนถึงสหกรณ์

เมื่อได้ยางแผ่นดิบที่มีลักษณะเป็นสีเหลือง มีความหนาพอประมาณแล้ว จึงมีการลำเลียงไปยังบ่อแช่ยางเพื่อล้างทำความสะอาดก่อนนำเข้าไบริดที่จักรรีดยาง ดังรูปที่ 4-47



รูปที่ 4-47 การลำเลียงยางแผ่นดิบก่อนรีด

การรีดยาง ทำเพื่อรีดน้ำที่อยู่ในแผ่นยางออกก่อนที่จะทำให้เป็นยางแผ่นบางลง ดังรูปที่ 4-48 ยางที่ผ่านการรีดแล้วจะถูกนำไปตากไว้บนราว (เกะ) เพื่อนำไปเข้าเตาอบรมควันยางแผ่นต่อไป ดังรูปที่ 4-49



รูปที่ 4-48 การรีดยาง



รูปที่ 4-49 ยางที่ผ่านการรีด และการตากแผ่นยางบนราว (เก๊าะ)

เมื่อคนงานได้เรียงยางแผ่นเป็นที่เรียบร้อยจะนำเข้าไปยังเตาอบรมควันยาง ซึ่งในส่วนของการรมควันยาง จะมีการเผาไหม้ไม้ฟืนเพื่อนำความร้อนไปใช้ในการรมควันยาง ดังรูปที่ 4-50



รูปที่ 4-50 ยางแผ่นดิบที่ถูกถ้ำเลี้ยงเข้าห้องรมควัน (ซ้าย) และการรมควันยาง (ขวา)

3.7.1.2 เชื้อเพลิงและพลังงาน ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

(ก) เชื้อเพลิง

ไม้พืนที่โรงงานสหกรณ์ใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการรมควันยาง จากการสอบถามพบว่าจะมีการบรรทุกไม้พืนมาขนส่งครั้งละมากๆ เต็มคันรถบรรทุก ดังรูปที่ 4-51 โดยส่วนใหญ่จะเป็นการขนส่งจากพื้นที่ในแต่ละสหกรณ์นั้นๆ เนื่องจากยังมีการบรรทุกในระยะทางที่มากย่อมส่งผลต่อราคาไม้พืนที่สูงขึ้น ดังนั้นจากการสอบถามข้อมูลจากผู้บรรทุกไม้พืนมาส่งยังสหกรณ์นั้น ทางผู้วิจัยได้สอบถามราคาไม้พืนต่อเที่ยวที่บรรทุกมาเต็มคันรถราคา 1,700 บาท หรือไม้พืนกิโลกรัมละ 1.70 บาท กำหนดสถานการณ์สำหรับใช้ในการคำนวณ คือ ระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งเท่ากับ 20 กิโลเมตร



รูปที่ 4-51 การขนส่งไม้พืนโดยรถกระบะบรรทุกมายังสหกรณ์

(ข) พลังงาน

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยางนั้นมียู 2 แบบ คือ พลังงานไฟฟ้า และ การใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันดีเซลควบคู่กันสำหรับเครื่องสูบน้ำ และจักรรีดยางในแต่ละโรงงานสหกรณ์ โดยโรงงานสหกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรทั้งเครื่องสูบน้ำและจักรรีดยางมีอยู่ด้วยกัน 6 โรงงาน ได้แก่ สกย.บ้านทรายขาว สกย.บ้านหุแร่ สกย.บ้านคลองเขาล้อน สกย.ตำบลเกาะใหญ่ สกย.บ้านควนนา และ สกย.บ้านยางงาม และ โรงงานสหกรณ์ ที่มีการใช้พลังงานดีเซลและไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรทั้งเครื่องสูบน้ำและจักรรีดยาง มีอยู่ด้วยกัน 3 โรงงาน ได้แก่ สกย.บ้านป่ายาง สกย.บ้านยางทอง และ สกย.บ้านเก่าร้าง และในการขนส่งเชื้อเพลิงในส่วนของน้ำมันดีเซลนั้น ทางโรงงานสหกรณ์มีการบรรทุกน้ำมันใส่แกลอนมาจาก ปิมน้ำมันในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงานสหกรณ์

4.7.1.3 ผลิตรภัณฑ์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

ผลิตรภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตคือ ยางแผ่นรมควัน และผลิตรภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้น คือ ยางฟอง ยางคัตตัง และ เศษยาง ดังรูปที่ 4-52, 4-53 และ 4-54 ตามลำดับ



รูปที่ 4-52 ผลิตรภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน



ก. การเกิดฟองยางบนตะก

ข. ฟองยางที่เกิดขึ้นเมื่อแห้งขายเป็นเศษยางชั้นดี

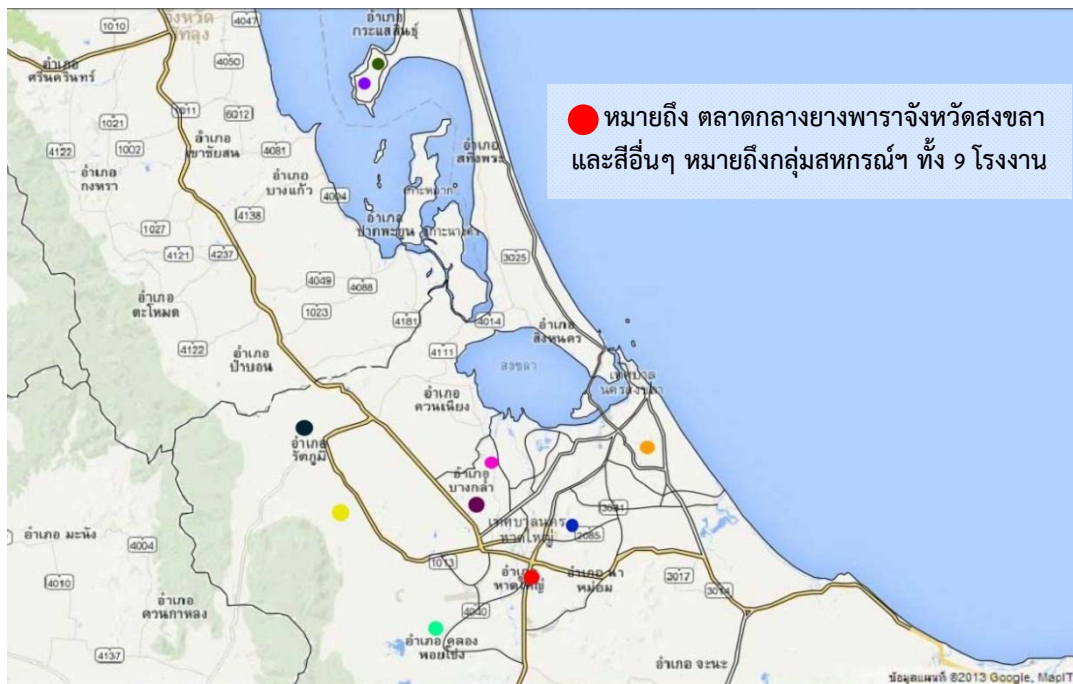
รูปที่ 4-53 ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ยางฟอง)



รูปที่ 4-54 ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ยางคัตตั้ง)

4.7.1.4 การขนส่งผลิตภัณฑ์ (ยางแผ่นรมควัน)

ผลการสอบถามและเก็บรวบรวมข้อมูลในการขนส่งยางแผ่นรมควัน จากเจ้าหน้าที่ที่ดำเนินการในการนำยางแผ่นรมควันไปขายยังตลาดกลางยางพาราพบว่า มีการบรรทุกผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปขายครั้งละ 1 รถกระบะบรรทุก ถ้ามากกว่านั้นจะมีการขนส่งในวันถัดไป และในกรณีที่บางพื้นที่มีระยะทางที่ไกลพอสมควรจากสหกรณ์จนถึงตลาดกลางจึงมีการรวบรวมยางแผ่นที่ผลิตได้ในแต่ละวันนำมาบรรทุกและขนส่งไปขายยังตลาดกลางอาทิตย์ละ 2-3 ครั้ง โดยค่าระยะทางการขนส่งยางแผ่นรมควันไปยังตลาดกลางยางพารา จ.สงขลา ของแต่ละโรงงานสหกรณ์แสดง ดังรูปที่ 4-55 และ 4-56



รูปที่ 4-55 ที่ตั้งโรงงานสหกรณ์ 9 แห่ง และตลาดกลางยางพารา

ระยะทางจาก สกย.ถึงตลาดกลาง (km.)

ระยะทางจาก สกย.ถึงตลาดกลาง (km.)

9.บ้านเก่าร้าง จำกัด	43
8.บ้านยางงาม จำกัด	12.5
7.บ้านควนนา จำกัด	20
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	88.4
5.บ้านคลองเขาสอน จำกัด	37.3
4.บ้านยางทอง จำกัด	91.1
3.บ้านหุแร่ จำกัด	18.7
2.บ้านทรายขาว	22.2
1. บ้านปายาง จำกัด	11.2

รูปที่ 4-56 กราฟแสดงระยะทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์ (ยางแผ่นรมควัน) ไปยัง
ตลาดกลางยางพารา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

4.7.1.5 ของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

น้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นน้ำล้างวัสดุ อุปกรณ์ ถังรับน้ำยาง ล้างตัวกรองสำหรับกรองน้ำยาง น้ำจากบ่อแช่ยาง หรือตะกอนจับตัวยาง จะไหลลงสู่บ่อดักยาง (rubber trap) เพื่อดักเศษยางในกระบวนการผลิต แล้วไหลลงสู่บ่อบำบัดต่อไป ทั้งนี้ทางโรงงานสหกรณ์ไม่มีการจัดการในเรื่องของน้ำเสียที่เหมาะสมจึงทำให้เกิดมลพิษจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันนอกจากปัญหาด้านการบำบัดน้ำเสียแล้ว ยังมีกลิ่นเหม็นที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียงอีกด้วย แต่ทั้งนี้ได้มีวิธีการการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง คือ การประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการรมควันยาง ซึ่งมีการดำเนินการแล้วในโรงงานหนึ่งแห่ง คือ โรงงานสหกรณ์บ้านเก่าร้าง จำกัด ดังนั้นนอกจากการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยจากโรงงาน สกย. ในจังหวัดสงขลา ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างคือ โรงงานสหกรณ์ที่มีและไม่มีการติดตั้งระบบบ่อบำบัดน้ำเสียชีวภาพ เพื่อนำก๊าซที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการรมควันยาง ซึ่งกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วม ของ โรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านเก่าร้าง จำกัด อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา จากเดิมโรงงานมีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบ่อบำบัด แต่มีปัญหาเรื่องกลิ่นซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนใกล้เคียง จึงมีการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ พบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 และได้ก๊าซชีวภาพสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในการรมควันยางแผ่น (สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ อิศรา รักงาม, 2552)

4.7.2 ข้อมูลรายการและปริมาณวัตถุดิบ พลังงาน และผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

ในการเก็บตัวอย่างข้อมูลการใช้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ มีการจัดเก็บข้อมูลและรายละเอียดของในแต่ละสหกรณ์เป็นรูปแบบเดียวกันทั้ง 9 โรงงาน โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงาน 9 แห่ง พบว่าโรงงานแต่ละแห่งมีรายการและปริมาณการใช้วัตถุดิบ และพลังงานในกระบวนการผลิต ดังตาราง 4-21 และมีรายละเอียดดังนี้

4.7.2.1 ข้อมูลการใช้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

(ก) ข้อมูลวัตถุดิบ (น้ำยางสด กรดฟอร์มิก และ น้ำ)

โรงงานของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา ทั้ง 9 แห่ง ดำเนินการผลิตยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในปี 2553 ดังตาราง 4-22

ตาราง 4-22 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแผ่นรมควัน ปี 2553 ของ 9 โรงงาน

รายชื่อสหกรณ์ กองทุนสวนยาง	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (ต่อปี)		
	น้ำยางสด (กก.)	กรดฟอร์มิก (กก.)	น้ำ (ลบ.ม)
1. บ้านป่ายาง จำกัด	1,341,040.00	3,259.59	2,381.96
2. บ้านทรายขาว	1,272,261.67	3,587.88	2,260.29
3. บ้านหูแร่ จำกัด	859,476.67	4,115.43	1,530.07

4.บ้านยางทอง จำกัด	588,225.60	881.22	1,050.23
5.บ้านคลองเขาล้อน จำกัด	645,030.00	2,151.03	1,150.72
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	513,727.10	1,646.44	918.44
7.บ้านควนนา จำกัด	677,676.67	1,820.18	1,208.47
8.บ้านยางงาม จำกัด	3,068,116.33	9,978.92	5,437.16
9.บ้านเก่าร้าง จำกัด	1,282,295.73	2,806.55	2,364.98
ผลรวม	10,247,849.77	30,247.24	18,302.33
ค่าเฉลี่ย	1,138,649.97	3,360.80	2,033.59

หมายเหตุ : สูตรการคำนวณน้ำใช้ของ สกย. หาได้จาก
ปริมาณน้ำใช้ (m^3) = $9.66 + 0.01769R$ (เมื่อ R คือน้ำหนักน้ำยางสด (กิโลกรัม))

ในกระบวนการผลิต ทางโรงงานมีการใช้วัตถุดิบหลักคือ น้ำยางสดที่ได้จากชาวสวนยางนำมาผลิตหากมีปริมาณน้ำยางสดเกินอัตรากำลังการผลิตต่อวัน โรงงานจะนำน้ำยางดิบไปขายต่อให้กับโรงงาน ขั้นตอนการผลิตยางแผ่นรมควัน เกิดเป็นของเสียอีกส่วนหนึ่ง คือ ยางฟอง และในส่วนของยางแผ่นรมควันจะเกิดเป็นยางคัตตึง และเศษยาง ซึ่งทางสหกรณ์ฯ จำหน่ายไปให้แก่ผู้รับซื้อต่อ โดยสัดส่วนของยางฟอง ยางคัตตึง และเศษยางขั้นตอนการผลิตยางแผ่นรมควัน จะถูกนำไปใช้ในการปันส่วนรายการวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นยางแผ่นรมควัน ซึ่งในปี 2553 มีปริมาณยางฟอง ยางคัตตึง และเศษยาง จากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันดังแสดงในตาราง 4-23

(ข) ข้อมูลผลิตภัณฑ์ (ยางแผ่นรมควันชั้น 3)

ตาราง 4-23 ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันที่ผลิตได้ในปี 2553

รายชื่อสหกรณ์กองทุนสวนยาง	ปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันและ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้น (กิโลกรัมต่อปี)				
	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	ยางแผ่นรมควัน	เศษยาง	ยางฟอง	ยางคัตตั้ง
1. บ้านป่ายาง จำกัด	423,964.50	402,312.00	9,422.00	6,303.00	5,927.50
2. บ้านทรายขาว	418,138.50	381,678.50	22,379.00	12,537.00	1,544.00
3. บ้านหุแร่ จำกัด	359,483.00	257,843.00	42,348.00	57,041.00	2,251.00
4. บ้านยางทอง จำกัด	187,045.89	176,467.68	5,152.87	4,881.36	543.98
5. บ้านคลองเขาล้อน จำกัด	221,437.00	193,509.00	9,738.00	15,308.00	2,882.00
6. ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	160,884.59	154,118.13	3,020.46	2,696.48	1,049.52
7. บ้านควนนา จำกัด	219,897.00	203,303.00	8,229.00	4,649.00	3,716.00
8. บ้านยางงาม จำกัด	979,783.90	920,434.90	23,613.00	24,959.00	10,777.00
9. บ้านเก่าร้าง จำกัด	385,096.17	384,688.72	407.45	-	-
ผลรวม	3,355,730.55	3,074,354.93	124,309.78	128,374.84	28,691.00
ค่าเฉลี่ย	375,040.42	341,594.99	13,812.20	16,046.86	3,586.38
สัดส่วน	100	91.08	3.68	4.28	0.96

(ค) ข้อมูลการใช้พลังงาน(ไม้ฟืน ไฟฟ้า และ น้ำมันดีเซล)

โรงงานของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา ทั้ง 9 แห่ง ดำเนินการผลิตยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในปี 2553 ดังตาราง 4-24

ตาราง 4-24 ปริมาณการใช้พลังงาน ที่ใช้ในการผลิตยาง แผ่นรมควัน ปี 2553 ของ 9 โรงงาน

รายชื่อสหกรณ์	ปริมาณพลังงานที่ใช้ (ต่อปี)		
	ไม้ฟืน (กิโลกรัม)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชม.)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)
1. บ้านป่ายาง จำกัด	568,180.43	5,621.68	190.42
2.บ้านทรายขาว	576,384.62	13,522.41	-
3.บ้านหุแร่ จำกัด	358,630.31	9,660.08	-
4.บ้านยางทอง จำกัด	328,887.21	1,992.89	137.83
5.บ้านคลองเขาล้อน จำกัด	378,323.78	5,295.06	-
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	225,691.16	5,125.15	-
7.บ้านควนนา จำกัด	380,894.61	6,264.13	-
8.บ้านยางงาม จำกัด	1,087,274.86	18,233.73	-
9.บ้านเก่าร้าง จำกัด	492,653.20	12,104.18	128.23
ผลรวม	4,396,920.18	77,819.31	456.48
ค่าเฉลี่ย	488,546.69	8,646.59	152.16*

หมายเหตุ : * หมายถึงค่าเฉลี่ย ของ 3 โรงงาน

(ง) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง ทั้ง 9 โรงงาน ดังตาราง 4-25 ผู้วิจัยได้ใช้การคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดน้ำเสีย (m}^3\text{)} = 9.66 + 0.002469R$$

เมื่อ R คือน้ำหนักน้ำยางสด (กิโลกรัม)

ตาราง 4-25 ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตยาง แผ่นรมควัน ปี 2553 ของ 9 โรงงาน

ชื่อ สหกรณ์	ปริมาณน้ำเสียรวม (ลบ.ม./วัน)	น้ำเสีย (ลบ.ม./ต่อปี)
1.บ้านป่ายาง จำกัด	16.60	3,320.69
2.บ้านทรายขาว	15.75	3,150.87
3.บ้านหุแร่ จำกัด	10.66	2,131.71
4.บ้านยางทอง จำกัด	7.31	1,461.99
5.บ้านเขาล่อน จำกัด	8.01	1,602.24
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	6.39	1,278.05
7.บ้านควนนา จำกัด	8.41	1,682.84
8.บ้านยางงาม จำกัด	37.92	7,584.84
9.บ้านเก่าร้าง จำกัด	16.31	3,262.59
ผลรวม	127.38	25,475.82
ค่าเฉลี่ย	14.15	2,830.65

ที่มา : โครงการการประเมินศักยภาพการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการหมักรวม และอัตราการทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืนของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน (2556)

4.7.3 ข้อมูลบัญชีรายการ สมดุลมวลสาร และ สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันประกอบด้วย น้ำยางสด กรดฟอร์มิก น้ำ ไม้ฟืน ผลิตภัณฑ์ ปริมาณการใช้ทรัพยากร พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางทั้ง 9 แห่ง โดยสามารถสรุปได้ทั้ง 9 สหกรณ์ ดังตาราง 4-26

ตาราง 4-26 ปริมาณวัตถุดิบ และ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางทั้ง 9 โรงงาน (ปีส่วนผลิตภัณฑ์แล้ว)

โรงงาน		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าเฉลี่ย
รายการ	ปริมาณ										
น้ำยางสด (กก.)	ต่อปี	1,341,040.00	1,272,261.67	859,476.67	588,225.60	645,030.00	513,727.10	677,676.67	3,068,116.33	1,282,295.73	1,138,649.97
ต่อ Functional Unit		3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33
กรดฟอร์มิก (กก.)	ต่อปี	3,259.59	3,587.88	4,115.43	881.22	2,151.03	1,646.44	1,820.18	9,978.92	2,806.55	3,360.80
ต่อ Functional Unit		0.0081	0.0094	0.0160	0.0050	0.0111	0.0107	0.0090	0.0108	0.0073	0.0097
ไม้พิน (กก.)	ต่อปี	568,180.43	576,384.62	358,630.31	328,887.21	378,323.78	225,691.16	380,894.61	1,087,274.86	492,653.20	488,546.69
ต่อ Functional Unit		1.4123	1.5101	1.3909	1.8637	1.9551	1.4644	1.8735	1.1813	1.2807	1.5480
ไฟฟ้า (kWh)	ต่อปี	5,621.68	13,522.41	9,660.08	1,992.89	5,295.06	5,125.15	6,264.13	18,233.73	12,104.18	8,646.59
ต่อ Functional Unit		0.0140	0.0354	0.0375	0.0113	0.0274	0.0333	0.0308	0.0198	0.0315	0.0268
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ต่อปี	190.42	-	-	137.83	-	-	-	-	128.23	152.16
ต่อ Functional Unit		0.0005	-	-	0.0008	-	-	-	-	0.0003	0.0005
น้ำใช้ (ลบ.ม)	ต่อปี	2,381.96	2,260.29	1,530.07	1,050.23	1,150.72	918.44	1,208.47	5,437.16	2,364.98	2,033.59
ต่อ Functional Unit		0.00592	0.00592	0.00593	0.00595	0.00595	0.00596	0.00594	0.00591	0.00615	0.00596
น้ำเสีย (ลบ.ม)	ต่อปี	3,320.69	3,150.87	2,131.71	1,461.99	1,602.24	1,278.05	1,682.84	7,584.84	3,262.59	2,830.65
ต่อ Functional Unit		0.00825	0.00826	0.00827	0.00828	0.00828	0.00829	0.00828	0.00824	0.00848	0.00829
ปริมาณยางแผ่น (กก.)	ต่อปี	402,312.00	381,678.50	257,843.00	176,467.68	193,509.00	154,118.13	203,303.00	920,434.90	384,688.72	341,594.99
ต่อ Functional Unit		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

กำหนด Functional Unit = ต่อ 1 กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน โดยคิด เปอร์เซนต์ DRC ของน้ำยางสดทุกโรงงาน เท่ากับ 30%

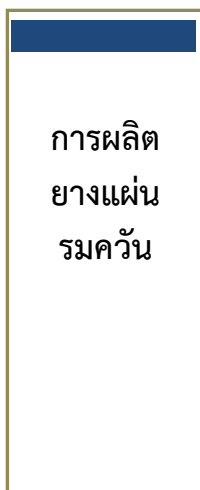
หมายเหตุ - หมายถึงไม่มีการใช้ทรัพยากรและพลังงานเกิดขึ้น, ราคาไม้พิน วันที่ 10 ก.ย. 2553 ราคา 1 บาทต่อกก.

1. สกย. บ้านป่ายาง จำกัด 2. สกย. บ้านทรายขาว 3. สกย. บ้านหุแร่ จำกัด 4. สกย. บ้านยางทอง จำกัด
5. สกย. บ้านคลองเขาลื้อน จำกัด 6. สกย. ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด 7. สกย. บ้านควนนา จำกัด
8. สกย. บ้านยางงาม จำกัด 9. สกย. บ้านเก่าร้าง จำกัด

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้าน ปริมาณวัตถุดิบ และ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยางทั้ง 9 โรงงาน และจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิตและระบุสารขาเข้าและสารขาออกของปริมาณการใช้พลังงาน ทรัพยากร และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต โดยแสดงตัวเลขค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นทั้ง 9 โรงงาน ผ่านการทำ Mass Balance ดังรูปที่ 4-57 และบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของ 9 โรงงานแสดงใน ภาคผนวก ง

วัตถุดิบ

น้ำยางสด	กิโลกรัม	3,333
การใช้สารเคมี		
กรดฟอร์มิก	กิโลกรัม	9.71
การใช้เชื้อเพลิง		
ไม้พิน	กิโลกรัม	1,548
การใช้ไฟฟ้า	kWh	26.76
(6 โรงงาน)		
การใช้น้ำมันดีเซล	ลิตร	0.53
(3 โรงงาน)		
การใช้น้ำ	ลบ.ม.	5.96



ยางแผ่นรมควัน	กิโลกรัม	1,000
ของเสีย		
ยางฟอง	กิโลกรัม	42.8
ยางคัตตึง	กิโลกรัม	96
น้ำเสีย	ลบ.ม.	8.29

รูปที่ 4-57 สมดุลมวลสารการผลิตยางแผ่นรมควัน 1,000 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ย 9 โรงงาน)

4.7.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

โดยปกติการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ต้องมีการอธิบายหรืออ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูลวัตถุดิบ การใช้พลังงานและของเสียที่เกิดขึ้น ทางผู้วิจัยได้มีการอธิบายข้อมูลในส่วนข้อมูลต่างๆที่กล่าวข้างต้น ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับวิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมิน จะต้องแสดงในรูปของ ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4-27

ตาราง 4-27 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

รายชื่อสหกรณ์	การใช้วัตถุดิบ และพลังงาน ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์					
	น้ำยางสด (กิโลกรัม)	กรด ฟอร์มิก (กิโลกรัม)	ไม้พิน (กิโลกรัม)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์- ชม.)	น้ำมัน ดีเซล (ลิตร)	น้ำเสีย (ลบ.ม)
1. บ้านป่ายาง จำกัด	3.33	0.0081	1.4123	0.0140	0.0005	0.00825
2.บ้านทรายขาว	3.33	0.0094	1.5101	0.0354	-	0.00826
3.บ้านหุแร่ จำกัด	3.33	0.0160	1.3909	0.0375	-	0.00827
4.บ้านยางทอง จำกัด	3.33	0.0050	1.8637	0.0113	0.0007	0.00828
5.บ้านคลองเขาล้อน จำกัด	3.33	0.0111	1.9551	0.0274	-	0.00828
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	3.33	0.0107	1.4644	0.0333	-	0.00829
7.บ้านควนนา จำกัด	3.33	0.0090	1.8735	0.0308	-	0.00828
8.บ้านยางงาม จำกัด	3.33	0.0108	1.1813	0.0198	-	0.00824
9.บ้านเก่าร้าง จำกัด	3.33	0.0073	1.2807	0.0315	0.0003	0.00848
ผลรวม	33.33	0.0873	13.9320	0.2409	0.0016	0.07463
ค่าเฉลี่ย	3.33	0.0097	1.5480	0.0268	0.0005	0.00829

4.7.4 ค่า Emission Factor ที่ใช้ในการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

ในการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลาในครั้งนี้ ได้มีการใช้ข้อมูลหัตถภูมิที่ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ หรือ MTEC และ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ TGO โดยค่า Emission Factor ที่ได้มาจากฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ของประเทศไทย (Thai National LCI Database) และ ต่างประเทศ ดังตาราง 4-28

ตาราง 4-28 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	Emission Factor (kgCO ₂ eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
กลุ่มวัตถุดิบ					
1.	น้ำยางสด (Natural Rubber)		kg	0.4419	TH-Research, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
2.	กรดฟอร์มิก (Formic Acid)		kg	1.8489	Formic acid method (hydrolysis) ใน CFP EF Data v.2.01 ของประเทศไทยฯ จาก คู่มือแนวทาง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
3.	ไม้ฟัน	เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จาก ชีวมวลจึงไม่มีการคิดค่าการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	-	-	IPCC 2004, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
กลุ่มพลังงาน					
4.	ไฟฟ้า		kWh	0.5610	TC Common data, คู่มือแนวทางการประเมิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ตาราง 4-28 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	Emission Factor (kgCO ₂ eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
5.	น้ำมันดีเซล	-	kg	0.3215	Thai LCI data, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
6.	น้ำมันเบนซิน	ค่า Emission factor ได้จากการการ คำนวณจากต่างประเทศ	L	0.2898	http://www.ghgprotocol.org/calculation- tools/all-tools
7.	การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ	ค่า Emission factor ได้จากการการ คำนวณจากต่างประเทศ	kg	0.0018	GHG Emissions Estimation from Wastewater and sludge Treatment Units
8.	การเผาไหม้น้ำมันดีเซล	-	L	2.7080	IPCC 2007, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
กลุ่มของเสีย					
9.	การบำบัดน้ำเสีย	ต้องมีการคูณ 21 เพื่อแปลงเป็นค่า คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า	kgBOD	0.30 (kgCH ₄)	Thai LCI data, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ขององค์กร

ตาราง 4-28 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	Emission Factor (kgCO ₂ eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
กลุ่มการขนส่ง					
10.	รถมอเตอร์ไซด์ 4 จังหวะ (บรรทุกไม่เกิน 50 กก.)	ใช้ค่า Emission factor ตามชนิด ของเชื้อเพลิงที่ใช้ (การเผาไหม้เบนซิน)	L	2.1896	Thai LCI data, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
11.	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก Full load 7 ตัน วิ่งปกติ 100% Loading	-	Ton-km	0.1399	Thai LCI data, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
12.	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก Full load 7 ตัน วิ่งปกติ 0% Loading	-	km	0.3105	Thai LCI data, EF_LCI Database_V1_020354 (MTEC) และ คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
13.	รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ Fill Load 16 ตัน วิ่งปกติ 100% Loading	-	Ton-km	0.0529	Thai LCI data, คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์
14.	เรือบรรทุก container	-	Ton-km	0.0100	The Environmental Footprint of Surface Freight Transportation, Lawson Economics Research Inc., 2007

4.7.5 การปันส่วน (Allocation)

การปันส่วนในการศึกษานี้จะ พิจารณาแบ่งสัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์ร่วม ได้แก่ ยางพอง ยางคัตตึง และเศษยาง โดยอาศัยหลักการปันส่วนตามที่กำหนดใน คู่มือแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจก ของผลิตภัณฑ์ โดยการปันส่วนเกิดขึ้นในกรณีที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน มีการใช้วัตถุดิบ และพลังงานร่วมกันระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยน้ำยางสด กรดฟอร์มิก ไฟฟ้า และน้ำมันดีเซล จะปันส่วนให้กับ ยางแผ่นรมควัน ยางพอง ยางคัตตึง และเศษยาง และในส่วนของไม้พินจะมีการปันส่วนให้เฉพาะยางแผ่นรมควันและยางคัตตึงเท่านั้น โดยใช้วิธีการปันส่วนโดยมวล และเศรษฐศาสตร์ ของรายการวัตถุดิบ พลังงาน และของเสียที่เกิดขึ้น โดยแสดงดังตาราง 4-29

ตาราง 4-29 ค่าการปันส่วนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

รายชื่อสหกรณ์	การปันส่วนการใช้วัตถุดิบ และพลังงาน ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์				
	น้ำยางสด (กิโลกรัม)	กรดฟอร์มิก (กิโลกรัม)	ไฟฟ้า (kWh)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ไม้พิน (กิโลกรัม)
1. บ้านป่ายาง จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0081	0.0140	0.0005	1.4123
- ยางพอง	0.013	0.0001	0.0002	7.03661E-06	-
- ยางคัตตึง	0.02	0.0002	0.0003	1.05186E-05	0.0314
- เศษยาง	0.012	0.0001	0.0001	6.61741E-06	-
2. บ้านทรายขาว					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0094	0.0354	-	1.5101
- ยางพอง	0.027	0.0002	0.001	-	-
- ยางคัตตึง	0.001	0.0005	0.04	-	0.08
- เศษยาง	0.003	3.4711E-05	0.0001	-	-
3. บ้านหุแร่ จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0160	0.0375	-	1.3909
- ยางพอง	0.13	0.002	0.0044	-	-
- ยางคัตตึง	0.18	0.0025	0.0059	-	0.16
- เศษยาง	0.01	0.0001	0.0002	-	-

ตาราง 4-29 (ต่อ) ค่าการปันส่วนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

รายชื่อสหกรณ์	การปันส่วนการใช้วัตถุดิบ และพลังงาน ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์				
	น้ำยางสด (กิโลกรัม)	กรดฟอร์มิก (กิโลกรัม)	ไฟฟ้า (kWh)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ไม้ฟืน (กิโลกรัม)
4. บ้านยางทอง จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0050	0.0113	0.00078105	1.8637
- ยางฟอง	0.045	0.0004	0.0008	5.50E-05	-
- ยางคัตตึง	0.047	0.0004	0.0008	5.81E-05	0.15
- เศษยาง	0.005	0.00004	0.0001	6.13E-06	-
5. บ้านคลองเขลาล่อน จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0111	0.0274	-	1.9551
- ยางฟอง	0.07	0.0008	0.0019	-	-
- ยางคัตตึง	0.04	0.0005	0.0012	-	0.09
- เศษยาง	0.01	0.0001	0.0004	-	-
6. ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0107	0.0333	-	1.4644
- ยางฟอง	0.017	0.00018	0.0006	-	-
- ยางคัตตึง	0.019	0.0002	0.0006	-	0.03
- เศษยาง	0.007	0.00007	0.0002	-	-
7. บ้านควนนา จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0090	0.0308	-	1.8735
- ยางฟอง	0.02	0.00019	0.0007	-	-
- ยางคัตตึง	0.04	0.00034	0.0012	-	0.07
- เศษยาง	0.02	0.00015	0.0005	-	-

ตาราง 4-29 (ต่อ) ค่าการปันส่วนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

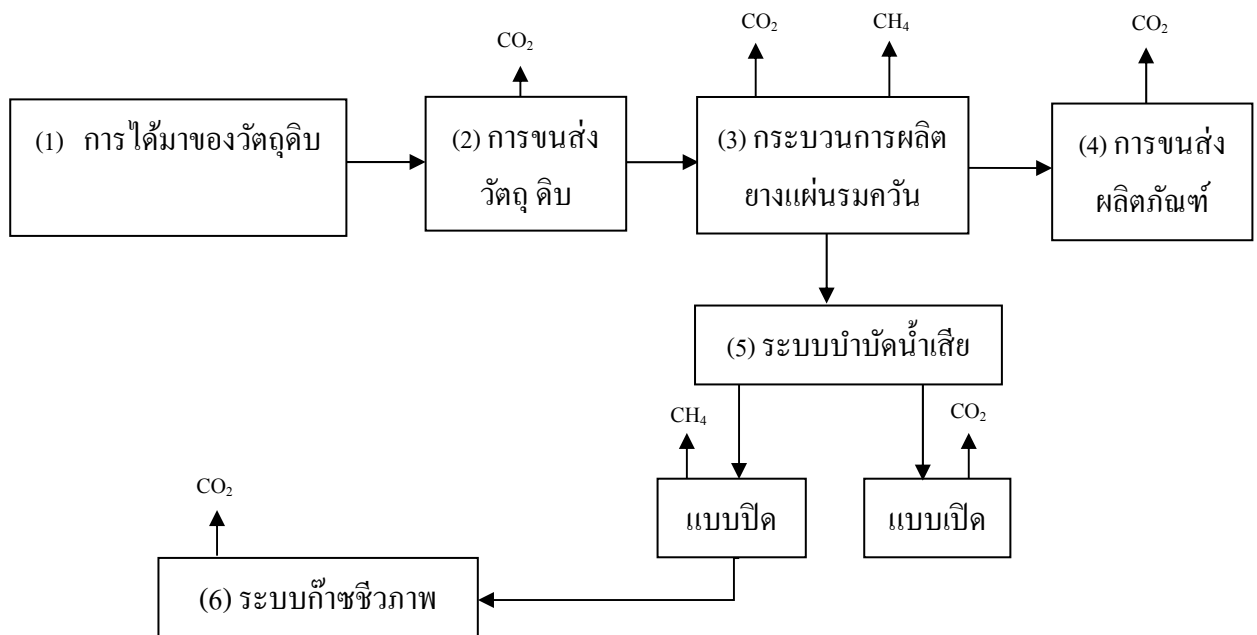
รายชื่อสหกรณ์	การปันส่วนการใช้วัตถุดิบ และพลังงาน ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์				
	น้ำยางสด (กิโลกรัม)	กรดฟอร์มิก (กิโลกรัม)	ไฟฟ้า (kWh)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ไม้ฟืน (กิโลกรัม)
8.บ้านยางงาม จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0108	0.0198	-	1.1813
- ยางฟอง	0.03	0.00028	0.0005	-	-
- ยางคัตติ้ง	0.03	0.00026	0.0005	-	0.02
- เศษยาง	0.01	0.0012	0.0002	-	-
9.บ้านเก่าร้าง จำกัด					
- ยางแผ่นรมควัน	3.33	0.0073	0.0315	0.000333334	1.2807
- เศษยาง	0.004	0.00001	0.00003	3.52E-07	-

4.7.6 การประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

รมควัน

4.7.6.1 ขอบเขตการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ของสหกรณ์ฯ จ.สงขลา

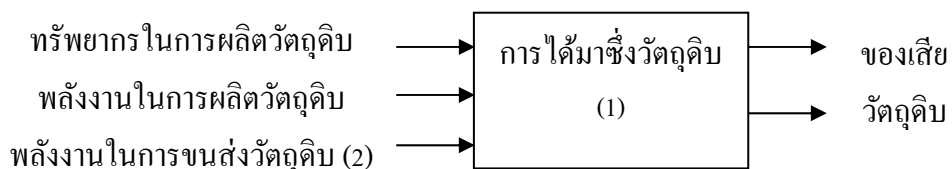
จากการกำหนดขอบเขตการประเมิน ผู้วิจัยได้แบ่งระบบที่ประเมินออกเป็น 6 ระบบย่อย ดังรูปที่ 3-58 โดยกำหนดหน่วยผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 1 กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน และพิจารณาวัฏจักรชีวิตของการผลิตยางแผ่นรมควัน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-58 ระบบย่อยขอบเขตการศึกษา

(ก) การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

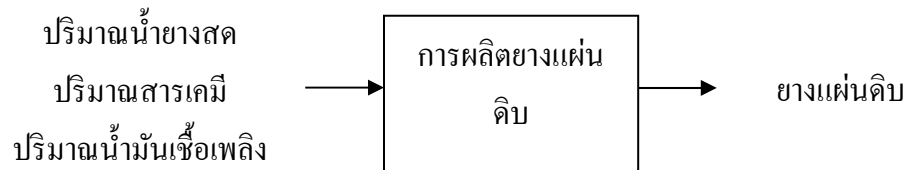
การพิจารณาในส่วนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ จะพิจารณาครอบคลุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ทั้งในส่วนกระบวนการให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบและการขนส่งวัตถุดิบทุกชนิดมายังโรงงาน รวมทั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ภายในโรงงาน



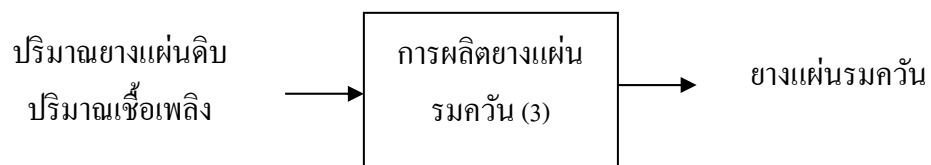
(ข) การผลิต

ในส่วนขั้นตอนการผลิต จะพิจารณาจะพิจารณาครอบคลุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ของสารเข้าและสารออกจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ ทั้งขั้นตอนหลักและขั้นตอนสนับสนุน

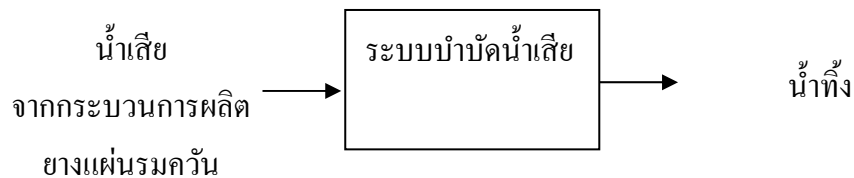
1. การผลิตยางแผ่นดิบ



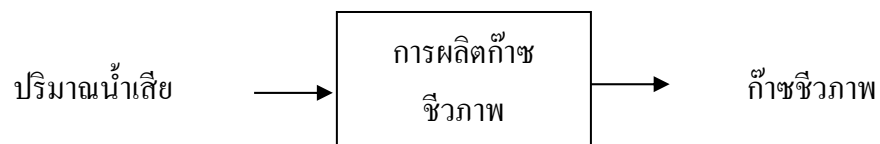
2. การผลิตยางแผ่นรมควัน



3. ระบบบำบัดน้ำเสีย



4. การผลิตก๊าซชีวภาพ



(ค) การกระจายสินค้า

ในส่วนการกระจายสินค้าจะพิจารณาครอบคลุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่เกิดจากการขนส่งผลิตภัณฑ์จากโรงงานไปยังตลาดกลางยางพารา และโรงงานที่รับซื้อ



4.7.6.2 วิธีการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์

วิธีการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ของทั้ง 9 สหกรณ์ มีรูปแบบการคำนวณแบบเดียวกัน ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างกรณีของ สหกรณ์ บ้านเก่าร้าง จำกัด เพื่อเป็นตัวอย่างในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เนื่องจากเป็นสหกรณ์ที่มีการคิดคำนวณในส่วนของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียด้วย

(ก) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้ วัตถุดิบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้แก่ น้ำยางสด กรดฟอร์มิก และไม้พิน ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประเมินในส่วนของการขนส่งของวัตถุดิบ และค่า Emission factor ที่ติดตัวมากับวัตถุดิบแต่ละชนิดดังนี้

1) น้ำยางสด

น้ำยางสดที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก มาจากเกษตรกรชาวสวนยางในพื้นที่ในเขตอำเภอคลองหอยโข่ง โดยจะบรรทุกมาขายให้กับสหกรณ์ โดยปกติมีค่า Emission factor เท่ากับ 0.4419 kgCO₂ eq/kg

ปริมาณน้ำยางสดที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เท่ากับ	3.33 kg
มีค่า Emission factor เท่ากับ	0.4419 kgCO ₂ eq./kg
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากน้ำยางสด เท่ากับ	1.4715 kgCO ₂ eq. (1)

- การขนส่งน้ำยางสด

ในการขนส่งวัตถุดิบ เนื่องจากมีการขนส่งมาจากหลายแห่ง จึงต้องพิจารณาปริมาณที่ขนส่งจากแต่ละแห่ง ชนิดยานพาหนะ ระยะทาง เพื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ดังนี้

น้ำยางสดมีการขนส่งมาจากพื้นที่ในเขตอำเภอคลองหอยโข่ง โดยคิดรัศมีพื้นที่ไม่เกิน 5 กิโลเมตร สำหรับรถมอเตอร์ไซด์ 4 จังหวะ คิดตามอัตราการบรรทุกสูงสุด 2 แกลลอน (50 กิโลกรัม)

ในส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากการขนส่งจึงมีการคำนวณจากแต่ละแห่งทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ ตัวอย่างเช่น

น้ำยางสดสำหรับรถมอเตอร์ไซค์ 4 จังหวะ	
ปริมาณน้ำยางสดที่ขนส่ง เท่ากับ	3.33 kg
ระยะทาง	5 km
อัตราการเผาผลาญน้ำมันรถมอเตอร์ไซค์ 4 จังหวะ	70 km/L
การขนส่งน้ำยางสดจะเผาผลาญน้ำมันเบนซิน	0.071 L
ค่า Emission Factor การเผาไหม้น้ำมันเบนซิน	2.1896 kgCO ₂ eq
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวไป	0.071 L*2.1896 kgCO ₂ eq/L
	เท่ากับ 0.16 kgCO ₂ eq. (2)
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวกลับ	0.16 kgCO ₂ eq (3)
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งน้ำยางสด (รถมอเตอร์ไซค์ 4 จังหวะ) ทั้งขาไป(2) และขากลับ(3)	0.32 kgCO ₂ eq
รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากน้ำยางสด (1)+(2)+(3)	1.791 kgCO ₂ eq

2) กรดฟอร์มิก

กรดฟอร์มิกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผสมน้ำยางสดเพื่อให้จับตัวกันเป็นก้อนในตะกวด เพื่อที่จะทำเป็นยางแผ่นดิบในขั้นตอนหลักของกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน กรดฟอร์มิกโดยมีค่า Emission factor เท่ากับ 1.8489 kgCO₂ eq/kg

กรดฟอร์มิก 94%

กรดฟอร์มิก 94% ปริมาณ	0.01	kg
กรดฟอร์มิก มีค่า Emission factor (Thai LCI) เท่ากับ	1.8489	kg CO ₂ eq/kg
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการได้มาของกรดฟอร์มิก	0.01 kg x 1.8489 kg CO ₂ eq/kg	
หรือเท่ากับ	0.0185	kg CO ₂ eq. (1)

- การขนส่งกรดฟอร์มิก

ในการขนส่งสารเคมี (กรดฟอร์มิก) เนื่องจากมีการขนส่งมาจากต่างประเทศก่อนที่จะมาถึงประเทศไทย จึงต้องพิจารณาปริมาณที่ขนส่งจากแต่ละแห่ง ชนิดยานพาหนะ ระยะทาง เพื่อคำนวณโดยสหกรณ์จัดซื้อจากแหล่งนำเข้าภายในประเทศทั้งสิ้นดังนั้นหลักการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ มีรายละเอียดการคำนวณเป็นดังนี้

การขนส่งมี 3 ช่วง แต่ละช่วงมีการพิจารณาการขนส่งทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ

ช่วงที่ 1 จากโรงงานในประเทศจีน ถูกขนส่งมายังท่าเรือ ประเทศไทย

ระยะทาง(เที่ยวไป)	2,900	km
โดยตรวจสอบเส้นทางเดินเรือจาก http://www.searates.com		
น้ำหนักตามระยะทางเที่ยวไปเท่ากับ	0.029	ton-km
การขนส่งโดยเรือบรรทุกคอนเทนเนอร์ มีค่า emission factor เท่ากับ	0.01	kg CO ₂ eq/ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 1 เที่ยวไป เท่ากับ (100% Loading)	0.029 ton-km x 0.01 kg CO ₂ eq/ ton-km	
หรือเท่ากับ	0.00029	kg CO ₂ eq (2)

ในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การขนส่งโดยเรือบรรทุกคอนเทนเนอร์ไม่ได้มีการคิดการขนส่งในเที่ยวกลับเนื่องจาก สินค้าที่บรรทุกทางเรื่อนั้นไม่มีการบรรทุกคอนเทนเนอร์เปล่ากลับเหมือนยานพาหนะทางบก ดังนั้นจึงไม่มีการคิดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในเที่ยวกลับ

ช่วงที่ 2 จาก Supplier ในประเทศไทยไปยัง จ.สงขลา

ระยะทาง	950	km
โดยตรวจสอบระยะทางระหว่างจังหวัดของประเทศไทยจาก http://map-server.doh.go.th		
น้ำหนักตามระยะทางเที่ยวไปเท่ากับ	0.0095	ton-km
การขนส่งโดย รถกระบะบรรทุก10 ล้อ (Thai) 100% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.0529	kg CO ₂ eq/ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 2 เที่ยวไป เท่ากับ	0.0095 ton-km x 0.0529 kg CO ₂ eq /ton-km	
หรือเท่ากับ	0.0005	kg CO ₂ eq (3)
น้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดต่อเที่ยวเท่ากับ(บรรทุกเต็ม)	16,000	kg
การขนส่งโดย รถกระบะบรรทุก10 ล้อ (Thai) 0% loading มี ค่า emission factor เท่ากับ	0.5851	kg CO ₂ eq/km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 2 เที่ยวกลับ เท่ากับ	0.01 kg x 950 km x 0.5851 kg CO ₂ eq/km) /16,000 kg	
หรือเท่ากับ	0.00034	kg CO ₂ eq (4)

ช่วงที่ 3 จาก จ.สงขลา ไปยัง สหกรณ์

ระยะทาง	43	km
โดยตรวจสอบระยะทางระหว่างจังหวัดของประเทศไทยจาก http://map-server.doh.go.th		
น้ำหนักตามระยะทางเที่ยวไปเท่ากับ	0.00043	ton-km
การขนส่งโดย รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 100% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.1402	kgCO ₂ eq /ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 3 เที่ยวไป เท่ากับ	0.00043 ton-km x 0.1402	kgCO ₂ eq/ton-km
หรือเท่ากับ	0.00006	kgCO ₂ eq (5)
การขนส่งโดย รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 0% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.3111	kgCO ₂ eq /km
น้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดต่อเที่ยวเท่ากับ(กรด10 ถัง)	350	kg
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 3 เทียบกลับ เท่ากับ	0.01 kg x 43 km x 0.3111	kgCO ₂ eq /km / 350 kg
หรือเท่ากับ	0.00038	kgCO ₂ eq (6)
รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์	(1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)	
จากการขนส่งกรดฟอร์มิก ทั้งหมดเท่ากับ		
หรือเท่ากับ	0.02	kg CO₂eq

3) เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิต

สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิต มีด้วยกัน 2 ส่วนคือ น้ำมันดีเซลที่ใช้ในส่วน ของเครื่องสูบน้ำและจักรรีดยาง และ ไม้ฟืนที่ใช้สำหรับการรมควันยางแผ่น สหกรณ์จัดซื้อจากแหล่ง ผลิตภายในพื้นที่ จ.สงขลา ทั้งสิ้น ดังนั้นหลักการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากแต่ละรายการจะ เป็นเช่นเดียวกับรายการการขนส่งกรดฟอร์มิก มีรายละเอียดการคำนวณเป็นดังนี้

น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล (การผลิตเชื้อเพลิง)	0.0003	L.
Diesel มีค่า Emission factor (Thai LCI) เท่ากับ	0.2789	kg CO ₂ eq/L
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการได้มาของ Diesel	0.0003 L x 0.2789	kg CO ₂ eq/L
หรือเท่ากับ	0.0001	kg CO ₂ eq (1)
การขนส่ง น้ำมัน Diesel จากปั๊มน้ำมัน มายังโรงงานฯ	10	km
น้ำหนักตามระยะทางเที่ยวไปเท่ากับ	0.000003	ton-km
การขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 100% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.182	kgCO ₂ eq/ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งเที่ยวไป เท่ากับ	0.000003 ton-km x 0.182 kg	

	CO ₂ eq/ton-km	
หรือเท่ากับ	5.46E-07	kg CO ₂ eq (2)
น้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดต่อเที่ยวเท่ากับ	167	kg
เที่ยวกลับขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 0% loading	0.3317	kg CO ₂ eq/ton-km
มีค่า emission factor เท่ากับ		
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งขากลับ เท่ากับ	0.0003 kg x 10 km x 0.3317 kg	
	CO ₂ eq	
	/ton / 167 kg	
หรือเท่ากับ	5.95868E-06	kg CO ₂ e (3)
รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากน้ำมันดีเซล เท่ากับ		(1) + (2) + (3)
หรือเท่ากับ	0.0001	kg CO ₂ eq

4) ไม้พิน

การเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตยางแผ่นรมควัน เป็นประเด็นที่น่าสนใจคือหากใช้ชีวมวล เช่น เศษไม้ยางพารา กะลาปาล์ม เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดความร้อนนั้น ปริมาณ CO₂ ที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่นับรวมว่าเป็นก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากถือว่าชีวมวลเหล่านี้ครั้งหนึ่งเคยดูดซับ CO₂ เอาไว้ในเนื้อไม้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (IPCC, 2004) ดังนั้นจึงมีค่า Emission Factor เท่ากับ 0 kgCO₂ eq/kg

ไม้พิน	1.2807	kg
เนื่องจากไม้พินเป็นพลังงานชีวมวลไม่มีค่า Emission Factor	0	kg CO ₂ eq/kg (1)
การขนส่ง ไม้พิน พื้นที่ มายังโรงงานยางแผ่นฯ	20	km
น้ำหนักตามระยะทางเที่ยวไปเท่ากับ	0.025	ton-km
การขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 100% loading มี		
ค่า emission factor เท่ากับ	0.182	kg CO ₂ eq/ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งเที่ยวไป เท่ากับ	0.025 ton-km x 0.182 kg	
	CO ₂ eq/ton-km	
หรือเท่ากับ	4.66E-03	kg CO ₂ eq (2)
น้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดต่อเที่ยวเท่ากับ	1,700	kg
เที่ยวกลับขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 0% loading	0.3317	kg CO ₂ e/km
มีค่า emission factor เท่ากับ		
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งขากลับ เท่ากับ	1.2807 kg x 20 km x 0.3317 kg	
	CO ₂ eq/km / 1,700 kg	
หรือเท่ากับ	0.0049	kg CO ₂ eq (3)
รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากขนส่งไม้พิน เท่ากับ		(1) + (2) + (3)
หรือเท่ากับ	0.0095	kg CO ₂ eq

(ข) ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขั้นตอนการผลิต

ในขั้นตอนการผลิตมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิง 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การเผาไหม้น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องสูบน้ำและจักรรีดยาง และการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพสำหรับเป็นเชื้อเพลิงร่วมในการรมควันยางแผ่น โดยในส่วนการเผาไหม้ไม้ฟืนและก๊าซชีวภาพถือว่าเผาไหม้สมบูรณ์ไม่มีก๊าซเรือนกระจกอื่นปลดปล่อยออกมา การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานส่วนนี้ใช้สมการ

ปริมาณพลังงานที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ $(Kg) \times Emission\ factor\ (kg\ CO_2eq/kg)$

1. การใช้ไฟฟ้า (กรณีโรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้า)

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ	0.03	kWh
ค่า emission factor ได้จากการฐานข้อมูล Thai LCI	0.5610	kgCO ₂ eq
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการใช้ไฟฟ้าในการผลิต	0.03 kWh x 0.5610 kg CO ₂ eq /kWh	
หรือเท่ากับ	0.0177	kgCO ₂ eq

2. การเผาไหม้น้ำมันดีเซล

การเผาไหม้น้ำมันดีเซลสำหรับจักรรีดและเครื่องสูบน้ำ	0.0003	L
ค่า emission factor ได้จากการฐานข้อมูล Thai LCI	2.708	kgCO ₂ eq/L
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล	0.0003 L x 2.708 kgCO ₂ eq/L	
ดีเซลในกระบวนการผลิต		
หรือเท่ากับ	0.0008	kgCO ₂ eq

(ค) ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการบำบัดน้ำเสีย

รูปแบบของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ทางผู้วิจัยได้แยกออกเป็น 2 กรณีด้วยกัน คือ กรณีที่ 1 คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่ไม่มี การดักก๊าซมีเทนกลับมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Anaerobic wastewater treatment) และ กรณีที่ 2 คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ที่มีการดักก๊าซมีเทนกลับมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Anaerobic wastewater treatment + CH₄ Aerobic wastewater Treatment revert & combustions) โดย อ้างอิงตามสมการการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่เกิดจากระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีการดักนำเอาก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ (อ้างอิงจาก 2006 UNFCCC, Methane recovery in waste water treatment-Version 16.0, Method number AMS-III H (Version9))

ดังนั้น ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการดักก๊าซชีวภาพ กลับมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ **0.2412 kgCO₂.eq/ กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน** และ ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีการดักก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง เมื่อเทียบต่อกำลังการผลิตต่อปีของ สกย.บ้านเก่าร้าง จำกัด จะมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ **0.0765 kgCO₂.eq /กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน**

(ง) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขั้นตอนการกระจายสินค้า

สำหรับขั้นตอนกระจายสินค้า มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ระหว่างการขนส่งผลิตภัณฑ์จาก โรงงานยางแผ่นรมควันไปยังตลาดกลางยางพารา มีการพิจารณาการขนส่งทั้งขาไปและขากลับ โดย พิจารณาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

จากโรงงานสหกรณ์บ้านเก่าร้าง ถูกขนส่งไปยังตลาดกลางยางพารา		
น้ำหนักทั้งหมดที่บรรทุกได้	1	kg
ระยะทาง (ของตัวอย่าง สกย.บ้านเก่าร้าง)**	43	km
น้ำหนักตามระยะทางขาไปเท่ากับ (1 kg ยางแผ่นรมควัน)	0.043	ton-km
เที่ยวไป การขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 100% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.182	kg CO ₂ eq/ton-km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการขนส่งช่วงที่ 1 เที่ยวไป เท่ากับ	0.043 ton-km x 0.182 kg CO ₂ eq/ton-km	
หรือเท่ากับ	0.0078	kg CO ₂ eq (1)
เที่ยวกลับ การขนส่งโดยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ (Thai) 100% loading มีค่า emission factor เท่ากับ	0.3317	kg CO ₂ eq/km
ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์	(1 kg x 43 km x 0.3317 kgCO ₂ eq/km) /	
จากการขนส่งช่วงที่ 1 เที่ยวกลับ เท่ากับ	3,000 kg	
หรือเท่ากับ	0.0048	kg CO ₂ eq (2)
รวมค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการกระจายผลิตภัณฑ์ทั้งหมด	0.0126	kg CO₂eq

(จ) สรุปผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน

สรุปผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันในกรณีไม่มีการดัก ก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ เท่ากับ **2.0793 kgCO₂eq/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน** โดยแยกตามช่วงวัฏจักรดัง ตาราง 4-30

ตาราง 4-30 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน (กรณี สกย.
บ้านเก๋ร้าง แบบไม่มีการดึ่งก๊าซชีวภาพกลับมาใช้)

9. สกย.บ้านเก๋ร้าง จำกัด				
ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มา และการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq)	การปล่อย GHG ของการ ขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq)	ผลรวม (kgCO ₂ eq)	สัดส่วน
การได้มาของวัตถุดิบ	1.4851	0.3220	1.8071	86.91
การผลิต	0.0185	-	0.0185	0.89
การกระจายสินค้า	-	0.0126	0.0126	0.61
การใช้งาน	-	-	-	-
การจัดการซาก	-	-	-	-
ระบบบำบัดน้ำเสีย (ไม่มีการนำ ก๊าซชีวภาพกลับมาใช้)	0.2412	-	0.2412	11.60
รวม	1.7448	0.3345	2.0793	100.00

4.7.7 ผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่มี และ ไม่มีการนำก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ในการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการดึ่งก๊าซชีวภาพเข้ามารวม
กับการรมควันยางแผ่นใน สกย.บ้านเก๋ร้าง จำกัด สามารถอ้างอิงตามสมการการคำนวณค่าคาร์บอน
ฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีการดึ่งนำเอาก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ (อ้างอิงจาก
2006 UNFCCC, Methane recovery in waste water treatment-Version 16.0, Method
number AMS-III H (Version9)) โดยเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ระหว่าง 2 กรณี คือ ระบบ
บำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ที่มีและไม่มี การดึ่งก๊าซมีเทนกลับมาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง
(Anaerobic wastewater treatment and Anaerobic wastewater treatment + CH₄
Aerobic wastewater Treatment revert & combustions) ข้างต้น ผลการประเมิน สามารถ
สรุปได้ดังนี้

ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีการดึ่งก๊าซ
ชีวภาพกลับมาใช้ เท่ากับ 1.9146 kgCO₂eq/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน โดยแยกตามช่วงวัฏจักรตั้ง
ตาราง 4-31

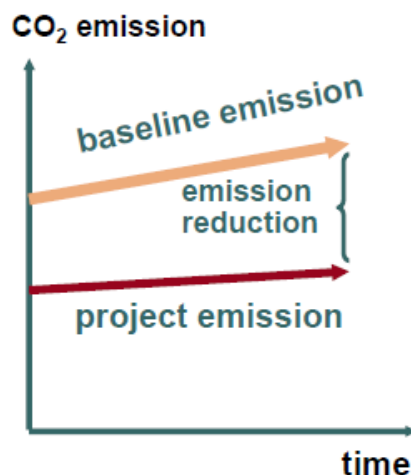
ตาราง 4-31 ผลการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน
(กรณี สกย. บ้านเก่าร้าง แบบมีการดื่งก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม)

9. สกย.บ้านเก่าร้าง จำกัด				
ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มา และการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq)	การปล่อย GHG ของการ ขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq)	ผลรวม (kgCO ₂ eq)	สัดส่วน
การได้มาของวัตถุดิบ	1.4851	0.3220	1.8071	94.38
การผลิต	0.0185	-	0.0185	0.97
การกระจายสินค้า	-	0.0126	0.0126	0.66
การใช้งาน	-	-	-	-
การจัดการซาก	-	-	-	-
ระบบบำบัดน้ำเสีย (นำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้)	0.0765	-	0.0765	3.99
รวม	1.5801	0.3345	1.9146	100.00

จากตาราง 4-28 และ 4-29 ทางผู้วิจัยได้นำแนวคิดวิธีการคำนวณการลดค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ที่ได้รับการอนุมัติแล้วแสดงใน UNFCCC website (<http://cdm.unfccc.int>) ในการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่ลดได้จากการดำเนินโครงการนั้น มาใช้ในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง 2 แบบ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยหลักการพื้นฐานของการคำนวณคือ emission ที่ลดได้ (ER) คือ emission ที่ สกย.บ้านเก่าร้าง สามารถลดได้ เมื่อเทียบกับค่า emission ของ สกย.บ้านเก่าร้าง จากระบบบำบัดน้ำเสีย แบบเดิมที่ไม่มีการดื่งเอาก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำไปคำนวณเป็นค่า CERs (Certified Emission Reductions) ที่สามารถลดลงได้ของทางสหกรณ์

วิธีการคำนวณ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯที่โครงการ CDM สามารถลดได้ (Emission Reduction; ER) สามารถคำนวณได้จาก

$$Emission\ Reduction = Baseline\ emission - Project\ emission \quad (4-7)$$



รูปที่ 4-59 ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการทำ CDM
(Clean Development Mechanism)
ดัดแปลงจาก : UNFCCC (2006)

โดยที่ Baseline Emission หมายถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี) และ Project Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี) ดังรูปที่ 4-59

ดังนั้นในการคำนวณหา emission ที่ลดลง (ER) ของ สกย.บ้านเก๋ร้าง มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ซึ่งกรณีของ สกย.บ้านเก๋ร้าง จะเป็นตัวแทนในด้านของการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันที่มีการดึงเอาก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเป็นเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับไม้ฟืนในการรมควันยาง โดยมีการคำนวณการคิดการทดแทนไม้ฟืน 30% สามารถลดการปลดปล่อยฯ จากเดิมมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ $1.73 \text{ kgCO}_2/\text{กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน}$ และเมื่อมีการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับไม้ฟืน มีค่าการปลดปล่อยฯ เท่ากับ $1.56 \text{ kgCO}_2/\text{กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน}$ ดังนั้นค่าการปลดปล่อยฯ ที่สามารถลดได้จะเท่ากับ $0.17 \text{ kgCO}_2/\text{กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน}$

4.6.4 ผลการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตทั้ง 9 โรงงาน

จากการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของสหกรณ์ทั้ง 9 โรงงาน ดังแสดงในตาราง 4-32 โดยกำหนดหน่วยผลิตก้อนเท่ากับ 1 กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของ 9 โรงงานเท่ากับ $2.0781 \text{ kgCO}_2/\text{กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน}$ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พบได้จากการประเมินนั้นจะเกิดจาก การได้มาของวัตถุดิบ $1.4895 \text{ kgCO}_2/\text{กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน}$

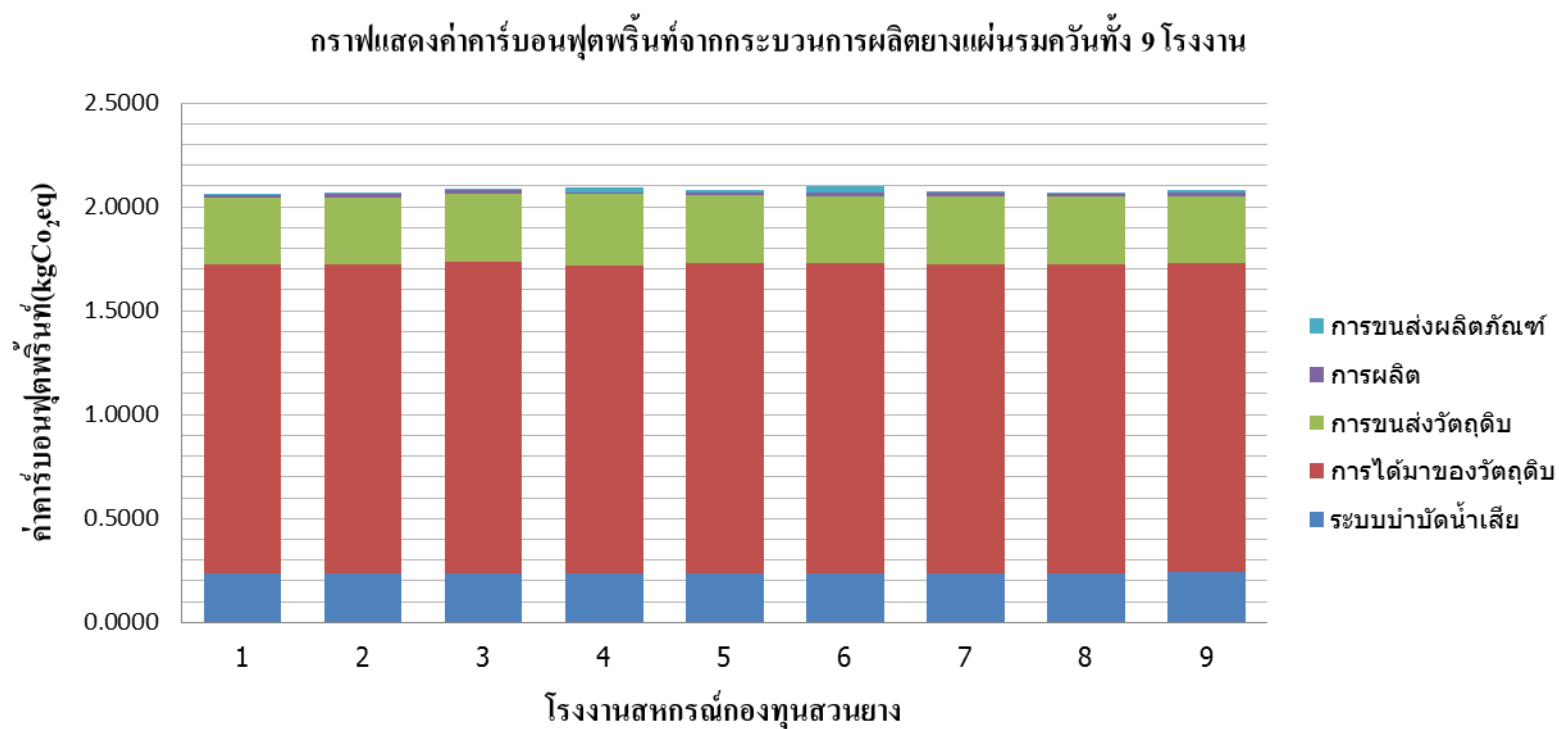
ระบบบำบัดน้ำเสีย 0.2358 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน การขนส่งวัตถุดิบ 0.3260 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน การผลิต 0.0155 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน และ การขนส่งผลิตภัณฑ์ 0.0112 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4-32 และกราฟแสดงดังรูปที่ 4-23

ในส่วนของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการดึงเอาก๊าซชีวภาพเข้ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในกรณีของ สกย.บ้านเก่าร้าง สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเดิมได้ โดยมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ จากเดิมเท่ากับ 0.2412 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ลดลงเหลือ 0.0765 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน หรือลดได้ 0.1647 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ดังรูปที่ 4-60

ตาราง 4-32 ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ของ สหกรณ์ทั้ง 9 โรงงาน

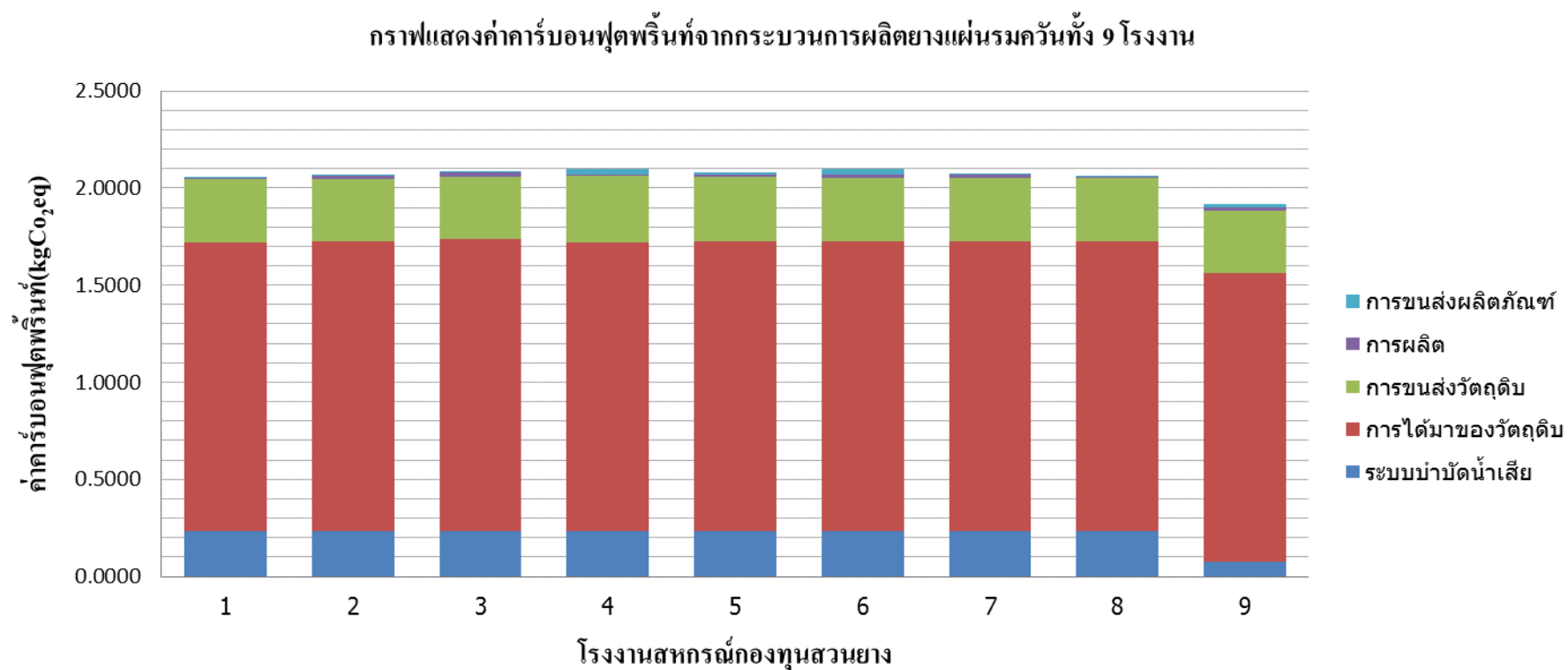
โรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kgCO ₂ eq./kgRSS)					ผลรวมค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกฯ
	การได้มาของวัตถุดิบ	การขนส่งวัตถุดิบ	การผลิต	การขนส่งผลิตภัณฑ์	ระบบบำบัดน้ำเสีย	
1.บ้านปายาง จำกัด	1.4867	0.3232	0.0091	0.0033	0.2347	2.0569
2.บ้านทรายขาว จำกัด	1.4889	0.3194	0.0199	0.0065	0.2348	2.0694
3.บ้านหุแร่ จำกัด	1.5011	0.3240	0.0210	0.0055	0.2351	2.0868
4.บ้านยางทอง จำกัด	1.4810	0.3440	0.0085	0.0267	0.2356	2.0958
5.บ้านคลองเขาล้อน จำกัด	1.4920	0.3277	0.0154	0.0109	0.2355	2.0815
6.ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด	1.4913	0.3246	0.0187	0.0259	0.2358	2.0963
7.บ้านควนนา จำกัด	1.4882	0.3265	0.0173	0.0059	0.2354	2.0732
8.บ้านยางงาม จำกัด	1.4915	0.3229	0.0111	0.0037	0.2343	2.0635
9.บ้านเก่าร้างจำกัด	1.4851	0.3220	0.0185	0.0126	0.2412	2.0793
ค่าเฉลี่ย	1.4895	0.3260	0.0155	0.0112	0.2358	2.0781
9.บ้านเก่าร้างจำกัด*ใช้ก๊าซชีวภาพ	1.4851	0.3220	0.0185	0.0126	0.0765	1.9146

หมายเหตุ : ค่า COD ในโรงงานที่ 1-8 มีค่าใกล้เคียงกันกับโรงงานที่ 9 เนื่องจากรูปแบบสหกรณ์เป็นแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงใช้ค่า COD ของน้ำเสียในโรงงานที่ 9 ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากระบบบำบัดน้ำเสียของ 8 โรงงาน



รูปที่ 4-60 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้ง 9 โรงงาน

หมายเหตุ : 1.สกล. บ้านป่ายาง จำกัด 2.สกล. บ้านทรายขาว 3. สกล. บ้านหุแระ จำกัด 4. สกล. บ้านยางทอง จำกัด 5.สกล. บ้านคลองเขาล้าน จำกัด
6. สกล. ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด 7. สกล. บ้านควนนา จำกัด 8. สกล. บ้านยางงาม จำกัด 9. สกล. บ้านเก่าร้าง จำกัด (ไม่มีระบบก๊าซชีวภาพ)



รูปที่ 4-61 ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันทั้ง 9 โรงงาน กรณีมีการใช้ก๊าซชีวภาพของโรงงานที่ 9

หมายเหตุ : 1. สกย. บ้านป่ายาง จำกัด 2.สกย. บ้านทรายขาว 3. สกย. บ้านหุแร่ จำกัด 4. สกย. บ้านยางทอง จำกัด 5.สกย. บ้านคลองเขาล่อน จำกัด
6. สกย. ตำบลเกาะใหญ่ จำกัด 7. สกย. บ้านควนนา จำกัด 8. สกย. บ้านยางงาม จำกัด 9. สกย. บ้านเก่าร้าง จำกัด (มีระบบก๊าซชีวภาพ)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ดำเนินการ ณ สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา เป็นการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ การเก็บข้อมูลอัตราการทดแทนไม้ฟืนจากการนำก๊าซชีวภาพไปใช้รมยางร่วมกับไม้ฟืน การตรวจติดตามคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ การทดสอบการเติมมูลสัตว์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการประเมิน carbon footprint ของสหกรณ์ฯ ที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ส่วนที่สองเป็นงานในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการในการหมักมูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ที่ 1%, 2% และ 3% ตามลำดับ ร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) 35, 30 และ 25 วัน ตามลำดับ

ผลจากการวิจัยทั้ง 2 ส่วนจะนำไปสู่การประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT ที่เหมาะสม และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผลจากการวิจัยทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการติดตามคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ผลการติดตามคุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด อย่างต่อเนื่องในระหว่างเดือนสิงหาคม 2556-2557 พบว่า ค่า pH ของน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 6.43-7.73 ซึ่งค่า pH ในช่วงดังกล่าวมีความเหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ขณะที่ ค่า pH ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 7.52-9.39 และค่าความเข้มข้นของ VFA ของน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 60.0-1,940.0 mg/L as CH_3COOH และ Alkalinity มีค่าอยู่ในช่วง 1,120.0-2,770.0 mg/L as CaCO_3 และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alk) ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.04-0.50 นั้นบ่งชี้ให้เห็นว่าจุลินทรีย์ภายในบ่อหมักก๊าซชีวภาพสามารถทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ

ค่า TCOD ที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย มีค่าเฉลี่ย 1,603.2 และ 582.0 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด TCOD เฉลี่ยร้อยละ 67.7 และ 81.5 ตามลำดับ สำหรับธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ TN, TP และ TK ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายเฉลี่ย 161.0, 256.2 และ 787.8 mg/L ตามลำดับ ธาตุอาหารเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซ

ชีวภาพ บ่อฝัง และบ่อสุดท้าย เนื่องจากจุลินทรีย์ได้นำไปใช้เป็นแหล่งสารอาหาร ทั้งนี้ น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพและบ่อปรับสภาพซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดมีปริมาณธาตุอาหาร ประกอบด้วย ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และโพแทสเซียมทั้งหมด (TK) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการให้น้ำพืชได้ ซึ่งเมื่อประเมินที่อัตราน้ำทิ้งจากระบบที่ร้อยละ 80 ของน้ำเสียเข้าระบบ ทำให้ทดแทนไนโตรเจน (TN) ฟอสฟอรัส (TP) และโพแทสเซียม (TK) ได้เฉลี่ย 1,932, 3,074 และ 9,454 g/d ตามลำดับ

5.1.1.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ผลองค์ประกอบก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระหว่างเดือนสิงหาคม 2556-สิงหาคม 2557 ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ในช่วงร้อยละ 48.0-62.4 เฉลี่ย 57.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ในช่วงร้อยละ 38.4-51.0 เฉลี่ย 42.2 และก๊าซอื่นๆ เฉลี่ยร้อยละ 0.9 ทั้งนี้ พบว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าร้อยละ 45

5.1.1.2 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ เฉลี่ย $13.2 \text{ m}^3/\text{ton}$ น้ำยางสด ขณะที่ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) เฉลี่ย $19.4 \text{ m}^3/\text{ton}$ น้ำยางสด ดังนั้น การหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

5.1.1.3 ผลการติดตามข้อมูลการใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนเชื้อเพลิงไม้ฟืน

ผลปริมาณการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 0.44-0.76 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน เฉลี่ย 0.57 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน และการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง มีค่าอยู่ในช่วง 0.34-0.62 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน เฉลี่ย 0.43 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน จะเห็นได้ว่าการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณการใช้ไม้ฟืนน้อยกว่าการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 0.14 kg ไม้ฟืน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน (เมื่อคำนวณที่ราคาไม้ฟืน 1 บาท/kg) และคิดเป็นมูลค่าที่ประหยัดได้ร้อยละ 25

5.1.1.4 ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันเบื้องต้น

ผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในพารามิเตอร์ต่างๆ เทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่า ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทุกพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และมีความแตกต่างกับยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

5.1.2 ผลการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการทดลองเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) และการหมักน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) ร่วมกับมูลสุกรที่ 1%TS, 2% TS และ 3% TS ตามลำดับ รวมจำนวน 4 ชุดการทดลอง เดินระบบภายใต้ระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน, 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ), 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน ตามลำดับ มีผลการทดลองเดินระบบ ดังนี้

ค่า pH ในน้ำทิ้งจากระบบฯ ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าค่า pH ในน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ของทุกชุดการทดลอง มีค่าสูงกว่าร้อยละ 85 และผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกของสารอินทรีย์ (OLR) ได้ในช่วง 0.12-0.60 kg COD/m³.d อีกทั้งประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจากการลดระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการออกแบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์โรรมยางให้มีขนาดเล็กลงเพื่อประหยัดพื้นที่และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ประสิทธิภาพการกำจัด TS และ VS ภายใต้ค่า HRT ต่างๆ ของทุกชุดการทดลอง มีดังนี้ ที่ HRT 35 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 57.8, 68.4, 68.9 และ 71.3 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 43.3, 56.3, 69.8 และ 70.2 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 33.1, 44.3, 60.3 และ 64.9 ตามลำดับ ขณะที่ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 31.6, 34.8, 44.0 และ 54.5 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัด VS ของทั้ง 4 ชุดการทดลอง ที่ HRT 35 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 83.0, 85.7, 85.2 และ 85.7 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 72.4, 79.2, 86.0 และ 88.1 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 25.7, 35.7, 35.9 และ 37.9 ตามลำดับ ขณะที่ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยร้อยละ 28.7, 34.7, 35.7 และ 38.4 ตามลำดับ

ปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ TN และ TP มีดังนี้ ค่า TN ในน้ำทิ้งที่ HRT 35 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 56.7, 81.1, 75.2 และ 78.9 mg/L ตามลำดับ ค่า TN จากการเดินระบบที่ HRT 30 d (หลังฤดูยางผลัดใบ) พบว่า TN ในน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 228.5, 283.8, 292.7 และ 305.8 mg/L ตามลำดับ และที่ HRT 25 วัน มีค่า TN ในน้ำทิ้งของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 165.1, 196.7, 223.6 และ 276.5 mg/L ตามลำดับ ในขณะที่ ค่า TP ที่ HRT 35 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 81.1, 74.8, 86.2 และ 94.6 mg/L ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 224.4, 220.0, 215.7 และ 250.2 mg/L ตามลำดับ ขณะที่ค่า TP ที่ HRT 25 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 152.1, 213.1, 172.0 และ 195.6 mg/L ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งมีแนวโน้มลดลงจากการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ในระบบโดยใช้เป็นแหล่งอาหารและ

พลังงานเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้น น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียยังมีสารอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลืออยู่ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรดน้ำต้นไม้หรือให้น้ำในสวนยางพาราได้

ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production rate) จากการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ HRT ต่างๆ มีดังนี้ ที่ HRT 35 วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.17, 0.34, 0.49 และ 0.63 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.54, 3.09, 4.71 และ 7.21 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ผลอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.22, 0.41, 0.61 และ 0.78 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.44, 2.74, 4.25 และ 6.19 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.12, 0.24, 0.38 และ 0.46 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 1.23, 2.55, 3.53 และ 3.69 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้ค่า HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 0.14, 0.28, 0.43 และ 0.58 L/d ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.79, 2.19, 3.31 และ 4.90 L/L_{น้ำเสีย} ตามลำดับ ดังนั้น อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเติมมูลสุกรลงไปหมักร่วมกับน้ำเสียจากระบบการผลิตยางแผ่นรมควันที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด คือ 1%TS, 2%TS และ 3%TS ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในชุดการทดลองต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตามค่า HRT ที่ลดลง

ผลองค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ชุดการทดลองที่ HRT ต่างๆ พบว่า ที่ HRT 35 วัน องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 42.9, 42.8, 47.7 และ 48.2 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 35.7, 48.9, 49.5 และ 49.7 ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 41.5, 51.3, 55.1 และ 54.6 ตามลำดับ และที่ HRT 25 วัน องค์ประกอบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เฉลี่ยร้อยละ 25.2, 53.6, 58.4 และ 62.3 ตามลำดับ

ผลของอัตราการผลิตมีเทนต่อการกำจัด TCOD (Observed Methane Yield) ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ HRT 35 วัน ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.09, 0.20, 0.31 และ 0.46 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.08, 0.15, 0.20 และ 0.26 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) ของชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.17, 0.18 และ 0.12 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ และ HRT 25 วัน ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เฉลี่ย 0.14, 0.15, 0.17 และ 0.22 L_{methane}/g COD_{removed} ตามลำดับ

5.1.3 ผลทดสอบการเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ผลการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยการเติมมูลสุกรปริมาณ 135 kg/d จะมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด ผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซมีเทน (CH₄) ในก๊าซชีวภาพ เฉลี่ยร้อยละ 60.7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เฉลี่ยร้อยละ 38.2 และก๊าซอื่นๆ เฉลี่ยร้อยละ 1.1

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ พบว่า ค่า pH ในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 6.68-6.92 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการทำงานของจุลินทรีย์สร้างมีเทนในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ค่า TCOD ในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย 915.8 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ร้อยละ 95.8 ขณะที่ผลปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้ง ซึ่งประกอบด้วย ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และโพแทสเซียมทั้งหมด (TK) มีค่าเฉลี่ย 234.7, 194.0 และ 857.5 mg/L ตามลำดับ

5.1.4 ผลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) และการหมักมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW) มีค่าเฉลี่ย 13.2 m³/ton น้ำยางสด ในขณะที่ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (WW+PM) เฉลี่ย 19.4 m³/ton น้ำยางสด ดังนั้น การเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันจะช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ย 6.2 m³/ton น้ำยางสด

5.1.5 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

5.1.5.1 ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35, 30 และ 25 วัน มีรายละเอียดดังนี้

(1) ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีขนาดกว้าง 11.5 ม. ยาว 24 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาตรบ่อทั้งหมด (Total Volume) 617 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 530 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างเป็นเงินจำนวน 1,046,094 บาท

(2) ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 30 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีขนาดกว้าง 11 ม. ยาว 22 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาตรบ่อทั้งหมด (Total Volume) 529 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 452 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างเป็นเงินจำนวน 1,033,736 บาท

(3) ผลประเมินราคาก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 25 วัน บ่อหมักก๊าซชีวภาพ มีขนาดกว้าง 10 ม. ยาว 21 ม. และลึก 3.5 ม. ปริมาตรบ่อทั้งหมด

(Total Volume) 441 ลบ.ม. และปริมาตรใช้งาน (Effective volume) 374 ลบ.ม. มีราคาก่อสร้างเป็นเงินจำนวน 965,116 บาท

5.1.5.3 ผลประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้ค่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (HRT) 35 วัน ในกรณีที่มีและไม่มีหมักมูลสุกรร่วมกับน้ำเสีย กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน ที่ TS เท่ากับ 0% , 1% , 2% และ 3% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพคิดเป็นเงิน 1,046,094 บาท โดยที่ TS เท่ากับ 0% , 1% , 2% และ 3% มีผลตอบแทนคือมูลค่าไม้ฟืนที่ประหยัดได้เท่ากับ 70,000, 80,455, 94,091 และ 147,727 บาทต่อปี ซึ่งคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 14.9, 13.0, 11.1 และ 7.1 ปี ตามลำดับ

5.1.6 ผลการประเมินปริมาณ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ผลประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในรูปของค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์สำหรับยางแผ่นรมควันตามวิธีการของมาตรฐานสากล ISO 14067 ภายใต้ขอบเขตที่เน้นเรื่องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการติดตั้งและใช้งานระบบก๊าซชีวภาพ โดยการประเมินพบว่า การเกิดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลักมาจาก 2 ขั้นตอน คือ จากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน (ร้อยละ 86.9) ตามด้วยระบบบำบัดน้ำเสีย (ร้อยละ 11.6) ส่วนการผลิตและการกระจายสินค้ามีสัดส่วนต่ำกว่าร้อยละ 1 สำหรับสหกรณ์ที่ไม่มีระบบก๊าซชีวภาพ และเมื่อติดตั้งและใช้งานระบบก๊าซชีวภาพแล้วทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง 0.17 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน จากเดิมที่ 1.73 kgCO₂/กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ซึ่งจะเห็นได้ว่านอกจากจะลดค่าใช้จ่ายเรื่องการผลิตไม้ฟืนสำหรับรมควันยางแผ่นลงได้ประมาณร้อยละ 30 แล้วยังสามารถลดกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนข้างเคียงเป็นการลดผลกระทบในระดับพื้นที่จนลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นการลดผลกระทบระดับโลกด้วย ดังนั้นระบบก๊าซชีวภาพที่ได้พัฒนาจากงานวิจัยที่สนับสนุนโดย สกว. จนพัฒนาต่อยอดไปสู่การใช้งานได้จริงนั้นได้พิสูจน์แล้วว่ามีความคุ้มค่าที่นำไปขยายผลในเชิงนโยบายติดตั้งระบบดังกล่าวในสหกรณ์ยางแผ่นรมควันอื่นๆ ของประเทศอีกกว่า 300 แห่ง เป็นรูปแบบมาตรฐานต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินโครงการ

5.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของแผ่นยางที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพและใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงควรเป็นตัวอย่างยางแผ่นที่ม้วนยางสดที่ใช้ในการผลิตในวันเดียวกัน แต่จากการปฏิบัติงานของนายเตาจะต้องนำยางเข้าจนเต็มห้องรมก่อนจะนำยางเข้าห้องรมถัดไปซึ่งยากแก่การควบคุม

5.2.2 การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเดิมของสหกรณ์กองทุนสวนยางสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพและถูกกักเก็บไว้ใต้แผ่นคลุมและนำไปใช้ประโยชน์ในการรณรงค์ร่วมกับไม้ฟืน นับว่าเป็น

แนวทางการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ซึ่งในการลงทุนก่อสร้างและระยะเวลาดำเนินงานขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ทดแทนไม้ฟืนในการต้มยาง อีกทั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นระบบที่ดูแลรักษาง่าย คณะกรรมการและคนงานของสหกรณ์ฯ สามารถดูแลและบำรุงรักษาเองได้

5.2.3 ควรวิเคราะห์โลหะหนักในมูลสุกร เพราะอาจเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ และปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

5.2.4 การเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นทำให้ทราบว่าช่วยเพิ่มอัตราผลิตก๊าซชีวภาพให้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับการศึกษาการเติมมูลสุกรที่ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในช่วง 1%TS, 2%TS และ 3%TS พบว่าระบบยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้ หากมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเพิ่มค่า %TS จะทำให้ทราบแนวโน้มที่ระบบฯ มีความสามารถในการรองรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และนำไปประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการหมักน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันร่วมกับมูลสัตว์เพื่อเป็นข้อมูลในการช่วยลดระยะเวลาดำเนินงานในการก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารอ้างอิง

- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. 2546. **คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 2**. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas02.php> (16 พฤษภาคม 2554)
- สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพหลักสูตรการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด นี้อเทิร์นอาร์ต แอนด์ปริ้นท์.
- สายัณห์ สดุดี สุเมธ ไชยประพัทธ์ และชิตชไม โอวาทพารพร. 2548. โครงการการประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียจากโรงอบ/รมยางเพื่อการเกษตรกรรม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมฤดี ฤทธิยากุล, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และปิยะรัตน์ บุญแสวง. 2551ข. “ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับสาหร่ายหนามจากทะเลสาบสงขลา”. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7. ณ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ. 12-14 มีนาคม 2551.
- สุเมธ ไชยประพัทธ์ และอิสรา รักงาม. 2552. โครงการ การประเมินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่เหมาะสมสำหรับโรงรมควั่นยางแผ่นสหกรณ์กองทุนสวนยาง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- 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_9tdqQ98c6nj5IGSVRly1s=&h=316&w=500&sz=21&hl=th&start=1&um=1&tbnid=YAJAhrNdIkSwNlM:&tbnh=82&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3DModify%2Bcovered%2Blagoon%252B%2Bdigester%26um%3D1%26hl%3Dth (18 กุมภาพันธ์ 2554)
- Allen, G.R., Pereira, S.L., Raes, D. and Smith, M. 1998. Guidelines for computing crop water requirement In Crop Evapotranspiration, pp. 103-134. Rome: FAO Irrigation and Praiange paper.
- Callahan F.J., Wase D.A.J., Thayanity K., Forster C.F. 2002. “Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, *Biomass & Bioenergy*. 27, 71-77.

- 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.
- McCarty, P.L. 1964. **Anaerobic Waste Treatment Fundamentals**. Public Works.
- Metcalf and Eddy. 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4thed. New York: McGraw-Hill.
- Nielsen, J.B.H., Seadi, T.A. and Popiel, P.O. 2009. The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization. *Bioresource Technology*. 100(22), 5478-5484.
- Nordberg and Edstrom. 1997. Co-Digestion of Ley Crop Silage, Straw and Manure (Online). In site.
<http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d1codig.pdf>. 21 May 2009.
- Rosenqvist, H., Aronsson, P., Hasselgren, K., and Perttu, K. 1997. Economics of using municipal wastewater irrigation of willow coppice crops. *Biomass and Bioenergy* 12 : 1-8.
- Senders, F.A. and Bloodgood, D.E. 1965. "The Effect of Nitrogen-to-Carbon Ratio on Anaerobic Decomposition", *JWPCF*. 37(12): 1742-1752.
- Wang, Z., Chang A.C., Wu L. and Crowley D. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma* 114 : 261-278.
- Wichern, M., Gegring, T., Fischer, K., Andrade, D., Lubken, M., Koch, K., Gronaure, A. and Horn, H. 2009. Monofermentation of Grass Silage Under Mesophilic Condition : Measurements and Mathematical Modeling with ADM 1. *Bioresource Technology*. 100, 1675-1681.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย
สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านเก่าร้าง จำกัด

ตารางภาคผนวก ก-1 ปริมาณน้ำใช้และอัตราการเกิดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด ในระหว่างปี พ.ศ. 2555-2557

พ.ศ./เดือน	น้ำยางสด (กก.ต่อเดือน)	ปริมาณน้ำใช้ (ลบ.ม.ต่อเดือน)	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลบ.ม.ต่อเดือน)
2556			
ม.ค.	191,187.00	347.87	481.70
พ.ค.	73,068.30	138.92	190.07
มิ.ย.	119,079.50	220.31	303.67
ก.ค.	208,697.70	378.85	524.93
ส.ค.	191,500.10	348.42	482.47
ก.ย.	165,331.50	302.13	417.86
ต.ค.	142,490.60	261.73	361.47
พ.ย.	127,131.20	234.56	323.55
ธ.ค.	168,354.90	307.48	425.33
2557			
ม.ค.	259,786.50	469.22	651.07
ก.พ.	199,316.10	362.25	501.77
มี.ค.	6,685.70	21.49	26.17
พ.ค.	61,900.70	119.16	162.49
มิ.ย.	134,173.80	247.01	340.94
ก.ค.	124,976.80	230.74	318.23
ส.ค.	151,735.40	278.08	384.29
ก.ย.	99,078.40	184.93	254.28
ต.ค.	81,308.10	153.49	210.41

ตารางภาคผนวก ก-2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

วัน-เดือน-ปี	Temperature (°C)			pH			SS (mg/L)		
	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent
22 สค 56	31.0	29.5	30.5	4.89	7.29	8.60	435.00	1,020.00	400.00
29 สค 56	29.0	29.5	28.5	5.48	7.36	8.48	630.00	1,660.00	330.00
5 กย 56	28.5	30.0	29.5	5.38	7.37	8.26	250.00	620.00	135.00
12 กย 56	29.0	30.0	29.0	5.59	7.67	8.64	135.00	1,030.00	490.00
19 กย 56	29.5	30.0	29.5	5.16	7.48	8.06	495.00	1,270.00	740.00
27 กย 56	28.5	29.5	29.0	6.20	7.29	8.37	330.00	1,400.00	640.00
2 ตค 56	30.5	30.5	30.3	4.71	7.62	8.40	155.00	1,070.00	570.00
17 ตค 56	32.0	32.5	32.0	5.58	7.30	8.66	325.00	650.00	620.00
31 ตค 56	-	31.0	31.0	3.78	7.32	7.77	390.00	530.00	300.00
7 พย 56	31.0	29.5	30.0	5.05	7.09	7.78	705.00	1,200.00	200.00
17 ธค 56	27.5	27.0	28.0	5.33	7.43	8.49	870.00	960.00	220.00
10 มค 57	27.0	27.3	27.0	4.01	7.01	8.26	1,350.00	730.00	220.00
24 มค 57	29.6	29.3	30.1	5.62	7.24	8.08	860.00	820.00	590.00
6 กพ 57	30.5	32.1	32.0	4.76	6.69	7.75	499.44	1,570.00	340.00
13 กพ 57	-	-	-	5.17	6.53	7.52	-	-	-
20 กพ 57	27.7	27.8	28.2	5.37	6.43	7.54	-	-	-
10 มีย 57	-	-	-	5.61	7.26	9.36	-	-	-
17 มีย 57	31.3	33.3	32.4	5.52	7.57	9.39	470.00	540.00	230.00
24 มีย 57	-	-	-	5.72	7.65	8.96	160.00	590.00	40.00
1 กค 57	31.3	30.4	31.2	5.84	7.44	8.62	280.00	750.00	210.00
8 กค 57	28.8	29.8	29.5	5.87	7.51	8.52	660.00	430.00	290.00
15 กค 57	31.8	32.5	33.3	3.49	7.73	9.17	370.00	590.00	320.00
26 สค 57	27.9	28.1	27.7	5.34	7.29	9.26	430.00	620.00	165.00

ตารางภาคผนวก ก-2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	TN (mg/L)			TK (mg/L)			TP (mg/L)		
	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent
22 สค 56	1.40	6.70	10.40	218.00	855.00	1,345.00	3.08	3.18	2.66
29 สค 56	3.60	37.60	185.00	340.00	830.00	805.00	7.94	9.72	3.97
5 กย 56	90.00	55.00	675.00	340.00	830.00	805.00	5.00	6.00	17.00
12 กย 56	60.00	355.00	195.00	220.00	995.00	815.00	375.00	175.00	115.00
19 กย 56	410.00	425.00	180.00	484.00	1,020.00	925.00	111.00	142.00	67.00
27 กย 56	185.00	425.00	165.00	60.50	822.50	690.00	60.00	1,445.00	962.50
2 ตค 56	32.00	269.00	32.50	142.50	822.50	750.00	42.50	235.00	92.50
17 ตค 56	517.50	282.50	100.00	462.50	927.50	780.00	165.00	197.50	465.00
31 ตค 56	265.00	292.50	183.75	512.50	707.50	670.00	222.50	218.75	37.50
7 พย 56	79.00	-	43.00	1,225.00	855.00	795.00	45.00	100.00	86.00
17 ธค 56	47.50	35.00	42.50	385.00	655.00	165.00	115.00	65.00	397.50
10 มค 57	315.00	272.50	95.00	590.00	623.75	1,087.50	280.00	115.00	90.00
24 มค 57	255.00	-	125.00	440.00	975.00	640.00	135.00	185.00	95.00
6 กพ 57	67.00	95.00	175.00	955.00	235.00	705.00	95.00	205.00	135.00
13 กพ 57	205.00	160.00	385.00	955.00	235.00	705.00	95.00	205.00	135.00
10 มีย 57	210.00	85.00	235.00	310.00	780.00	930.00	30.00	67.50	52.50
17 มีย 57	535.00	140.00	65.00	300.00	840.00	940.00	660.00	632.50	628.75
24 มีย 57	260.00	75.00	130.00	310.00	760.00	920.00	568.75	617.50	608.75
1 กค 57	175.00	98.00	85.00	310.00	840.00	950.00	551.25	603.75	582.50
8 กค 57	260.00	142.00	48.00	119.00	660.00	800.00	21.25	91.25	82.50
15 กค 57	190.00	85.00	148.00	230.00	560.00	540.00	145.00	210.00	79.50
26 สค 57	165.00	72.00	112.00	150.00	720.00	570.00	120.00	195.00	156.00

ตารางภาคผนวก ก-2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Volatile Fatty Acid (mg/L as CH ₃ COOH)			Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)			VFA:Alk		
	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent	Influent	Biogas Pond	Effluent
22 สค 56	290.00	160.00	90.00	185.00	1,755.00	870.00	1.57	0.09	0.10
29 สค 56	810.00	200.00	40.00	590.00	1,730.00	1,030.00	1.37	0.12	0.04
5 กย 56	560.00	120.00	40.00	495.00	1,430.00	880.00	1.13	0.08	0.05
12 กย 56	730.00	140.00	40.00	475.00	1,350.00	940.00	1.54	0.10	0.04
19 กย 56	980.00	480.00	100.00	600.00	1,525.00	990.00	1.63	0.31	0.10
27 กย 56	150.00	100.00	140.00	170.00	1,690.00	1,010.00	0.88	0.06	0.14
2 ตค 56	150.00	280.00	90.00	190.00	1,560.00	1,050.00	0.79	0.18	0.09
17 ตค 56	810.00	60.00	80.00	760.00	1,390.00	930.00	1.07	0.04	0.09
31 ตค 56	910.00	320.00	150.00	590.00	1,450.00	1,050.00	1.54	0.22	0.14
7 พย 56	500.00	440.00	40.00	570.00	2,770.00	2,090.00	0.88	0.16	0.02
17 ธค 56	1,460.00	480.00	220.00	1,310.00	2,170.00	1,270.00	1.11	0.22	0.17
10 มค 57	1,550.00	500.00	170.00	1,090.00	1,640.00	860.00	1.42	0.30	0.20
24 มค 57	790.00	820.00	210.00	660.00	1,650.00	990.00	1.20	0.50	0.21
6 กพ 57	480.00	1,720.00	100.00	380.00	1,740.00	940.00	1.26	0.99	0.11
13 กพ 57	920.00	1,940.00	160.00	630.00	1,920.00	1,100.00	1.46	1.01	0.15
10 มีย 57	480.00	280.00	110.00	420.00	1,570.00	870.00	1.14	0.18	0.13
17 มีย 57	250.00	220.00	60.00	350.00	1,440.00	870.00	0.71	0.15	0.07
24 มีย 57	320.00	60.00	100.00	420.00	1,380.00	1,020.00	0.76	0.04	0.10
1 กค 57	140.00	100.00	80.00	340.00	1,400.00	1,120.00	0.41	0.07	0.07
8 กค 57	480.00	180.00	90.00	570.00	1,240.00	1,100.00	0.84	0.15	0.08
15 กค 57	350.00	240.00	120.00	430.00	1,350.00	1,200.00	0.81	0.18	0.10
26 สค 57	650.00	360.00	60.00	680.00	1,120.00	940.00	0.96	0.32	0.06

ตารางภาคผนวก ก-2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย น้ำทิ้ง ระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	TCOD (mg/L)			% TCOD Removal	
	Influent	Biogas Pond	Effluent	% Removal (Biogas Pond)	% Removal (Effluent)
22 สค 56	3,150.00	1,602.00	576.00	49.14	81.71
29 สค 56	4,115.00	1,322.00	446.00	67.87	89.16
5 กย 56	5,200.00	760.00	340.00	85.38	93.46
12 กย 56	6,175.00	1,660.00	780.00	73.12	87.37
19 กย 56	6,400.00	1,378.00	778.00	78.47	87.84
27 กย 56	2,850.00	1,100.00	590.00	61.40	79.30
2 ตค 56	3,950.00	1,255.00	920.00	68.23	76.71
17 ตค 56	3,150.00	791.00	941.00	74.89	70.13
31 ตค 56	4,145.00	565.00	345.00	86.37	91.68
7 พย 56	10,432.50	166.00	270.00	98.41	97.41
17 ธค 56	3,939.60	1,372.00	940.80	65.17	76.12
10 มค 57	3,457.20	602.00	412.80	82.59	88.06
24 มค 57	2,270.40	1,032.00	254.56	54.55	88.79
6 กพ 57	2,040.00	1,428.00	306.00	30.00	85.00
18 กพ 57	4,056.00	1,560.00	408.00	61.54	89.94
10 มีย 57	3,475.00	909.00	627.00	73.84	81.96
17 มีย 57	2,457.50	722.00	493.00	70.62	79.94
24 มีย 57	1,935.00	736.00	829.00	61.96	57.16
1 กค 57	1,432.50	1,291.00	855.00	9.88	40.31
8 กค 57	2,435.00	843.00	628.00	65.38	74.21
15 กค 57	3,502.00	780.00	521.00	77.73	85.12
26 สค 57	7,165.00	582.00	542.00	91.88	92.44

ตารางภาคผนวก ก-3 องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

วัน-เดือน-ปี	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (%)			
	ก๊าซมีเทน (CH ₄)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	ก๊าซอื่นๆ
22 สค 56	59.0	39.2	0.6	1.2
29 สค 56	59.5	39.5	0.9	0.1
5 กย 56	59.3	39.9	0.7	0.1
12 กย 56	59.1	40.0	0.7	0.2
19 กย 56	57.4	40.7	0.8	1.1
2 ตค 56	58.9	40.4	0.6	0.2
17 ตค 56	59.0	39.5	1.1	0.3
7 พย 56	59.7	39.6	0.6	0.1
24 มค 57	51.9	47.3	0.6	0.2
6 กพ 57	48.3	51.0	0.5	0.2
20 กพ 57	50.5	49.1	0.2	0.3
17 มีย 57	60.4	38.4	1.2	0.1
2 กค 57	59.7	39.6	0.7	0.2
15 กค 57	53.3	45.6	0.6	0.6
13 สค 57	61.2	43.1	0.3	0.0
26 สค 57	62.4	42.4	0.2	0.0

ภาคผนวก ข

ข้อมูลปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพ
ทดแทนเชื้อเพลิงในการรมยาง

ตารางภาคผนวก ข-1 ข้อมูลปริมาณไม้พื้น กรณีใช้ไม้พื้นเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	ปริมาณไม้พื้นที่ใช้ (กก.)	น้ำหนักยางแห้ง (กก.)	ปริมาณไม้พื้นที่ใช้ต่อน้ำหนักยางแห้ง (กก.)
14-17 กค 55	1,100.00	2,136.00	0.51
2-5 สค 55	1,213.00	2,131.00	0.57
16-19 สค 55	870.00	1,623.00	0.54
21-24 สค 55	1,225.00	1,617.00	0.76
24-27 สค 55	1,116.00	1,918.00	0.58
5-8 กย 55	992.00	1,949.00	0.51
7-10 กย 55	836.00	1,371.00	0.61
13-17 ตค 55	1,257.00	2,208.00	0.57
14-18 ตค 55	1,362.00	2,495.00	0.55
19-22 ตค 55	1,137.00	1,973.00	0.58
20-23 ตค 55	1,079.00	2,191.00	0.49
22-25 ตค 55	954.00	1,574.00	0.61
31 ตค-3 พย 55	1,119.00	2,136.00	0.52
1-4 พย 55	821.00	1,453.00	0.57
13-15 กพ 56	961.00	1,405.00	0.68
14-16 กพ 56	1,126.00	2,055.00	0.55
4-8 กย 56	1,500.00	3,001.00	0.50
5-9 กย 56	970.00	1,628.00	0.60
6-10 กย 56	1,090.00	1,982.00	0.55
24-28 กย 56	1,000.00	1,710.00	0.58
26-30 กย 56	1,260.00	2,848.00	0.44
4-8 กย 56	1,500.00	3,001.00	0.50
5-9 กย 56	970.00	1,628.00	0.60
6-10 กย 56	1,090.00	1,982.00	0.55

ตารางภาคผนวก ข-1 ข้อมูลปริมาณไม้ฟัน กรณีใช้ไม้ฟันเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด (ต่อ)

ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	ปริมาณไม้ฟันที่ใช้ (กก.)	น้ำหนักยางแห้ง (กก.)	ปริมาณไม้ฟันต่อน้ำหนักยางแห้ง (กก.)
20-24 กย 56	1,080.00	3,091.00	0.35
24-28 กย 56	1,000.00	1,710.00	0.58
26-30 กย 56	1,260.00	2,848.00	0.44
20-24 มีย 57	1,103.00	1,479.00	0.75
22-26 มีย 57	1,065.00	1,553.00	0.69
23-27 มีย 57	1,020.00	1,494.00	0.68
25-29 มีย 57	1,320.00	2,291.00	0.58

ตารางภาคผนวก ข-2 ข้อมูลปริมาณไม้ฟัน กรณีใช้ไม้ฟันร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	ปริมาณไม้ฟันที่ใช้ (กก.)	น้ำหนักยางแห้ง (กก.)	ปริมาณไม้ฟันต่อน้ำหนักยางแห้ง (กก.)
2-5 สค 55	1,007.00	1,997.00	0.50
4-7 สค 55	1,064.00	2,077.00	0.51
5-8 สค 55	914.00	1,879.00	0.49
6-9 สค 55	1,031.00	2,257.00	0.46
29 ตค -1 พย 55	940.00	2,309.00	0.41
30 ตค-2 พย 55	1,089.00	2,290.00	0.48
8-12 กพ 56	900.00	1,976.00	0.46
9-11 กพ 56	987.00	2,418.00	0.41
10-12 กพ 56	1,097.00	2,131.00	0.51

ตารางภาคผนวก ข-2 ข้อมูลปริมาณไม้ฟัน กรณีใช้ไม้ฟันร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการรมยาง สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด (ต่อ)

ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	ปริมาณไม้ฟันที่ใช้ (กก.)	น้ำหนักยางแห้ง (กก.)	ปริมาณไม้ฟันต่อน้ำหนักยางแห้ง (กก.)
30 สค-3 กย 56	830.00	2,329.00	0.36
31 สค-4 กย 56	900.00	2,277.00	0.40
1-5 กย 56	980.00	2,314.00	0.42
22-26 กย 56	960.00	2,839.00	0.34
23-27 กย 56	980.00	2,598.00	0.38
27 กย-1 ตค 56	840.00	2,389.00	0.35
30 สค-3 กย 56	830.00	2,329.00	0.36
31 สค-4 กย 56	900.00	2,277.00	0.40
1-5 กย 56	980.00	2,314.00	0.42
22-26 กย 56	960.00	2,839.00	0.34
23-27 กย 56	980.00	2,598.00	0.38
27 กย-1 ตค 56	840.00	2,389.00	0.35
19-23 มีย 57	1,200.00	2,348.00	0.51
21-25 มีย 57	997.00	1,603.00	0.62
24-28 มีย 57	985.00	1,787.00	0.55
26-30 มีย 57	1,002.00	2,300.00	0.44

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบเติมมูลสัตว์หมักร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน
ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง จำกัด

ตารางภาคผนวก ค-1 ปริมาณการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

วัน-เดือน-ปี	วัน	มูลสุกร (กก.ต่อวัน)
5 พ.ย. 57	1	136.40
6 พ.ย. 57	2	135.00
7 พ.ย. 57	3	141.00
8 พ.ย. 57	4	132.00
9 พ.ย. 57	5	134.00
10 พ.ย. 57	6	140.00
11 พ.ย. 57	7	136.00
12 พ.ย. 57	8	136.00
13 พ.ย. 57	9	133.00
14 พ.ย. 57	10	131.00
15 พ.ย. 57	11	131.00
16 พ.ย. 57	12	130.00
17 พ.ย. 57	13	136.50
18 พ.ย. 57	14	134.00
19 พ.ย. 57	15	135.00
20 พ.ย. 57	16	133.00
21 พ.ย. 57	17	138.00

ตารางภาคผนวก ค-2 ผลปริมาณก๊าซชีวภาพจากการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสียในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

วัน-เดือน-ปี	วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำยางสด (กก.ต่อวัน)	ปริมาณน้ำยางสดรวม (กก.ต่อวัน)	ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ (ลบ.ต่อตันน้ำยางสด)
5 พย 57	1	-	3,153.90	-	-
6 พย 57	2	-	7,023.00	-	-
7 พย 57	3	207.00	5,147.70	10,176.90	20.34
8 พย 57	4	-	-	-	-
9 พย 57	5	-	-	-	-
10 พย 57	6	143.00	7,206.60	5,147.70	27.78
11 พย 57	7	-	7,951.20	-	-
12 พย 57	8	-	8,065.60	-	-
13 พย 57	9	266.00	4,484.50	23,223.40	11.45
14 พย 57	10	-	3,168.80	-	-
15 พย 57	11	-	4,719.60	-	-
16 พย 57	12	132.00	5,424.70	12,372.90	10.67
17 พย 57	13	-	5,518.70	-	-
18 พย 57	14	-	-	-	-
19 พย 57	15	295.00	-	10,943.40	26.96
20 พย 57	16	-	-	-	-

ตารางภาคผนวก ค-3 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อหมักฯ หลังเติมมูลสุกร

วัน-เดือน-ปี	Days	pH	TCOD _{Inf} (mg/L)	TCOD _{Eff} (mg/L)	% TCOD removal	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TK (mg/L)	SS (mg/L)
5 พย 57	1	-	21,625.00	-	-	320.0	322.5	1,320.0	1,580.0
6 พย 57	2	6.82	-	928.00	95.71	-	380.0	-	440.0
7 พย 57	3	6.92	-	1,000.00	95.38	-	170.0	-	460.0
8 พย 57	4	6.92	-	766.00	96.46	-	160.0	-	420.0
9 พย 57	5	6.88	-	664.00	96.93	-	150.0	-	340.0
10 พย 57	6	6.84	-	852.00	96.06	-	150.0	780.0	420.0
11 พย 57	7	6.81	-	1,040.00	95.19	-	170.0	820.0	520.0
12 พย 57	8	6.87	-	654.00	96.98	-	150.0	860.0	400.0
13 พย 57	9	6.70	-	900.00	95.84	-	190.0	850.0	520.0
14 พย 57	10	6.68	-	1,046.00	95.16	-	170.0	860.0	600.0
15 พย 57	11	6.70	-	842.00	96.11	-	140.0	860.0	420.0
16 พย 57	12	6.74	-	1,050.00	95.14	208.0	230.0	850.0	740.0
17 พย 57	13	6.73	-	1,102.00	94.90	244.0	237.5	940.0	680.0
18 พย 57	14	6.80	-	1,134.00	94.76	250.0	240.0	820.0	680.0
19 พย 57	15	6.85	-	920.00	95.75	217.0	232.5	790.0	600.0
20 พย 57	16	6.88	-	950.00	95.61	237.0	170.0	840.0	460.0
21 พย 57	17	6.90	-	888.00	95.89	226.0	190.0	870.0	260.0
22 พย 57	18	6.87	-	832.00	96.15	243.0	167.5	850.0	460.0
23 พย 57	19	-	-	-	-	245.0	-	820.0	-
24 พย 57	20	-	-	-	-	243.0	-	950.0	-
25 พย 57	21	-	-	-	-	234.0	-	960.0	-

ตารางภาคผนวก ค-4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพจากการเติมมูลสุกรหมักร่วมกับน้ำเสีย
ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

วัน-เดือน-ปี	Days	องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ (%)			
		ก๊าซมีเทน (CH ₄)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	ก๊าซอื่นๆ
8 พย 57	4	60.0	39.2	0.7	0.1
12 พย 57	8	60.3	38.8	0.7	0.2
14 พย 57	10	60.2	39.1	0.6	0.1
17 พย 57	13	61.1	37.8	1.0	0.1
19 พย 57	15	61.2	37.8	0.9	0.1
24 พย 57	20	61.3	36.5	0.4	1.8

ภาคผนวก ง

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้งของ
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (HRT) 35 วัน

ตารางภาคผนวก ง-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/11/2555	0	-	-	-	-	-	-	-	-
12/11/2555	4	-	7.09	-	7.05	-	7.02	-	6.99
16/11/2555	8	-	7.02	-	6.99	-	6.98	-	7.00
17/11/2555	9	-	7.02	-	6.94	-	6.96	-	6.95
18/11/2555	10	-	7.00	-	6.97	-	7.03	-	7.02
19/11/2555	11	-	6.98	-	6.95	-	6.94	-	6.92
20/11/2555	12	-	6.91	-	6.86	-	6.91	-	6.89
21/11/2555	13	-	6.81	-	6.74	-	6.87	-	6.85
22/11/2555	14	-	-	-	-	-	-	-	-
23/11/2555	15	-	6.82	-	6.80	-	6.79	-	6.82
24/11/2555	16	-	6.84	-	6.82	-	6.79	-	6.79
25/11/2555	17	-	6.80	-	6.76	-	6.77	-	6.76
26/11/2555	18	-	6.83	-	6.78	-	6.78	-	6.79
27/11/2555	19	6.50	6.80	6.56	6.78	6.55	6.76	6.38	6.81
28/11/2555	20	-	6.72	-	6.70	-	6.72	-	6.71
29/11/2555	21	7.03	-	7.12	-	7.16	-	6.38	-
30/11/2555	22	-	6.90	-	6.93	-	6.92	-	6.98
1/12/2555	23	-	6.92	-	6.92	-	6.91	-	6.96
2/12/2555	24	-	6.92	-	6.94	-	6.95	-	6.98
3/12/2555	25	-	6.95	-	6.92	-	6.94	-	6.94
4/12/2555	26	-	6.95	-	6.92	-	6.93	-	6.95
5/12/2555	27	-	6.67	-	6.67	-	6.70	-	6.69
6/12/2555	28	5.64	6.73	5.75	6.79	5.82	6.78	5.36	6.65
7/12/2555	29	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวก ง-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน (ต่อ)

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/12/2555	30	-	7.07	-	7.08	-	7.09	-	7.13
9/12/2555	31	5.98	6.97	6.09	7.01	6.12	7.02	5.48	7.04
10/12/2555	32	-	7.05	-	7.09	-	7.00	-	7.05
11/12/2555	33	-	7.01	-	7.04	-	7.05	-	7.15
12/12/2555	34	-	7.02	-	7.03	-	7.04	-	7.07
13/12/2555	35	6.01	7.07	6.26	7.10	6.22	7.10	5.44	7.13
14/12/2555	36	-	7.01	-	7.07	-	7.05	-	7.02
15/12/2555	37	-	6.85	-	6.86	-	6.86	-	6.88
16/12/2555	38	-	6.86	-	6.88	-	6.89	-	6.91
17/12/2555	39	-	6.90	-	6.96	-	6.98	-	6.99
18/12/2555	40	-	7.00	-	6.98	-	7.01	-	7.03
19/12/2555	41	-	6.93	-	7.01	-	6.98	-	7.05
20/12/2555	42	-	6.93	-	7.05	-	7.02	-	7.02
21/12/2555	43	-	6.94	-	6.98	-	6.97	-	6.99
22/12/2555	44	6.14	6.97	6.29	6.99	6.24	7.02	5.65	7.01
23/12/2555	45	-	7.02	-	7.06	-	7.06	-	7.07
24/12/2555	46	-	7.02	-	7.02	-	7.04	-	7.04
25/12/2555	47	-	6.95	-	6.99	-	7.01	-	7.01
26/12/2555	48	-	6.98	-	7.02	-	7.03	-	7.02
27/12/2555	49	-	6.99	-	7.08	-	7.04	-	7.07
28/12/2555	50	-	7.05	-	7.06	-	7.05	-	7.09
29/12/2555	51	-	7.01	-	7.11	-	7.09	-	7.13
30/12/2555	52	-	7.07	-	7.10	-	7.14	-	7.10
31/12/2555	53	-	7.07	-	7.09	-	7.13	-	7.07

ตารางภาคผนวก ง-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน (ต่อ)

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
1/1/2556	54	-	7.05	-	7.10	-	7.12	-	7.09
2/1/2556	55	-	7.04	-	7.10	-	7.13	-	7.12
3/1/2556	56	-	7.11	-	7.12	-	7.17	-	7.07
4/1/2556	57	-	7.02	-	7.06	-	7.09	-	7.05
5/1/2556	58	-	7.05	-	7.10	-	7.13	-	7.10
6/1/2556	59	-	7.04	-	7.03	-	7.07	-	7.02
7/1/2556	60	-	7.00	-	7.07	-	7.11	-	7.08
8/1/2556	61	-	7.03	-	7.07	-	7.10	-	7.06
9/1/2556	62	-	6.84	-	6.88	-	6.90	-	6.87
10/1/2556	63	-	7.02	-	7.02	-	7.05	-	7.03
11/1/2556	64	-	7.01	-	7.09	-	7.05	-	7.00
12/1/2556	65	-	6.93	-	7.00	-	7.03	-	7.02
13/1/2556	66	-	6.96	-	7.03	-	7.05	-	7.03
14/1/2556	67	-	6.96	-	7.01	-	7.06	-	7.01
15/1/2556	68	-	6.99	-	7.00	-	7.02	-	6.98
16/1/2556	69	-	7.06	-	7.02	-	7.06	-	7.02
17/1/2556	70	-	7.02	-	6.98	-	6.99	-	6.99

ตารางภาคผนวก ง-2 ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2% TS-PM+WW		3% TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
12/11/2555	4	7,925.00	860.00	9,095.00	1,200.00	9,615.00	1,110.00	9,920.00	1,060.00
16/11/2555	8	7,925.00	590.00	9,095.00	700.00	9,615.00	760.00	9,920.00	1,450.00
20/11/2555	12	7,925.00	1,130.00	9,095.00	722.00	9,615.00	792.00	9,920.00	898.00
24/11/2555	16	7,925.00	429.00	9,095.00	874.00	9,615.00	730.00	9,920.00	894.00
28/11/2555	20	3,375.00	430.00	-	-	5,275.00	1,058.00	5,805.00	702.00
2/12/2555	24	2,615.00	2,226.00	4,740.00	904.00	6,060.00	766.00	6,950.00	772.00
6/12/2555	28	2,615.00	643.00	4,740.00	719.00	6,060.00	789.00	8,826.00	892.00
10/12/2555	32	4,157.50	390.00	7,572.50	853.00	7,705.00	1,200.00	10,062.50	1,171.00
13/12/2555	35	4,157.50	323.00	7,572.50	907.00	7,705.00	1,321.00	10,062.50	912.00
14/12/2555	36	4,105.00	254.00	5,662.50	760.00	7,037.50	686.00	10,342.50	842.00
18/12/2555	40	4,105.00	403.00	5,662.50	728.00	7,037.50	1,171.00	10,342.50	1,242.00
22/12/2555	44	4,105.00	420.00	5,662.50	716.00	7,037.50	988.00	10,342.50	928.00
26/12/2555	48	3,562.00	426.00	5,265.00	773.00	5,160.00	1,170.00	6,930.00	1,339.00
30/12/2555	52	4,772.50	436.00	7,602.50	772.00	7,660.00	963.00	8,682.50	1,284.00
3/1/2556	56	4,772.50	674.00	7,602.50	433.00	7,660.00	893.00	8,682.50	760.00
6/1/2556	59	4,772.50	365.00	7,602.50	738.00	7,660.00	1,132.00	8,682.50	1,384.00
7/1/2556	60	4,772.50	279.00	7,892.50	494.00	8,625.00	633.00	8,682.50	783.00
11/1/2556	64	5,550.00	553.00	7,892.50	879.00	8,625.00	1,122.00	8,682.50	1,772.00
15/1/2556	68	5,550.00	996.00	7,892.50	806.00	8,625.00	1,472.00	8,682.50	1,472.00
17/1/2556	70	5,550.00	1,050.00	8,245.00	1,218.00	8,425.00	715.00	8,682.50	715.00

ตารางภาคผนวก ง-3 ค่า TS และ VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	WW				1%-PM+WW				2%-PM+WW				3%-PM+WW			
		TS (g/L)		VS (g/L)		TS (g/L)		VS (g/L)		TS (g/L)		VS (g/L)		TS (g/L)		VS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/11/2555	0	-	-	-		8.99	-	7.11	-	13.79	-	10.91	-	13.23	-	10.11	-
12/11/2555	4	-	1.89	-	0.80	8.99	2.52	7.11	1.27	13.70	2.86	10.91	1.49	13.23	2.06	10.11	0.88
16/11/2555	8	-	1.88	-	0.82	8.99	2.19	7.11	0.82	13.70	2.31	10.91	0.73	13.23	2.21	10.11	0.59
20/11/2555	12	-	2.62	-	1.22	8.99	2.14	7.11	0.68	13.70	2.44	10.91	0.76	13.23	2.97	10.11	1.28
24/11/2555	16	-	1.65	-	0.49	8.99	2.65	7.11	0.92	13.70	2.81	10.91	0.84	13.23	2.61	10.11	0.86
27/11/2555	18	1.80	-	-	-	9.01	-	6.99	-	8.51	-	5.86	-	10.74	-	7.42	-
28/11/2555	20	1.80	1.41	1.07	0.52	9.01	2.08	6.99	0.81	8.51	2.28	5.86	0.94	10.74	2.20	7.42	0.85
29/11/2555	21	1.69	-	1.21	-	3.99	-	2.69	-	5.17	-	3.42	-	7.09	-	4.93	-
2/12/2555	24	1.69		1.21	1.88	3.99	1.98	2.69	0.72	5.17	2.20	3.42	0.73	7.09	2.20	4.93	0.83
6/12/2555	28	1.69	1.59	1.21	0.56	3.99	1.95	2.69	0.61	5.17	2.06	3.42	0.57	7.09	2.27	4.93	0.66
9/12/2555	31	3.38	-	2.12	-	5.20	-	3.37	-	7.78	-	5.25	-	10.98	-	7.61	-
10/12/2555	32	3.38	1.64	2.12	0.53	5.20	1.69	3.37	0.29	7.78	2.83	5.25	1.04	10.98	3.30	7.61	0.93
13/12/2555	35	3.30	-	2.10	-	4.85	-	3.05	-	7.27	-	4.85	-	11.00	-	7.46	-
14/12/2555	36	3.30	1.67	2.10	0.57	4.85	2.69	3.05	1.01	7.27	2.86	4.85	1.16	11.00	3.61	7.46	1.26
18/12/2555	40	3.30	1.72	2.10	0.68	4.85	2.62	3.05	0.88	7.27	2.93	4.85	0.98	11.00	3.09	7.46	1.00
22/12/2555	44	3.72	1.95	2.41	0.58	6.16	2.48	3.91	0.86	9.26	3.22	6.12	1.16	11.32	3.40	7.43	1.16
26/12/2555	48	4.44	1.94	2.92	0.60	6.16	2.79	3.91	0.97	9.26	3.27	6.12	1.17	11.32	3.57	7.43	1.12
30/12/2555	52	4.44	1.76	2.92	0.49	6.16	2.03	3.91	0.56	9.26	2.45	6.12	0.73	11.32	3.01	7.43	0.87
3/1/2556	56	4.44	1.96	2.92	0.58	6.16	2.13	3.91	0.5	9.26	2.74	6.12	0.76	11.32	3.09	7.43	0.79
6/1/2556	59	4.44	1.72	2.71	0.41	6.93	2.34	3.91	0.67	9.26	2.96	5.22	0.86	11.32	3.60	7.43	1.11
7/1/2556	60	4.36	1.85	2.71	0.46	6.93	2.42	4.45	0.56	8.15	2.34	5.22	0.60	10.12	3.22	6.61	0.78
11/1/2556	64	4.36	1.79	2.71	0.56	6.93	1.2	4.45	0.83	8.15	2.83	5.22	0.91	10.12	3.09	6.61	1.09
17/1/2556	70	4.16	1.93	4.16	0.64	6.94	2.79	4.57	0.4	10.04	2.90	6.80	0.93	13.10	3.41	8.77	1.24

ตารางภาคผนวก ง-4 ค่า TN ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	TN (mg/L)							
		WW		1%TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
16/11/2555	8	-	58.8	-	123.2	-	110.7	-	77.4
20/11/2555	12	-	49.7	-	130	-	76.8	-	70.1
24/11/2555	16	-	24.9	-	73.5	-	54.8	-	133.3
26/11/2555	17	42.9	-	86.4	73.5	81.4	-	148.6	-
28/11/2555	18	-	61.6	-	64.4	-	84.2	-	70.6
29/11/2555	19	38.4	-	29.4	-	210.2	-	90.4	-
9/12/2555	31	167.2	-	45.2	-	52.0	-	74.6	-
13/12/2555	35	144.6	-	150.3	-	31.6	-	264.4	-
22/12/2555	44	165.0	-	223.7	-	140.1	-	-	-
26/12/2556	48	-	61.6	-	56.5	-	50.9	-	45.4
29/12/2555	51	58.8	-	212.4	-	-	-	264.3	-
15/1/2556	68	196.6	-	142.9	-	254.8	-	132.2	-
17/1/2556	70	-	83.6	-	46.3	-	73.5	-	76.8

ตารางภาคผนวก ง-5 ค่า $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L)							
		WW		1%TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
24/11/2555	16	1.76	1.60	0.70	1.20	0.70	1.32	1.21	1.44
28/11/2555	17	1.62	1.85	0.70	1.32	0.80	1.05	1.21	0.66
29/11/2555	21	-	-	-	-	0.92	-	1.07	-
2/12/2555	24	1.62	1.64	0.70	1.26	0.92	0.98	1.07	1.00
6/12/2555	28	1.62	1.78	0.70	1.59	0.92	1.87	1.07	1.26
9/12/2555	31	1.78	-	0.74	-	0.92	-	1.14	-
10/12/2555	32	1.78	1.50	1.78	1.30	0.92	0.84	1.14	1.05
13/12/2555	35	2.19	-	0.67	-	0.81	-	1.12	-
14/12/2555	36	2.19	1.60	0.67	0.89	0.81	1.20	1.12	0.91
18/12/2555	40	2.19	1.90	0.67	0.92	0.81	0.65	1.12	1.34
22/12/2555	44	2.10	1.67	0.55	0.86	1.12	1.43	0.93	0.87
26/12/2555	48	2.10	1.62	0.55	0.58	1.12	1.34	0.93	1.33
29/12/2555	51	1.80	-	0.89	-	1.10	-	1.18	-
30/12/2555	52	1.80	2.20	0.89	0.31	1.10	0.98	1.18	1.43
3/1/2556	56	1.80	2.30	0.89	0.65	1.10	0.86	1.18	1.29
6/1/2556	59	1.65	2.34	0.81	1.32	0.95	1.23	1.12	1.25
7/1/2556	60	1.65	2.10	0.81	0.82	0.95	1.32	1.12	1.38
11/1/2556	64	1.65	2.20	0.81	1.21	0.95	1.26	1.12	1.28
15/1/2556	68	2.32	2.10	0.80	0.97	1.13	1.36	1.29	1.37
17/1/2556	70	2.30	-	0.80	1.32	1.13	1.29	1.29	1.45

ตารางภาคผนวก ง-6 ค่า TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	TP (mg/L)							
		WW		1%TS-PM+WW		2%TS-PM+WW		3%TS-PM+WW	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
26/11/2555	17	253.75	-	53.03	-	42.95	-	191.25	-
28/11/2555	20	-	141.25	-	28.60	-	32.10	-	60.75
29/11/2555	21	176.00	-	189.00	-	230.88	-	247.50	-
2/12/2555	24	-	94.50	-	69.50	-	99.50	-	146.50
9/12/2555	31	136.50	-	76.75	-	148.50	-	108.50	-
10/12/2555	32	-	73.50	-	43.50	-	91.00	-	63.00
13/12/2555	35	131.00	-	140.50	-	114.50	-	194.50	-
18/12/2555	40	-	87.00	-	96.00	-	81.00	-	105.00
22/12/2555	44	72.50	-	128.00	-	191.63	-	186.25	-
29/12/2555	51	-	35.60	-	83.50	-	154.20	-	91.60
6/1/2556	59	89.00	-	197.00	-	106.50	-	204.50	-
15/1/2556	68	-	54.60	-	127.80	-	59.40	-	100.80

ตารางภาคผนวก ง-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		WW	1% TS-PM + WW	2% TS-PM + WW	3% TS-PM + WW
8/11/2555	0	-	-	-	-
9/11/2555	1	-	-	-	-
10/11/2555	2	0.352	0.503	0.557	0.785
11/11/2555	3	0.506	0.509	0.681	0.588
12/11/2555	4	0.287	0.501	0.658	0.695
3/11/2555	5	0.356	0.559	0.495	0.676
14/11/2555	6	0.240	0.535	0.842	0.794
15/11/2555	7	0.263	0.583	0.757	0.779
16/11/2555	8	0.243	0.539	0.628	0.624
17/11/2555	9	0.263	0.578	0.765	0.796
18/11/2555	10	0.246	0.617	0.633	0.897
19/11/2555	11	0.188	0.404	-	0.671
20/11/2555	12	0.171	0.497	0.757	0.729
21/11/2555	13	0.100	0.461	0.703	0.701
22/11/2555	14	0.202	0.485	0.712	0.712
23/11/2555	15	0.155	0.478	0.729	0.714
24/11/2555	16	0.148	0.457	0.697	0.752
25/11/2555	17	0.145	0.500	0.730	0.777
26/11/2555	18	0.170	0.468	0.729	0.709
27/11/2555	19	-	0.308	0.506	0.617
28/11/2555	20	0.151	0.260	0.452	0.570
29/11/2555	21	0.182	0.322	0.517	0.691
30/11/2555	22	0.105	0.297	0.523	0.629
1/12/2555	23	0.169	0.270	0.503	0.588

ตารางภาคผนวก ง-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		WW	1% TS-PM + WW	2% TS-PM + WW	3% TS-PM + WW
2/12/2555	24	0.156	0.247	0.479	0.598
3/12/2555	25	0.172	0.274	0.501	0.598
4/12/2555	26	0.202	0.300	0.510	0.626
5/12/2555	27	0.217	0.293	0.520	0.646
6/12/2555	28	0.156	0.249	0.274	0.653
7/12/2555	29	-	-	-	-
8/12/2555	30	0.156	0.185	0.427	0.690
9/12/2555	31	0.194	0.279	0.466	0.626
10/12/2555	32	0.178	0.251	0.461	0.546
11/12/2555	33	0.170	0.254	0.417	0.539
12/12/2555	34	0.186	0.276	0.411	0.592
13/12/2555	35	0.146	0.222	0.352	0.594
14/12/2555	36	0.131	0.223	0.375	0.486
15/12/2555	37	0.102	0.208	0.375	0.533
16/12/2555	38	0.123	0.246	0.383	0.496
17/12/2555	39	0.134	0.240	0.397	0.495
18/12/2555	40	0.151	0.305	0.347	0.516
19/12/2555	41	0.163	0.229	0.347	0.464
20/12/2555	42	0.036	0.274	0.252	0.489
21/12/2555	43	0.122	0.341	0.327	0.502
22/12/2555	44	0.126	0.301	0.379	0.521
23/12/2555	45	0.134	0.282	0.396	0.518
24/12/2555	46	0.119	0.241	0.359	0.498
25/12/2555	47	0.021	0.123	0.154	0.279

ตารางภาคผนวก ง-7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 35 วัน (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		WW	1% TS-PM + WW	2% TS-PM + WW	3% TS-PM + WW
26/12/2555	48	0.132	0.275	0.401	0.546
27/12/2555	49	0.146	0.276	0.396	0.535
28/12/2555	50	0.125	0.286	0.382	0.548
29/12/2555	51	0.172	0.275	0.406	0.594
30/12/2555	52	0.172	0.332	0.451	0.595
31/12/2555	53	0.163	0.299	0.424	0.611
1/1/2556	54	0.164	0.312	0.443	0.595
2/1/2556	55	0.163	0.210	0.446	0.675
3/1/2556	56	0.135	0.105	0.395	0.808
4/1/2556	57	0.165	0.322	0.471	0.621
5/1/2556	58	0.154	0.223	0.464	0.538
6/1/2556	59	0.142	0.402	0.498	0.764
7/1/2556	60	0.159	0.383	0.474	0.702
8/1/2556	61	0.157	0.358	0.542	0.763
9/1/2556	62	0.168	0.330	0.498	0.727
10/1/2556	63	0.198	0.379	0.540	0.746
11/1/2556	64	0.181	0.348	0.510	0.692
12/1/2556	65	0.180	0.302	0.466	0.685
13/1/2556	66	0.126	0.281	0.466	0.667
14/1/2556	67	0.245	0.309	0.434	0.645
15/1/2556	68	0.152	0.309	0.527	0.810

ภาคผนวก จ

ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียและน้ำทิ้ง
ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ),
30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) และ 25 วัน

ตารางภาคผนวก จ-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
1/16/2556	69	7.06	7.02	7.06	7.02
1/17/2556	70	7.02	6.98	6.99	6.99
1/24/2556	77	7.00	7.02	7.02	7.07
1/26/2556	79	7.00	7.00	7.02	7.07
1/27/2556	80	7.05	7.07	7.10	7.13
1/28/2556	81	6.90	7.00	7.05	7.05
1/29/2556	82	6.92	6.96	7.01	7.07
1/30/2556	83	7.02	7.01	7.01	7.06
1/31/2556	84	7.15	7.14	7.16	7.17
2/1/2556	85	7.03	7.01	7.03	7.07
2/2/2556	86	7.00	7.01	7.05	7.09
2/3/2556	87	7.01	7.02	7.05	7.12
2/4/2556	88	7.02	7.04	7.10	7.14
2/5/2556	89	7.06	7.10	7.12	7.17
2/6/2556	90	6.99	7.05	7.11	7.15
2/7/2556	91	7.09	7.08	7.05	7.09

ตารางภาคผนวก จ-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
2/8/2556	92	7.04	7.04	7.09	7.13
2/9/2556	93	7.03	7.05	7.13	7.15
2/10/2556	94	7.08	7.08	7.15	7.18
2/13/2556	97	7.04	7.09	7.20	7.12
2/14/2556	98	7.03	7.09	7.14	7.18
2/15/2556	99	7.05	7.06	7.14	7.16
2/16/2556	100	7.06	7.12	7.16	7.21
2/17/2556	101	7.02	7.02	7.06	7.11
2/18/2556	102	7.03	7.15	7.15	7.26
2/19/2556	103	7.01	7.04	7.17	7.16
2/22/2556	104	7.04	7.1	7.17	7.20
2/23/2556	105	7.04	7.04	7.10	7.20
2/24/2556	106	7.00	7.07	7.14	7.18

ตารางภาคผนวก จ-1 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
2/25/2556	107	6.95	7.00	7.04	7.15
2/26/2556	108	6.99	7.09	7.14	7.13
2/27/2556	109	6.86	6.97	7.01	7.03
3/1/2556	110	6.96	7.04	7.12	7.12
3/3/2556	111	7.06	7.13	7.20	7.19
3/4/2556	112	7.07	7.15	7.25	7.25
3/8/2556	116	7.25	7.26	7.33	7.37
3/9/2556	117	7.12	7.16	7.13	7.19
3/10/2556	118	7.34	7.29	7.34	7.35
3/11/2556	119	6.96	7.35	7.30	7.31
3/12/2556	120	7.25	7.48	7.32	7.54
3/14/2556	122	7.23	7.31	7.23	7.33
3/15/2556	123	7.39	7.21	7.28	7.41
3/16/2556	124	7.49	7.29	7.43	7.37
3/18/2556	125	7.26	7.4	7.34	7.41

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
8/23/2556	305	7.27	7.43	7.25	7.47
8/24/2556	306	7.20	7.35	7.31	7.41
8/25/2556	307	7.20	7.29	7.25	7.39
8/26/2556	308	7.24	7.29	7.33	7.44
8/27/2556	309	7.59	7.60	7.55	7.66
8/28/2556	310	7.59	7.62	7.52	7.60
8/29/2556	311	7.47	7.60	7.56	7.61
8/30/2556	312	7.59	7.59	7.59	7.65
8/31/2556	313	7.50	7.54	7.47	7.55
9/1/2556	314	7.51	7.54	7.47	7.55
9/2/2556	315	7.55	7.57	7.54	7.59
9/3/2556	316	7.55	7.52	7.49	7.54
9/4/2556	317	7.43	7.44	7.43	7.48
9/5/2556	318	7.47	7.49	7.51	7.56

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
9/6/2556	319	7.50	7.50	7.47	7.42
9/7/2556	320	7.45	7.44	7.38	7.42
9/8/2556	321	7.45	7.44	7.38	7.42
9/9/2556	322	-	-	-	-
9/10/2556	323	7.48	7.43	7.38	7.44
9/11/2556	324	7.42	7.36	7.33	7.35
9/12/2556	325	7.47	7.44	7.37	7.42
9/13/2556	326	7.46	7.43	7.40	7.43
9/14/2556	327	7.45	7.41	7.37	7.46
9/15/2556	328	7.49	7.42	7.38	7.40
9/16/2556	329	7.47	7.36	7.34	7.38
9/17/2556	330	7.11	7.03	7.02	7.04
9/18/2556	331	7.09	6.98	6.95	6.99
9/19/2556	332	7.09	7.02	7.00	7.04
9/20/2556	333	7.20	7.12	7.09	7.16

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
9/21/2556	334	7.08	7.02	7.06	7.09
9/22/2556	335	7.15	7.06	7.05	7.12
9/23/2556	336	7.09	7.00	6.98	7.05
9/24/2556	337	7.05	7.01	7.00	7.06
9/25/2556	338	7.13	7.06	7.08	7.15
9/26/2556	339	7.14	7.09	7.09	7.18
9/27/2556	340	7.10	7.00	7.02	7.07
9/28/2556	341	7.01	7.02	7.00	7.03
9/29/2556	342	7.09	7.02	7.05	7.18
9/30/2556	343	7.05	6.98	7.00	7.06
10/1/2556	344	7.05	7.00	7.04	7.06
10/2/2556	345	7.13	7.07	7.08	7.11
10/3/2556	346	7.04	6.92	6.94	6.95
10/4/2556	347	7.04	6.94	6.91	6.97
10/5/2556	348	7.04	6.93	6.90	6.96

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
10/6/2556	349	7.11	6.99	7.00	7.03
10/7/2556	350	7.01	6.92	6.90	6.93
10/8/2556	351	7.14	7.02	7.01	7.04
10/10/2556	353	7.16	7.03	7.04	7.05
10/11/2556	354	7.05	6.92	6.91	6.96
10/12/2556	355	7.06	6.93	6.90	6.94
10/13/2556	356	7.14	6.98	6.97	6.99
10/14/2556	357	7.04	6.88	6.85	6.91
10/17/2556	360	7.20	7.00	6.98	7.02
10/18/2556	361	7.24	7.01	7.00	7.04
10/19/2556	362	7.16	6.97	6.93	6.95
10/21/2556	364	7.08	6.93	6.93	6.93
10/22/2556	365	7.07	6.95	6.94	6.98
10/23/2556	366	7.05	6.91	6.91	6.92

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
10/24/2556	367	7.08	6.94	6.93	6.97
10/25/2556	368	7.02	6.84	6.87	6.90
10/26/2556	369	7.00	7.15	7.01	7.04
10/27/2556	370	7.16	7.01	7.02	7.02
10/28/2556	371	7.23	7.10	7.10	7.12
10/29/2556	372	7.04	6.92	6.90	6.96
10/30/2556	373	7.18	7.02	7.01	7.04
10/31/2556	374	7.29	7.15	7.14	7.18
11/1/2556	375	7.18	7.06	7.02	7.09
11/3/2556	377	7.11	7.00	6.97	7.03
11/4/2556	378	7.04	6.94	6.95	6.99
11/5/2556	379	7.13	7.04	7.02	7.06
11/6/2556	380	7.04	6.97	6.97	6.99
11/7/2556	381	7.11	7.06	7.04	7.06

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
11/8/2556	382	7.00	6.96	6.98	7.00
11/9/2556	383	6.89	6.83	6.85	6.89
11/10/2556	384	6.97	6.92	6.93	6.99
11/11/2556	385	7.08	7.07	7.07	7.13
11/12/2556	386	7.04	7.04	7.09	7.10
11/13/2556	387	6.97	7.02	7.04	7.06
11/14/2556	388	6.89	6.94	6.99	7.01
11/15/2556	389	6.96	7.02	7.04	7.08
11/17/2556	391	7.11	7.11	7.12	7.14
11/20/2556	394	6.79	6.83	6.88	6.90
11/21/2556	395	6.98	6.94	6.97	7.01
11/22/2556	396	6.85	6.87	6.90	6.96
11/23/2556	397	6.84	6.88	6.92	6.96
11/24/2556	398	7.06	7.06	7.10	7.16

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
11/25/2556	399	7.07	7.08	7.09	7.11
11/26/2556	400	7.07	7.12	7.14	7.17
11/27/2556	401	7.11	7.12	7.14	7.16
11/28/2556	402	7.06	7.11	7.13	7.17
11/29/2556	403	7.11	7.15	7.19	7.22
11/30/2556	404	7.05	7.09	7.11	7.14
12/2/2556	406	7.06	7.11	7.11	7.13
12/3/2556	407	6.98	7.00	7.02	7.02
12/4/2556	408	6.97	6.99	7.02	7.03
12/5/2556	409	7.00	7.04	7.06	7.09
12/6/2556	410	6.98	7.01	7.05	7.09
12/7/2556	411	6.98	7.03	7.03	7.04
12/8/2556	412	6.96	7.00	7.01	7.04
12/9/2556	413	6.98	7.03	7.04	7.06
12/10/2556	414	6.98	7.05	7.08	7.08

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
12/11/2556	415	6.98	7.05	7.06	7.08
12/12/2556	416	6.98	7.04	7.06	7.08
12/13/2556	417	6.96	7.01	7.04	7.04
12/14/2556	418	6.98	7.00	7.02	7.03
12/14/2556	419	6.98	7.00	7.02	7.03
12/15/2556	420	6.98	7.02	7.03	7.04
12/16/2556	421	6.97	7.02	7.04	7.06
12/18/2556	423	6.94	7.01	7.05	7.04
12/19/2556	424	6.90	6.95	6.96	6.97
12/20/2556	425	6.94	7.00	7.00	7.02
12/21/2556	426	6.98	7.05	7.08	7.08
12/22/2556	427	6.90	6.95	6.96	6.98
12/23/2556	428	6.92	7.01	7.03	7.05
12/24/2556	429	6.91	6.91	6.98	6.98
12/25/2556	430	6.86	6.94	6.99	6.98

ตารางภาคผนวก จ-2 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
12/27/2556	432	6.93	7.03	6.99	7.00
12/28/2556	433	6.90	6.98	6.98	6.97
12/31/2556	436	6.88	6.95	6.96	6.93
2/21/2557	488	7.22	7.22	7.21	7.22

ตารางภาคผนวก จ-3 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
6/19/2557	489	7.26	7.28	7.27	7.28
6/20/2557	490	7.20	7.23	7.21	7.22
6/21/2557	491	7.28	7.25	7.23	7.22
6/22/2557	492	7.30	7.24	7.22	7.21
6/23/2557	493	7.21	7.19	7.16	7.18
6/24/2557	494	7.25	7.26	7.22	7.22
6/25/2557	495	7.10	7.04	7.00	7.02
6/26/2557	496	7.02	7.00	6.98	6.97
6/27/2557	497	7.08	7.05	6.99	7.00
6/28/2557	498	7.05	7.02	6.99	6.98
6/29/2557	499	7.04	7.02	7.00	6.97
7/1/2557	501	7.09	7.04	7.01	7.01
7/2/2557	502	7.10	7.06	7.01	7.00
7/3/2557	503	7.10	7.03	6.99	6.98
7/4/2557	505	7.02	6.97	6.91	6.90
7/5/2557	506	7.03	6.98	6.95	6.95

ตารางภาคผนวก จ-3 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
7/6/2557	507	7.02	6.97	6.94	6.95
9/9/2557	571	6.94	7.03	7.05	7.05
9/12/2557	574	6.92	7.00	7.03	7.03
9/13/2557	575	6.86	6.94	6.97	6.98
9/14/2557	576	6.86	7.00	7.03	7.02
9/15/2557	577	6.88	6.98	7.00	7.01
9/16/2557	578	6.89	7.00	7.02	7.01
9/17/2557	579	6.87	6.97	6.99	7.02
9/22/2557	584	7.13	7.18	7.19	7.20
9/23/2557	585	6.94	7.01	7.01	7.01
9/24/2557	586	7.08	7.20	7.21	7.26
9/26/2557	588	7.07	7.15	7.17	7.19
9/27/2557	589	6.85	6.93	6.95	6.96
9/28/2557	590	6.71	6.84	6.80	6.79
9/29/2557	591	-	7.23	7.39	-

ตารางภาคผนวก จ-3 ค่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน (ต่อ)

Date	Days	1:WW	2:1% TS-PM+WW	3:2%TS-PM+WW	4:3%TS-PM+WW
10/8/2557	601	6.89	6.93	6.92	6.91
10/9/2557	602	6.93	7.00	7.00	6.99
10/10/2557	604	6.94	7.02	7.02	7.03
10/11/2557	605	6.99	7.07	7.08	7.09
10/13/2557	606	7.19	7.27	7.32	7.34
10/14/2557	607	6.82	6.90	6.92	6.90
10/15/2557	608	6.99	7.09	7.09	7.10
10/16/2557	609	6.95	7.09	7.05	7.07
10/17/2557	610	6.94	7.08	7.10	7.13
10/24/2557	617	6.82	6.95	6.94	6.94
10/25/2557	618	6.83	6.90	6.90	6.89
10/26/2557	619	7.01	7.13	7.10	7.09
10/27/2557	621	6.90	7.00	6.99	7.03
10/28/2557	622	7.02	7.14	7.19	7.21
10/29/2557	623	7.05	7.18	7.19	7.21

ตารางภาคผนวก จ-4 ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	1 : WW			2 : 1% TS-PM+WW		
		TCOD (mg/L)		% TCOD Removal	TCOD (mg/L)		% TCOD Removal
		Influent	Effluent		Influent	Effluent	
1/19/2556	0						
1/22/2556	4	3,290.00	1,020.00	69.00	7,740.00	740.00	90.44
1/26/2556	8	3,290.00	749.00	77.23	7,740.00	1,135.00	85.34
1/30/2556	12	3,290.00	270.00	91.79	7,740.00	993.00	87.17
2/3/2556	16	3,290.00	290.00	91.19	7,740.00	1,120.00	85.53
2/5/2556	18	8,550.00	378.00	95.58	9,425.00	864.00	90.83
2/7/2556	20	8,550.00	348.00	95.93	9,425.00	1,546.00	83.60
2/11/2556	24	8,550.00	381.00	95.54	9,420.00	894.00	90.51
2/15/2556	28	8,550.00	465.00	94.56	9,420.00	937.00	90.05
2/17/2556	30	8,550.00	540.00	93.68	9,420.00	1,421.00	84.92
2/19/2556	32	8,550.00	645.00	92.46	9,420.00	1,137.00	87.93
2/23/2556	36	8,550.00	448.00	94.76	9,420.00	630.00	93.31
2/27/2556	39	8,550.00	592.00	93.08	9,420.00	650.00	93.10
3/3/2556	44	8,550.00	412.00	95.18	9,420.00	740.00	92.14
3/12/2556	53	8,550.00	716.00	91.63	9,420.00	758.00	91.95
3/18/2556	60	9,050.00	482.00	94.67	9,540.00	446.00	95.32

ตารางภาคผนวก จ-5 ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	1 : WW			2 : 1% TS-PM+WW		
		TCOD (mg/L)		%TCOD Removal	TCOD (mg/L)		%TCOD Removal
		Influent	Effluent		Influent	Effluent	
8/22/2556	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
8/31/2556	9	2,225.00	586.00	73.66	4,862.50	1,480.00	69.56
9/3/2556	12	2,485.00	574.00	76.90	5,000.00	3,860.00	#N/A
9/6/2556	15	6,570.00	473.00	92.80	6,220.00	1,430.00	77.01
9/9/2556	18	6,570.00	462.00	92.97	6,220.00	657.00	89.44
9/12/2556	21	6,570.00	786.00	88.04	6,220.00	1,592.00	74.41
9/15/2556	24	1,760.00	637.00	63.81	4,640.00	2,524.00	45.60
9/18/2556	27	#N/A	#N/A	#N/A	4,640.00	1,824.00	60.69
9/21/2556	30	4,007.50	1,231.00	69.28	#N/A	#N/A	#N/A
9/24/2556	33	4,007.50	661.00	83.51	7,015.00	1,526.00	78.25
9/27/2556	36	4,140.00	739.00	82.15	7,150.00	490.00	93.15
9/30/2556	39	4,140.00	246.00	94.06	7,150.00	424.00	94.07
10/3/2556	42	4,140.00	344.00	91.69	3,950.00	1,512.00	61.72
10/6/2556	45	4,140.00	220.00	94.69	3,950.00	412.00	89.57
10/9/2556	48	4,140.00	127.00	96.93	3,950.00	680.00	82.78
10/12/2556	51	4,140.00	184.00	95.56	3,145.00	880.00	72.02
10/18/2556	57	3,925.00	209.00	94.68	6,360.00	426.00	93.30
10/21/2556	60	3,925.00	198.00	94.96	6,360.00	330.00	94.81
10/24/2556	63	3,925.00	204.00	94.80	6,360.00	426.00	93.30
11/4/2556	74	3,820.00	708.00	81.47	16,235.00	372.00	97.71
11/5/2556	75	3,820.00	300.00	92.15	16,235.00	9,750.00	39.94

ตารางภาคผนวก จ-5 ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	1 : WW			2 : 1% TS-PM+WW		
		TCOD (mg/L)		%TCOD Removal	TCOD (mg/L)		%TCOD Removal
		Influent	Effluent		Influent	Effluent	
11/11/2556	81	10,625.00	-	-	13,457.00	188.00	98.60
11/14/2556	84	10,625.00	90.00	99.15	13,457.00	528.00	96.08
11/20/2556	90	4,800.00	324.00	93.25	13,457.00	648.00	95.18
11/23/2556	93	4,800.00	84.00	98.25	13,457.00	244.00	98.19
11/29/2556	99	4,800.00	154.00	96.79	13,457.00	280.00	97.92
12/2/2556	101	4,800.00	282.00	94.13	13,457.00	336.00	97.50
12/5/2556	104	4,800.00	676.00	85.92	13,457.00	392.00	97.09
12/8/2556	107	4,970.00	346.00	93.04	8,950.00	224.00	97.50
12/17/2556	116	4,970.00	140.00	97.18	8,950.00	188.00	97.90
1/7/2557	130	3,745.00	270.00	92.79	7,840.00	420.00	94.64
1/9/2557	132	3,745.00	226.00	93.97	7,840.00	412.00	94.74
1/10/2557	133	3,745.00	56.00	98.50	7,840.00	272.00	96.53
1/15/2557	137	3,745.00	485.00	87.05	7,840.00	444.00	94.34
1/16/2557	138	3,745.00	882.00	76.45	7,840.00	268.00	96.58
1/19/2557	141	3,745.00	78.00	97.92	7,840.00	400.00	94.90
1/22/2557	144	3,745.00	382.00	89.80	7,840.00	308.00	96.07
1/28/2557	150	3,745.00	144.00	96.15	7,840.00	356.00	95.46
1/29/2557	151	3,745.00	420.00	88.79	7,840.00	-	-
1/31/2557	153	3,745.00	252.00	93.27	7,840.00	344.00	95.61
2/12/2557	165	3,745.00	414.00	88.95	7,840.00	408.00	94.80
2/18/2557	171	3,745.00	418.00	88.84	7,840.00	584.00	92.55

ตารางภาคผนวก จ-6 ค่า TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
ที่ HRT 25 วัน

Date	Days	1 : WW			2 : 1% TS-PM+WW		
		TCOD (mg/L)		%TCOD Removal	TCOD (mg/L)		%TCOD Removal
		Influent	Effluent		Influent	Effluent	
19 มิย 57	1	2,972.50	-	-	12,400.00	-	-
23 มิย 57	5	2,972.50	752.00	74.70	10,950.00	1,020.00	90.68
28 มิย 57	10	2,755.00	223.00	91.91	10,950.00	1,057.00	90.35
3 กค 57	15	1,357.50	645.00	52.49	14,500.00	1,125.00	92.24
8 กค 57	20	1,357.50	665.00	51.01	14,500.00	535.00	96.31
13 กค 57	25	1,357.50	350.00	74.22	14,500.00	715.00	95.07
19 กค 57	31	1,357.50	745.00	45.12	14,500.00	1,895.00	86.93
9 กย 57	83	5,670.00	1,988.00	64.94	12,300.00	1,244.00	89.89
27 กย 57	101	4,410.00	320.00	92.74	8,260.00	540.00	93.46
8 ตค 57	113	4,050.00	455.00	88.77	8,690.00	590.00	93.21
13 ตค 57	118	4,050.00	350.00	91.36	8,690.00	676.00	92.22
18 ตค 57	123	4,050.00	590.00	85.43	8,690.00	617.00	92.90
23 ตค 57	128	2,175.00	423.00	80.55	9,540.00	652.00	93.17
29 ตค 57	134	2,175.00	212.00	90.25	9,540.00	444.00	95.35

ตารางภาคผนวก จ-7 ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2% TS-PM+WW		3% TS-PM+WW	
		TS (g/L)		TS (g/L)		TS (g/L)		TS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
1/21/2556	3	3.79	1.99	6.68	2.62	10.02	-	11.84	3.71
1/22/2556	4	3.79	-	6.68	-	10.02	-	11.84	-
1/26/2556	8	3.79	1.86	6.68	2.62	10.02	3.07	11.84	3.81
1/30/2556	12	3.79	-	6.68	2.92	10.02	3.29	11.84	3.76
2/3/2556	16	3.79	-	6.68	-	10.02	3.12	11.84	3.57
1/5/2556	18	2.62	-	5.70	-	9.19	-	11.42	-
2/7/2556	20	2.62	1.38	5.70	-	9.19	2.37	11.42	2.88
2/9/2556	22	2.62	1.47	5.70	2.46	9.19	2.48	11.42	3.67
2/11/2556	24	2.62	1.93	5.70	2.54	9.19	2.60	11.42	3.09
2/15/2556	28	2.62	-	5.70	-	9.19	-	11.42	-
2/17/2556	30	2.62	2.21	5.70	3.25	9.19	3.27	11.42	3.25
2/19/2556	32	2.62	-	5.70	-	9.19	-	11.42	-
2/22/2556	36	3.61	2.25	-	-	-	-	-	-
2/27/2556	40	3.61	2.99	-	-	-	-	-	-
3/3/2556	44	3.61	1.83	-	-	-	-	-	-

ตารางภาคผนวก จ-8 ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TS (mg/L)		TS (mg/L)		TS (mg/L)		TS (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/22/2556	0	1.68	-	4.76	-	8.94	-	11.97	-
8/28/2556	6	1.68	0.50	4.76	7.36	8.94	2.91	11.97	3.47
8/31/2556	9	1.68	-	4.76	7.39	8.94	2.68	11.97	4.10
9/3/2556	12	3.49	2.40	5.26	5.51	8.08	3.19	10.13	4.39
9/6/2556	15	3.79	2.77	6.41	2.90	10.31	2.86	13.16	4.79
9/9/2556	18	3.79	1.65	6.41	2.40	10.31	3.99	13.16	4.78
9/12/2556	21	3.79	1.93	6.41	3.45	10.31	3.51	13.16	4.04
9/15/2556	24	1.38	1.79	5.35	5.17	9.51	2.35	17.49	-
9/18/2556	27	1.38	3.24	5.35	5.37	9.51	2.47	17.49	2.80
9/21/2556	30	3.14	2.41	5.54	-	9.01	3.19	10.37	3.62
9/24/2556	33	3.14	1.81	5.54	2.09	9.01	4.20	10.37	3.54
9/27/2556	36	3.14	2.26	5.54	2.27	9.01	2.87	10.37	3.95
9/30/2556	39	3.14	2.89	5.54	-	9.01	4.43	10.37	3.67
10/3/2556	42	0.38	1.58	3.41	4.80	6.15	3.04	8.88	-
10/6/2556	45	0.38	1.75	3.41	2.56	6.15	4.20	8.88	3.49
10/9/2556	48	0.38	1.93	3.41	1.95	6.15	2.22	8.88	2.89
10/12/2556	51	0.46	4.01	2.07	2.30	6.37	2.54	10.09	1.25
10/15/2556	54	-	-	-	-	-	-	-	-
10/18/2556	57	0.46	3.49	2.07	3.03	6.37	1.87	10.09	1.34
10/21/2556	60	0.46	1.17	2.07	1.53	6.37	2.28	10.09	2.80
10/24/2556	63	0.46	1.65	2.07	1.71	6.37	2.18	10.09	3.58

ตารางภาคผนวก จ-8 ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TS (mg/L)		TS (mg/L)		TS (mg/L)		TS (mg/L) (ต่อ)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
10/27/2556	66	0.46	1.24	2.07	2.65	6.37	2.27	10.09	3.48
10/30/2556	69	0.46	1.66	2.07	2.24	6.37	2.59	10.09	3.17
11/2/2556	72	-	-	-	-	-	-	-	-
11/5/2556	75	0.46	2.80	2.07	2.61	6.37	1.40	10.09	3.45
11/8/2556	78	0.46	1.78	2.07	3.34	6.37	4.17	10.09	5.50
11/11/2556	81	0.46	2.39	2.07	3.29	6.37	2.37	10.09	3.73
11/14/2556	84	0.46	1.39	2.07	2.81	6.37	3.37	10.09	4.71
11/17/2556	87	0.46	2.46	2.07	2.33	6.37	2.81	10.09	5.53
11/20/2556	90	0.46	2.34	2.07	2.48	6.37	2.38	10.09	3.27
11/23/2556	93	0.46	1.36	2.07	2.40	6.37	3.00	10.09	3.35
11/26/2556	96	0.46	1.46	2.07	2.20	6.37	3.30	10.09	4.92

ตารางภาคผนวก จ-9 ค่า TS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TS (g/L)		TS (g/L)		TS (g/L)		TS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	1.63	-	7.36	-	10.43	-	17.02	-
21 มิย 57	3	1.63	-	7.36	-	10.43	-	17.02	-
23 มิย 57	5	1.63	2.83	7.36	2.93	10.43	2.94	17.02	4.13
28 มิย 57	10	1.63	1.51	7.36	2.66	10.43	3.66	17.02	3.76
3 กค 57	15	1.63	1.57	2.68	2.68	8.81	3.25	9.45	3.69
8 กค 57	20	1.63	1.36	2.68	2.35	8.81	2.82	9.45	3.60
13 กค 57	25	1.63	1.29	2.68	2.46	8.81	2.81	9.45	3.51
19 กค 57	31	1.54	1.14	4.48	2.21	6.51	2.45	10.33	3.10
9 กย 57	83	2.65	1.79	4.91	2.78	7.65	4.26	9.67	2.34
19 กย 57	93	3.59	2.51	5.77	2.18	7.71	4.25	9.23	3.10
22 กย 57	96	3.59	2.32	5.77	2.06	7.71	4.12	9.23	2.72
27 กย 57	101	3.59	2.11	5.77	2.08	7.71	3.80	9.23	3.51
8 ตค 57	113	3.19	2.48	6.75	4.22	9.34	5.22	11.35	4.56
13 ตค 57	118	3.19	2.54	6.75	3.96	9.34	4.87	11.35	4.39
23 ตค 57	128	2.43	1.82	4.75	3.35	8.63	5.22	9.82	4.97
29 ตค 57	134	2.43	1.23	4.75	3.16	8.63	4.78	9.82	4.64

ตารางภาคผนวก จ-10 ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	WW		1% TS-PM+WW		2% TS-PM+WW		3% TS-PM+WW	
		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
1/21/2556	3	2.43	0.45	4.31	0.68	6.64	-	8.20	0.86
1/22/2556	4	2.43	-	4.31	-	6.64	-	8.20	-
1/26/2556	8	2.43	0.66	4.31	0.89	6.64	0.77	8.20	-
1/30/2556	12	2.43	-	4.31	0.88	6.64	0.97	8.20	1.05
2/3/2556	16	2.43	-	4.31	0.89	6.64	0.87	8.20	0.89
1/5/2556	18	2.03	-	4.07	-	6.34	-	7.95	-
2/7/2556	20	2.03	0.68	4.07	-	6.34	0.87	7.95	1.21
2/9/2556	22	2.03	0.41	4.07	0.73	6.34	0.55	7.95	0.93
2/11/2556	24	2.03	0.78	4.07	1.00	6.34	1.09	7.95	1.23
2/15/2556	28	2.03	-	4.07	-	6.34	-	7.95	-
2/17/2556	30	2.03	0.57	4.07	1.05	6.34	1.23	7.95	0.55
2/19/2556	32	2.03	-	4.07	-	6.34	-	7.95	-

ตารางภาคผนวก จ-11 ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/22/2556	0	0.08	-	1.07	-	2.11	-	4.20	-
8/28/2556	6	0.08	0.50	1.07	3.05	2.11	1.55	4.20	2.01
8/31/2556	9	0.08	0.97	1.07	3.18	2.11	1.40	4.20	2.23
9/3/2556	12	0.69	1.54	1.40	2.56	2.20	2.01	2.90	2.50
9/6/2556	15	1.06	1.36	2.26	1.93	3.18	2.10	4.13	2.98
9/9/2556	18	1.06	1.34	2.26	1.70	3.18	2.53	4.13	2.86
9/12/2556	21	1.06	1.33	2.26	1.92	3.18	2.12	4.13	2.30
9/15/2556	24	0.42	1.05	1.83	2.49	3.08	1.54	5.19	-
9/18/2556	27	0.42	1.57	1.83	2.43	3.08	1.56	5.19	1.72
9/21/2556	30	0.89	1.21	1.74	6.14	3.19	1.93	3.19	2.16
9/24/2556	33	0.89	0.90	1.74	1.27	3.19	2.09	3.19	2.10
9/27/2556	36	0.89	1.38	1.74	1.20	3.19	1.89	3.19	2.12
9/30/2556	39	0.89	1.29	1.74	-	3.19	2.46	3.19	1.96
10/3/2556	42	0.31	1.17	1.32	2.73	2.09	2.16	3.04	-
10/6/2556	45	0.31	1.19	1.32	1.77	2.09	2.26	3.04	2.33
10/9/2556	48	0.31	0.14	1.32	1.18	2.09	2.59	3.04	4.25
10/12/2556	51	0.30	2.26	1.00	1.79	2.20	1.73	3.28	0.85
10/18/2556	57	0.30	0.94	1.00	1.18	2.20	1.75	3.28	2.10
10/21/2556	60	0.30	0.84	1.00	1.08	2.20	1.47	3.28	1.80
10/24/2556	63	0.30	1.09	1.00	1.09	2.20	1.39	3.28	1.92
10/27/2556	66	0.30	0.76	1.00	1.71	2.20	1.62	3.28	2.27

ตารางภาคผนวก จ-11 ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)		VS (g/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
10/30/2556	69	0.30	1.19	1.00	1.41	2.20	1.72	3.28	2.05
11/2/2556	72	-	-	-	-	-	-	-	-
11/5/2556	75	0.30	1.50	1.00	1.43	2.20	0.96	3.28	1.99
11/8/2556	78	0.30	0.94	1.00	1.68	2.20	2.18	3.28	2.61
11/11/2556	81	0.30	1.18	1.00	2.07	2.20	1.45	3.28	2.17
11/14/2556	84	0.30	0.73	1.00	2.05	2.20	1.65	3.28	2.63
11/17/2556	87	0.30	0.93	1.00	0.94	2.20	1.81	3.28	3.04
11/20/2556	90	0.30	0.86	1.00	1.10	2.20	1.65	3.28	1.90
11/23/2556	93	0.30	0.93	1.00	1.61	2.20	1.86	3.28	2.05
11/26/2556	96	0.30	0.93	1.00	1.49	2.20	2.16	3.28	2.87

ตารางภาคผนวก จ-12 ค่า VS ของน้ำเสียและน้ำทิ้ง ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		VS (mg/L)		VS (mg/L)		VS (mg/L)		VS (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	0.59	-	2.27	-	3.03	-	4.33	-
21 มิย 57	3	0.59	1.32	2.27	1.77	3.03	1.72	4.33	2.35
28 มิย 57	10	0.59	0.93	2.27	1.69	3.03	1.76	4.33	2.29
3 กค 57	15	0.59	0.86	2.37	1.75	2.68	1.96	2.97	2.25
8 กค 57	20	0.59	0.83	2.37	1.54	2.68	1.75	2.97	2.20
13 กค 57	25	0.59	0.81	2.37	1.60	2.68	1.77	2.97	1.35
19 กค 57	31	0.47	0.74	1.48	1.23	1.76	1.59	2.73	1.10
9 กย 57	83	1.29	0.82	2.47	1.04	2.55	1.91	3.19	2.34
19 กย 57	93	1.54	0.96	2.24	1.56	2.62	1.82	3.10	1.54
22 กย 57	96	1.54	0.92	2.24	1.43	2.62	1.63	3.10	1.76
27 กย 57	101	1.54	0.87	2.24	1.44	2.62	1.70	3.10	2.21
8 ตค 57	113	1.13	0.91	2.27	1.54	3.09	2.34	3.69	1.92
13 ตค 57	118	1.13	0.86	2.27	1.39	3.09	2.11	3.69	2.39
23 ตค 57	128	1.22	0.87	2.13	1.54	3.41	2.32	3.52	2.18
29 ตค 57	134	1.22	0.81	2.13	1.33	3.41	1.93	3.52	2.04

ตารางภาคผนวก จ-13 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW				2:1%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/22/2556	0	-	-	-	-	-	-	-	-
8/28/2556	6	-	-	-	-	-	-	-	-
8/31/2556	9	-	-	-	-	-	-	-	-
9/3/2556	12	-	160.00	-	1,460.00	-	290.00	-	2,190.00
9/6/2556	15	710.00	150.00	665.00	1,520.00	920.00	160.00	1,000.00	1,990.00
9/9/2556	18	710.00	140.00	665.00	1,480.00	920.00	170.00	1,000.00	1,930.00
9/12/2556	21	710.00	130.00	665.00	1,490.00	920.00	200.00	1,000.00	1,970.00
9/15/2556	24	310.00	160.00	280.00	1,400.00	520.00	280.00	820.00	1,960.00
9/18/2556	27	310.00	270.00	280.00	1,440.00	520.00	370.00	820.00	1,940.00
9/21/2556	30	770.00	250.00	280.00	670.00	1,080.00	910.00	455.00	1,127.00
9/24/2556	33	770.00	240.00	280.00	645.00	1,080.00	1,350.00	455.00	855.00
9/27/2556	36	830.00	1,200.00	295.00	675.00	1,140.00	1,200.00	440.00	890.00
9/30/2556	39	830.00	1,050.00	295.00	650.00	1,140.00	1,100.00	440.00	890.00
10/3/2556	42	350.00	950.00	85.00	640.00	2,250.00	1,550.00	245.00	875.00
10/6/2556	45	350.00	190.00	85.00	600.00	2,250.00	210.00	245.00	795.00
10/12/2556	51	350.00	800.00	85.00	525.00	2,250.00	1,200.00	245.00	740.00
10/18/2556	57	350.00	650.00	85.00	430.00	2,250.00	750.00	245.00	560.00
10/21/2556	60	850.00	100.00	420.00	370.00	1,060.00	90.00	580.00	560.00
10/24/2556	63	850.00	100.00	420.00	400.00	1,060.00	90.00	580.00	560.00
10/27/2556	66	800.00	710.00	720.00	80.00	1,000.00	920.00	1,060.00	120.00
11/2/2556	72	800.00	160.00	-	-	260.00	290.00	1,060.00	-

ตารางภาคผนวก จ-13 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW				2:1%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
11/5/2556	75	800.00	-	800.00	80.00	260.00	-	1,180.00	80.00
11/8/2556	78	800.00	-	720.00	70.00	260.00	-	1,180.00	-
11/11/2556	81	800.00	620.00	800.00	70.00	220.00	1,080.00	980.00	100.00
11/14/2556	84	800.00	-	800.00	75.00	220.00	-	1,160.00	80.00
11/17/2556	87	800.00	-	760.00	60.00	220.00	-	1,180.00	70.00
11/20/2556	90	520.00	160.00	1,100.00	120.00	920.00	690.00	1,500.00	160.00
12/6/2556	106	680.00	-	560.00	-	800.00	-	1,000.00	-
12/23/2556	123	680.00	60.00	560.00	880.00	800.00	60.00	1,000.00	1,040.00
12/31/2556	131	560.00	60.00	680.00	920.00	1,300.00	120.00	920.00	1,160.00
1/4/2557	135	560.00	100.00	680.00	960.00	1,300.00	100.00	920.00	1,240.00
1/7/2557	138	560.00	60.00	680.00	800.00	1,300.00	120.00	920.00	1,200.00
1/10/2557	141	1,120.00	80.00	960.00	1,000.00	1,420.00	140.00	1,400.00	1,240.00
1/16/2557	147	1,120.00	80.00	960.00	920.00	1,420.00	180.00	1,400.00	1,320.00
1/19/2557	150	1,120.00	100.00	960.00	1,040.00	1,420.00	120.00	1,400.00	1,400.00
1/22/2557	153	1,120.00	80.00	960.00	1,040.00	1,420.00	120.00	1,400.00	1,360.00
1/28/2557	159	1,120.00	160.00	960.00	1,120.00	1,420.00	160.00	1,400.00	1,400.00
1/31/2557	162	1,120.00	140.00	960.00	1,160.00	1,420.00	180.00	1,400.00	1,400.00
2/9/2557	171	1,120.00	100.00	960.00	1,160.00	1,420.00	180.00	1,400.00	1,560.00
2/12/2557	174	1,120.00	160.00	960.00	1,240.00	1,420.00	180.00	1,400.00	1,520.00
2/15/2557	177	1,120.00	180.00	960.00	1,200.00	1,420.00	140.00	1,400.00	1,480.00

ตารางภาคผนวก จ-13 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW				2:1%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/22/2556	0	-	-	-	-	-	-	-	-
9/3/2556	12	-	190.00	-	2,120.00	-	210.00	-	2,740.00
9/6/2556	15	1,210.00	200.00	1,380.00	2,180.00	1,360.00	280.00	1,655.00	2,870.00
9/9/2556	18	1,210.00	250.00	1,380.00	2,260.00	1,360.00	250.00	1,655.00	2,730.00
9/12/2556	21	1,210.00	250.00	1,380.00	2,230.00	1,360.00	240.00	1,655.00	2,650.00
9/15/2556	24	860.00	220.00	1,220.00	2,080.00	1,220.00	790.00	1,540.00	3,250.00
9/18/2556	27	860.00	300.00	1,220.00	2,100.00	1,220.00	290.00	1,540.00	2,500.00
9/21/2556	30	1,460.00	330.00	600.00	1,000.00	1,590.00	280.00	695.00	1,180.00
9/24/2556	33	1,460.00	1,700.00	600.00	1,025.00	1,590.00	1,550.00	695.00	1,185.00
9/27/2556	36	1,470.00	1,400.00	485.00	1,015.00	1,960.00	1,500.00	780.00	1,225.00
9/30/2556	39	1,470.00	1,200.00	485.00	990.00	1,960.00	1,200.00	780.00	1,155.00
10/3/2556	42	3,950.00	1,200.00	425.00	980.00	5,900.00	6,300.00	600.00	1,600.00
10/6/2556	45	3,950.00	240.00	425.00	960.00	5,900.00	240.00	600.00	1,120.00
10/12/2556	51	3,950.00	1,400.00	425.00	890.00	5,900.00	650.00	600.00	1,060.00
10/18/2556	57	3,950.00	750.00	425.00	700.00	5,900.00	750.00	600.00	900.00
10/21/2556	60	1,340.00	140.00	760.00	720.00	1,580.00	150.00	870.00	870.00
10/24/2556	63	1,340.00	120.00	760.00	720.00	1,580.00	160.00	870.00	880.00
10/27/2556	66	840.00	1,210.00	1,460.00	120.00	1,280.00	1,360.00	1,680.00	140.00

ตารางภาคผนวก จ-13 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW				2:1%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
11/2/2556	72	540.00	190.00	1,460.00	-	780.00	210.00	1,680.00	-
11/5/2556	75	540.00	-	1,460.00	70.00	780.00	-	1,700.00	80.00
11/8/2556	78	540.00	-	1,460.00	80.00	780.00	-	1,720.00	110.00
11/11/2556	81	580.00	1,440.00	1,460.00	110.00	740.00	1,600.00	1,660.00	80.00
11/14/2556	84	580.00	-	1,500.00	90.00	740.00	-	1,780.00	120.00
11/17/2556	87	580.00	-	1,500.00	90.00	740.00	-	1,740.00	110.00
11/20/2556	90	1,160.00	190.00	1,800.00	160.00	1,360.00	210.00	2,060.00	190.00
12/4/2556	106	1,120.00	-	1,160.00	-	1,220.00	-	1,280.00	-
12/21/2556	123	1,120.00	100.00	1,160.00	1,400.00	1,220.00	100.00	1,280.00	1,480.00
12/29/2556	131	1,240.00	120.00	1,200.00	1,440.00	1,300.00	160.00	1,400.00	1,680.00
1/2/2557	135	1,240.00	140.00	1,200.00	1,560.00	1,300.00	140.00	1,400.00	1,720.00
1/5/2557	138	1,240.00	140.00	1,200.00	1,480.00	1,300.00	160.00	1,400.00	1,640.00
1/8/2557	141	1,800.00	160.00	1,680.00	1,480.00	2,160.00	160.00	2,080.00	1,640.00
1/16/2557	147	1,800.00	80.00	1,680.00	1,560.00	2,160.00	160.00	2,080.00	1,800.00
1/19/2557	150	1,800.00	140.00	1,680.00	1,600.00	2,160.00	160.00	2,080.00	1,760.00
1/22/2557	153	1,800.00	180.00	1,680.00	1,600.00	2,160.00	140.00	2,080.00	1,760.00
1/28/2557	159	1,800.00	180.00	1,680.00	1,720.00	2,160.00	140.00	2,080.00	1,920.00
1/31/2557	162	1,800.00	180.00	1,680.00	1,720.00	2,160.00	180.00	2,080.00	1,960.00
2/9/2557	171	1,800.00	160.00	1,680.00	1,800.00	2,160.00	200.00	2,080.00	2,040.00
2/12/2557	174	1,800.00	180.00	1,680.00	1,760.00	2,160.00	180.00	2,080.00	2,000.00
2/15/2557	177	1,800.00	180.00	1,680.00	1,760.00	2,160.00	240.00	2,080.00	1,880.00

ตารางภาคผนวก จ-14 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW				2:1%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	-	-	-	-	-	-	-	-
21 มิย 57	3	300.00	-	460.00	-	540.00	-	820.00	-
23 มิย 57	5	300.00	120.00	460.00	920.00	540.00	540.00	820.00	1,340.00
28 มิย 57	10	300.00	100.00	460.00	880.00	540.00	140.00	820.00	1,220.00
01 กค 57	13	180.00	-	280.00	-	540.00	-	740.00	-
3 กค 57	15	180.00	100.00	280.00	860.00	540.00	200.00	740.00	1,380.00
9 กย 57	83	180.00	100.00	280.00	600.00	540.00	200.00	740.00	1,080.00
12 กย 57	86	940.00	-	-	-	1,360.00	-	-	-
17 กย 57	91	940.00	140.00	280.00	760.00	1,360.00	200.00	740.00	1,200.00
22 กย 57	96	940.00	140.00	280.00	880.00	1,360.00	220.00	740.00	1,360.00
27 กย 57	101	940.00	160.00	280.00	920.00	1,360.00	240.00	-	1,360.00
8 ตค 57	113	560.00	-	1,080.00	-	1,180.00	-	1,880.00	-
13 ตค 57	118	560.00	160.00	1,080.00	920.00	1,180.00	240.00	1,880.00	1,360.00
23 ตค 57	128	650.00	140.00	1,080.00	1,000.00	1,180.00	140.00	1,880.00	2,720.00

ตารางภาคผนวก จ-14 ค่า VFA และ Alkalinity ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	3:2%TS+WW				4:3%TS+WW			
		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)		VFA (mg/L as CH ₃ COOH)		Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	-	-	-	-	-	-	-	-
20 มิย 57	2	-	-	-	-	-	-	-	-
21 มิย 57	3	1,040.00	-	1,420.00	-	1,500.00		1,440.00	
22 มิย 57	4	-	-	-	-	-	-	-	-
23 มิย 57	5	1,040.00	800.00	1,420.00	1,680.00	1,500.00	1,080.00	1,440.00	1,980.00
28 มิย 57	10	1,040.00	180.00	1,420.00	1,620.00	1,500.00	180.00	1,440.00	1,960.00
01 กค 57	13	800.00	-	1,020.00	-	1,080.00	-	1,300.00	-
3 กค 57	15	800.00	200.00	1,020.00	1,640.00	1,080.00	260.00	1,300.00	2,000.00
9 กย 57	83	800.00	300.00	1,020.00	1,480.00	1,080.00	320.00	1,300.00	1,760.00
12 กย 57	86	1,760.00	-	-	-	1,660.00	-	-	-
17 กย 57	91	1,760.00	220.00	1,020.00	1,480.00	1,660.00	260.00	1,300.00	1,840.00
22 กย 57	96	1,760.00	220.00	1,020.00	1,640.00	1,660.00	260.00	1,300.00	1,880.00
27 กย 57	101	1,760.00	280.00	1,020.00	1,640.00	1,660.00	320.00	1,300.00	1,920.00
8 ตค 57	113	1,500.00	-	2,320.00	-	1,640.00	-	2,440.00	-
13 ตค 57	118	1,500.00	280.00	2,320.00	1,640.00	1,640.00	320.00	2,440.00	1,920.00
23 ตค 57	128	1,500.00	140.00	2,320.00	2,000.00	1,640.00	200.00	2,440.00	4,320.00

ตารางภาคผนวก จ-15 ค่า TN ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TN (mg/L)		TN (mg/L)		TN (mg/L)		TN (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/28/2556	6	400.00	160.00	430.00	810.00	350.00	570.00	690.00	260.00
8/31/2556	9	420.00	400.00	456.00	290.00	470.00	360.00	360.00	330.00
9/6/2556	15	390.00	540.00	230.00	250.00	560.00	580.00	680.00	450.00
9/12/2556	21	140.00	170.00	140.00	130.00	120.00	210.00	150.00	610.00
9/18/2556	27	140.00	90.00	140.00	90.00	120.00	200.00	150.00	260.00
9/24/2556	33	100.00	400.00	80.00	520.00	90.00	740.00	150.00	-
9/30/2556	39	115.00	250.00	165.00	75.00	160.00	65.00	290.00	55.00
10/6/2556	45	105.00	65.00	285.00	130.00	240.00	125.00	245.00	170.00
10/12/2556	51	100.00	75.00	75.00	100.00	90.00	100.00	130.00	115.00
10/18/2556	57	100.00	365.00	75.00	335.00	90.00	345.00	130.00	555.00
10/24/2556	63	120.00	180.00	110.00	355.00	305.00	130.00	485.00	310.00
10/30/2556	69	205.00	90.00	225.00	-	720.00	290.00	570.00	340.00
11/5/2556	75	165.00	185.00	285.00	320.00	405.00	90.00	415.00	215.00

ตารางภาคผนวก จ-16 ค่า TP ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
8/28/2556	6	460.00	-	220.00	-	290.00	-	520.00	-
8/31/2556	9	120.00	90.00	220.00	180.00	300.00	90.00	360.00	100.00
9/6/2556	15	450.00	90.00	140.00	230.00	150.00	340.00	160.00	400.00
9/12/2556	21	350.00	360.00	280.00	-	420.00	280.00	640.00	290.00
9/15/2556	24	350.00	770.00	280.00	-	420.00	140.00	640.00	320.00
9/18/2556	27	350.00	180.00	280.00	210.00	420.00	210.00	640.00	350.00
9/21/2556	30	130.00	190.00	270.00	660.00	400.00	230.00	750.00	200.00
9/24/2556	33	130.00	550.00	270.00	240.00	400.00	230.00	750.00	240.00
9/30/2556	39	500.00	150.00	590.00	100.00	770.00	100.00	970.00	130.00
10/6/2556	45	100.00	120.00	170.00	150.00	270.00	130.00	330.00	130.00
10/12/2556	51	90.00	200.00	165.00	580.00	305.00	240.00	420.00	230.00
10/18/2556	57	90.00	70.00	165.00	175.00	305.00	240.00	420.00	330.00
10/24/2556	63	85.00	210.00	220.00	125.00	310.00	110.00	430.00	140.00
10/30/2556	69	185.00	110.00	260.00	95.00	330.00	95.00	440.00	130.00
11/5/2556	75	330.00	90.00	370.00	70.00	540.00	125.00	650.00	85.00
11/11/2556	81	330.00	115.00	370.00	180.00	540.00	240.00	650.00	395.00
11/17/2556	87	675.00	210.00	400.00	170.00	645.00	140.00	715.00	190.00
11/23/2556	93	165.00	135.00	445.00	135.00	540.00	315.00	860.00	160.00
11/29/2556	99	165.00	255.00	445.00	205.00	540.00	270.00	860.00	230.00
12/5/2556	105	165.00	100.00	445.00	145.00	540.00	110.00	860.00	140.00

ตารางภาคผนวก จ-16 ค่า TP ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
12/11/2556	111	125.00	140.00	245.00	160.00	320.00	175.00	390.00	195.00
12/14/2556	117	125.00	760.00	245.00	310.00	320.00	210.00	390.00	315.00
12/20/2556	123	125.00	225.00	245.00	215.00	320.00	360.00	390.00	480.00
1/1/2557	135	240.00	180.00	390.00	245.00	463.00	265.00	455.00	310.00
1/7/2557	141	240.00	130.00	390.00	130.00	463.00	315.00	455.00	470.00
1/19/2557	153	240.00	195.00	390.00	295.00	463.00	360.00	455.00	300.00
1/31/2557	165	240.00	205.00	390.00	260.00	463.00	245.00	455.00	255.00
2/12/2557	177	310.00	230.00	247.00	235.00	246.00	260.00	530.00	240.00

ตารางภาคผนวก จ-17 ค่า TN ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TN (mg/L)		TN (mg/L)		TN (mg/L)		TN (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	13.35	-	116.00	-	187.50	-	80.00	-
21 มิย 57	3	13.35	-	116.00	-	187.50	-	80.00	-
26 มิย 57	8	13.35	182.00	116.00	195.50	187.50	247.00	80.00	325.00
9 กย 57	83	21.15	228.00	114.50	147.00	162.00	232.00	125.50	290.00
17 กย 57	91	65.00	175.00	49.00	222.00	24.00	203.00	23.00	287.00
22 กย 57	96	65.00	140.00	49.00	195.00	24.00	204.00	23.00	271.00
27 กย 57	101	65.00	153.00	49.00	207.00	24.00	242.00	23.00	245.00
8 ตค 57	112	66.00	192.00	270.00	125.00	34.00	172.00	22.00	218.00
18 ตค 57	123	128.00	135.00	245.00	285.00	292.00	250.00	237.00	274.00
29 ตค 57	133	128.00	116.00	245.00	197.00	292.00	239.00	237.00	302.00

ตารางภาคผนวก จ-18 ค่า TP ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

วัน-เดือน-ปี	Days	1:WW		2:1%TS+WW		3:2%TS+WW		4:3%TS+WW	
		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)		TP (mg/L)	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
19 มิย 57	1	-	-	-	-	-	-	-	-
26 มิย 57	8	21.65	82.65	197.50	126.00	283.00	84.00	306.00	101.00
01 กค 57	13	15.10	120.00	215.50	218.00	257.00	103.50	297.00	215.00
8 กค 57	20	15.10	72.30	215.50	157.50	257.00	129.50	297.00	110.00
9 กย 57	83	79.00	142.00	190.00	315.00	355.00	253.00	450.00	216.00
17 กย 57	91	79.00	106.00	190.00	240.00	355.00	170.00	450.00	235.00
22 กย 57	96	79.00	182.00	190.00	134.00	355.00	231.00	450.00	120.00
27 กย 57	101	79.00	224.00	190.00	341.00	355.00	114.00	450.00	231.00
8 ตค 57	112	125.00	279.00	248.00	230.00	305.00	190.00	360.00	80.00
18 ตค 57	123	125.00	174.00	248.00	159.00	305.00	210.00	360.00	220.00
29 ตค 57	133	125.00	139.00	248.00	210.00	305.00	235.00	360.00	428.00

ตารางภาคผนวก จ-19 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
1/24/2556	77	0.15	0.30	0.55	0.81
1/26/2556	79	0.14	0.24	0.48	0.51
1/27/2556	80	0.10	0.36	0.62	0.84
1/28/2556	81	0.10	0.32	0.60	0.67
1/29/2556	82	0.12	0.32	0.55	0.63
1/30/2556	83	0.10	0.26	0.54	0.58
1/31/2556	84	0.10	0.31	0.51	0.59
2/1/2556	85	0.11	0.27	0.48	0.61
2/2/2556	86	0.12	0.33	0.56	0.64
2/3/2556	87	0.33	0.56	0.65	#N/A
2/4/2556	88	0.09	0.30	0.50	0.64
2/5/2556	89	0.11	0.45	0.58	0.76
2/6/2556	90	0.13	0.37	0.62	0.84
2/7/2556	91	0.16	0.55	0.71	0.72
2/8/2556	92	0.12	0.39	0.60	0.84
2/9/2556	93	0.32	0.61	0.88	1.08
2/10/2556	94	0.35	0.59	0.83	1.10
2/13/2556	97	0.36	0.60	0.97	-
2/14/2556	98	0.39	0.63	0.86	1.04
2/15/2556	99	0.39	0.62	0.85	1.09
2/16/2556	100	0.39	0.55	0.77	0.93

ตารางภาคผนวก จ-19 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (ก่อนฤดูวางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
2/17/2556	101	0.35	0.55	0.76	0.94
2/18/2556	102	0.49	0.58	0.78	0.97
2/19/2556	103	0.37	0.54	0.70	0.91
2/20/2556	104	0.36	0.56	0.83	1.03
2/21/2556	105	0.41	-	0.77	1.04
2/22/2556	106	0.32	0.60	0.77	1.08
2/23/2556	107	0.18	0.32	0.55	0.83
2/24/2556	108	0.22	0.35	0.51	0.73
2/25/2556	109	0.18	0.35	0.51	0.73
2/26/2556	110	0.15	0.29	0.49	0.67
2/27/2556	111	0.15	0.35	0.48	0.66
3/1/2556	114	0.20	0.40	0.65	0.96
3/3/2556	116	0.16	0.40	0.61	0.84
3/4/2556	117	0.20	0.37	0.50	0.71
3/8/2556	121	0.10	0.43	0.78	0.81
3/10/2556	123	0.13	0.12	0.37	0.58
3/11/2556	124	0.30	0.65	0.60	0.68
3/15/2556	128	0.14	0.23	0.40	0.61
3/16/2556	129	0.17	0.26	0.37	0.56
3/17/2556	130	0.21	0.24	0.20	0.60
3/18/2556	131	0.18	0.20	0.33	0.54

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
8/26/2556	306	0.17	0.48	0.83	0.72
8/27/2556	307	0.11	0.11	0.23	0.25
8/28/2556	308	0.08	0.14	0.22	0.29
8/29/2556	309	0.08	0.15	0.23	0.33
8/30/2556	310	0.13	0.16	0.27	0.37
8/31/2556	311	0.22	0.22	0.29	0.38
9/1/2556	312	0.32	0.18	0.24	0.42
9/2/2556	313	0.11	0.17	0.22	0.40
9/3/2556	314	0.12	0.16	0.25	0.41
9/4/2556	315	0.15	0.23	0.31	0.47
9/5/2556	316	0.10	0.17	0.31	0.20
9/6/2556	317	0.11	0.20	0.30	0.45
9/7/2556	318	0.11	0.20	0.34	0.39
9/8/2556	319	0.12	0.15	0.30	0.35
9/9/2556	320	0.10	0.19	0.30	0.41
9/10/2556	321	0.11	0.20	0.29	0.44
9/11/2556	322	0.11	0.18	0.28	0.45
9/12/2556	323	0.08	0.15	0.26	0.41
9/13/2556	324	0.09	0.13	0.29	0.44
9/14/2556	325	0.10	0.14	0.23	0.51
9/15/2556	326	0.07	0.13	0.31	0.52
9/16/2556	327	0.07	0.19	0.30	0.52
9/17/2556	328	0.07	0.17	0.37	0.49

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
9/18/2556	329	0.06	0.20	0.31	0.50
9/19/2556	330	0.08	0.19	0.29	0.52
9/20/2556	331	0.13	0.38	0.52	0.74
9/21/2556	332	0.11	0.33	0.47	0.71
9/22/2556	333	0.19	0.37	0.51	0.74
9/23/2556	334	0.10	0.38	0.41	0.68
9/24/2556	335	0.08	0.29	0.40	0.71
9/25/2556	336	0.15	0.30	0.47	0.65
9/26/2556	337	0.15	0.34	0.44	0.58
9/27/2556	338	0.13	0.27	0.45	0.61
9/28/2556	339	0.07	0.24	0.45	0.58
9/29/2556	340	0.11	0.22	0.39	0.52
9/30/2556	341	0.11	0.33	0.37	0.55
10/1/2556	342	0.08	0.29	0.43	0.31
10/2/2556	343	0.13	0.24	0.44	0.60
10/3/2556	344	0.08	0.15	0.37	0.45
10/4/2556	345	0.05	0.06	0.35	0.34
10/5/2556	346	0.01	0.10	0.24	0.36
10/6/2556	347	0.05	0.08	0.16	0.37
10/7/2556	348	0.07	0.10	0.27	0.35
10/8/2556	349	0.07	0.09	0.20	0.31
10/10/2556	351	0.18	0.40	0.68	0.82
10/11/2556	352	0.07	0.20	0.36	0.44

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
10/12/2556	353	0.07	0.10	0.30	0.43
10/13/2556	354	0.07	0.16	0.38	0.45
10/14/2556	355	0.08	0.15	0.33	0.42
10/17/2556	358	0.06	0.30	0.59	0.75
10/18/2556	359	0.06	0.10	0.17	0.26
10/19/2556	360	0.11	0.27	0.44	0.55
10/21/2556	362	0.09	0.21	0.45	0.63
10/22/2556	363	0.11	0.21	0.28	0.46
10/23/2556	364	0.09	0.23	0.38	-
10/24/2556	365	0.12	0.18	0.33	0.43
10/26/2556	367	0.08	0.20	0.36	0.44
10/27/2556	368	0.10	0.18	0.39	0.30
10/28/2556	369	0.08	0.20	0.38	0.47
10/29/2556	370	0.13	0.23	0.40	0.52
10/30/2556	371	0.14	0.27	0.48	0.60
10/31/2556	372	0.10	0.25	0.49	0.61
11/1/2556	373	0.09	0.23	0.45	-
11/3/2556	375	0.12	0.32	0.63	-
11/4/2556	376	0.09	0.18	0.30	0.41
11/5/2556	377	0.07	0.18	0.38	0.63
11/6/2556	378	0.10	0.29	0.44	0.63

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูวางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
11/7/2556	379	0.11	0.26	0.45	0.58
11/8/2556	380	0.10	0.22	0.42	0.54
11/9/2556	381	0.10	0.25	0.43	0.56
11/10/2556	382	0.12	0.28	0.47	0.56
11/11/2556	383	0.10	0.21	0.41	0.52
11/12/2556	384	0.11	0.31	0.41	0.58
11/13/2556	385	0.09	0.27	0.43	0.59
11/14/2556	386	0.12	0.34	0.47	0.61
11/15/2556	387	0.12	0.29	0.51	0.62
11/17/2556	389	0.11	0.34	0.62	0.71
11/20/2556	392	0.08	0.30	0.62	0.72
11/21/2556	393	0.09	0.18	0.26	0.46
11/22/2556	394	0.08	0.17	0.28	0.43
11/23/2556	395	0.07	0.18	0.32	0.45
11/24/2556	396	0.09	0.18	0.29	0.44
11/25/2556	397	0.10	0.22	0.33	0.48
11/26/2556	398	0.10	0.22	0.35	0.47
11/27/2556	399	0.10	0.22	0.34	0.49
11/28/2556	400	0.10	0.17	0.30	0.48
11/29/2556	401	0.05	0.19	0.36	0.49
11/30/2556	402	0.09	0.19	0.29	0.42

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
12/2/2556	404	0.09	0.28	0.39	0.42
12/3/2556	405	0.11	0.18	0.28	0.46
12/4/2556	406	0.10	0.19	0.32	0.50
12/5/2556	407	0.10	0.19	0.31	0.50
12/6/2556	408	0.11	0.19	0.34	0.61
12/7/2556	409	0.09	0.26	0.38	0.51
12/8/2556	410	0.09	0.21	0.34	0.58
12/9/2556	411	0.13	0.24	0.45	0.62
12/10/2556	412	0.08	0.17	0.37	0.55
12/11/2556	413	0.13	0.25	0.36	0.55
12/12/2556	414	0.13	0.23	0.36	0.55
12/13/2556	415	0.13	0.23	0.40	0.57
12/14/2556	416	0.13	0.21	0.37	0.57
12/15/2556	417	0.16	0.22	0.39	0.58
12/16/2556	418	0.46	0.47	0.50	0.95
12/21/2556	423	0.12	0.12	0.33	0.19
12/22/2556	424	0.08	0.19	0.28	0.14
12/23/2556	425	0.13	0.14	0.31	0.09
12/24/2556	426	0.14	0.26	0.32	0.12
12/25/2556	427	0.24	0.20	0.27	0.17
12/27/2556	429	0.26	0.27	0.37	0.11
12/28/2556	430	0.24	0.21	0.30	0.19
12/31/2556	433	0.30	0.36	0.46	0.38

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูวางปลั๊กไบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
1/2/2557	435	0.23	0.43	0.51	0.29
1/3/2557	436	0.24	0.42	0.47	0.19
1/5/2557	438	0.20	0.14	0.33	0.36
1/6/2557	439	0.19	0.12	0.34	0.19
1/7/2557	440	0.23	0.30	0.37	0.45
1/10/2557	443	0.17	0.23	0.36	0.42
1/11/2557	444	0.17	0.31	0.41	0.41
1/12/2557	445	0.18	0.35	0.43	0.42
1/15/2557	448	0.27	0.43	0.60	0.18
1/16/2557	449	0.12	0.30	0.39	0.65
1/17/2557	450	0.16	0.32	0.40	0.51
1/18/2557	451	0.17	0.34	0.42	0.53
1/19/2557	452	0.18	0.35	0.48	0.28
1/20/2557	453	0.13	0.31	0.41	0.11
1/21/2557	454	0.14	0.33	0.44	0.14
1/22/2557	455	0.13	0.33	0.45	0.14
1/23/2557	456	0.14	0.30	0.44	0.13
1/24/2557	457	0.19	0.26	0.42	0.16
1/26/2557	459	0.19	0.28	0.41	0.17
1/27/2557	460	0.14	0.31	0.43	0.19
1/28/2557	461	0.13	0.38	0.52	0.21
1/30/2557	463	0.12	0.31	0.47	0.66

ตารางภาคผนวก จ-20 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 30 วัน (หลังฤดูยางผลัดใบ) (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
1/31/2557	464	0.15	0.31	0.42	0.64
2/1/2557	465	0.12	0.30	0.42	0.65
2/2/2557	466	0.12	0.31	0.41	0.66
2/4/2557	468	0.11	0.30	0.42	0.67
2/5/2557	469	0.11	0.30	0.48	0.68
2/7/2557	471	0.09	0.28	0.56	0.74
2/8/2557	472	0.14	0.28	0.36	0.21
2/9/2557	473	0.16	0.27	0.36	0.26
2/10/2557	474	0.17	0.28	0.41	0.19
2/11/2557	475	0.17	0.30	0.42	0.63
2/12/2557	476	0.14	0.30	0.40	0.63
2/13/2557	477	0.07	0.30	0.41	0.62
2/15/2557	479	0.14	0.30	0.45	0.70
2/17/2557	481	0.14	0.30	0.40	0.61
2/18/2557	482	0.14	0.27	0.40	0.55
2/19/2557	483	0.09	0.26	0.19	0.39
2/21/2557	485	0.07	0.24	0.21	0.51

ตารางภาคผนวก จ-21 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
19 มิย 57	489	0.233	0.776	1.305	2.080
20 มิย 57	490	0.054	0.188	0.197	-
21 มิย 57	491	0.026	0.122	0.225	-
22 มิย 57	492	0.134	0.148	0.198	-
23 มิย 57	493	0.136	0.166	0.248	0.412
24 มิย 57	494	0.128	0.192	0.278	0.496
25 มิย 57	495	0.128	0.138	0.236	0.454
26 มิย 57	496	0.128	0.140	0.246	0.450
27 มิย 57	497	0.110	0.196	0.300	0.492
28 มิย 57	498	0.046	0.162	0.361	0.571
29 มิย 57	499	0.014	0.121	0.328	0.551
1 กค 57	501	0.023	0.181	0.426	0.771
2 กค 57	502	0.018	0.144	0.295	0.474
3 กค 57	503	0.132	0.185	0.292	0.487
5 กค 57	505	0.038	0.312	0.592	0.802
6 กค 57	506	0.024	0.158	0.308	0.498
8 กค 57	508	0.016	0.144	0.274	0.446
2 กย 57	564	0.240	0.362	0.690	0.571
4 กย 57	566	0.240	0.362	0.690	0.571
8 กย 57	570	0.370	0.540	1.240	0.600
9 กย 57	571	0.400	0.410	0.410	0.600
12 กย 57	574	0.276	0.430	0.511	0.586

ตารางภาคผนวก จ-21 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
13 กย 57	575	0.147	0.307	0.387	0.460
14 กย 57	576	0.146	0.291	0.349	0.460
15 กย 57	577	0.158	0.278	0.355	0.488
16 กย 57	578	0.151	0.307	0.367	0.491
17 กย 57	579	0.168	0.288	0.380	0.540
19 กย 57	581	0.151	0.435	0.613	0.822
21 กย 57	583	0.164	0.331	0.491	0.650
22 กย 57	584	0.13	0.304	0.414	0.522
23 กย 57	585	0.22	0.341	0.435	0.528
24 กย 57	586	0.251	0.267	0.376	0.379
26 กย 57	588	0.193	0.307	0.432	0.750
27 กย 57	589	0.270	0.430	0.530	0.560
28 กย 57	590	0.099	0.305	0.462	0.529
29 กย 57	591	0.144	0.274	0.426	0.491
8 ตค 57	601	0.094	0.447	0.991	0.770
9 ตค 57	602	0.124	0.307	0.366	0.545
11 ตค 57	604	0.153	0.340	0.478	0.816
12 ตค 57	605	0.120	0.309	0.378	0.590
13 ตค 57	606	0.111	0.256	0.371	0.511
14 ตค 57	607	0.15	0.29	0.456	0.588
15 ตค 57	608	0.137	0.310	0.435	0.566
16 ตค 57	609	0.114	0.264	0.349	0.525

ตารางภาคผนวก จ-21 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ HRT 25 วัน (ต่อ)

Date	Days	Biogas Production Rate (L/d)			
		1 : WW	2 : 1%TS-PM+WW	3 : 2%TS-PM+WW	4 : 3%TS-PM+WW
18 ตค 57	610	0.126	0.330	0.390	0.621
23 ตค 57	617	0.106	0.374	0.707	0.990
25 ตค 57	618	0.079	0.177	0.287	0.401
26 ตค 57	619	0.097	0.203	0.311	0.416
28 ตค 57	621	0.107	0.249	0.369	0.583
29 ตค 57	622	0.100	0.215	0.293	0.446
30 ตค 57	623	0.135	0.227	0.295	0.472

ภาคผนวก ฉ
กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

สหกรณ์ สกย. หลายแห่งได้รับทราบข้อมูลการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียในสหกรณ์กองทุนสวนยางเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และได้ก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นผลพลอยได้นำไปใช้ประโยชน์ในการรมยางร่วมกับไม้พิน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและลดกลิ่นเหม็นรบกวนในพื้นที่บริเวณรอบๆ สหกรณ์ฯ ดังนั้น สหกรณ์ฯ จึงมีความสนใจที่จะนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปติดตั้ง ณ สหกรณ์ ของตน ปัจจุบันมีสหกรณ์ สกย. และกลุ่มเกษตรกรผลิตยางแผ่นรมควันติดต่อเพื่อนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปใช้งาน จำนวนอย่างน้อย 14 แห่ง มีรายละเอียดดังนี้

1. สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านวังพา จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 26/2 หมู่ 9 ต.ทุ่งตำเสา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ได้ติดต่อมายังนักวิจัยเพื่อขอคำปรึกษาเรื่องปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบ่อหมักร่วมไร้อากาศไปประยุกต์เนื่องจากการทำงานของระบบเดิมซึ่งเป็นระบบบ่อมีประสิทธิภาพต่ำอีกทั้งกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนใกล้เคียง ต่อมานักวิจัยได้ลงพื้นที่ในวันที่ 28 สิงหาคม 2557 ที่ผ่านมา เพื่อให้คำปรึกษาและสำรวจระบบบำบัดน้ำเสีย และสหกรณ์ฯ เตรียมการวางแผนเพื่อจะก่อสร้างและติดตั้งระบบบ่อหมักร่วมไร้อากาศไปประยุกต์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2558



การให้ปรึกษาเรื่องปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบ่อหมักร่วมไร้อากาศไปประยุกต์
ณ สหกรณ์ฯ บ้านวังพา

2. กลุ่มสัจจะพัฒนายางตำบลห้วยแร่ ตั้งอยู่เลขที่ 145 ม.9 ต.ห้วยแร่ อ.เมือง จ.ตราด ได้ติดต่อมายังนักวิจัยเพื่อขอคำปรึกษาเรื่องปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบ่อหมักรวมไร้อากาศไปประยุกต์โดยนักวิจัยได้ลงพื้นที่ไปเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2557 เพื่อให้คำปรึกษาและสำรวจระบบบำบัดน้ำเสีย และสหกรณ์ฯ เตรียมการวางแผนเพื่อจะก่อสร้างและติดตั้งระบบบ่อหมักรวมไร้อากาศไปประยุกต์ในเดือนกุมภาพันธ์ 2558



การลงพื้นที่สำรวจระบบบำบัดน้ำเสีย ณ กลุ่มสัจจะพัฒนายางตำบลห้วยแร่ จ.ตราด

3. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ มีการนำระบบบ่อหมักร่วมไร้อากาศไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ยางแผ่นรมควันไปก่อสร้างและติดตั้งแล้วเสร็จ จำนวน 12 แห่ง มีรายละเอียดดังนี้

(1) สหกรณ์กองทุนสวนยาง อุโตเจริญ 1 จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 14/1 ม.8 ต.อุโตเจริญ อ.ควนกาหลง จ.สตูล



(2) สหกรณ์กองทุนสวนยาง นิคมพัฒนา 1 จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 100 ม.7 ต. นิคมพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล



(3) สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านดอนขี้เหล็ก จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 387 ม.5 ต.พะวง อ.เมือง จ.สงขลา



(4) สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านยางงาม จำกัด ที่ตั้ง 99 ม.1 ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา



(5) สหกรณ์กองทุนสวนยาง เขาน้อย จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 351/1 ม.7 ต.ร่อนพิบูลย์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช



(6) สหกรณ์กองทุนสวนยาง หนองคล้า จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 156 ม.13 ต.เขาวิเศษ อ.วังวิเศษ จ.ตรัง



(7) สหกรณ์กองทุนสวนยาง วังคีรี จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 179 ม.2 ต.วังคีรี อ.ห้วยยอด จ.ตรัง



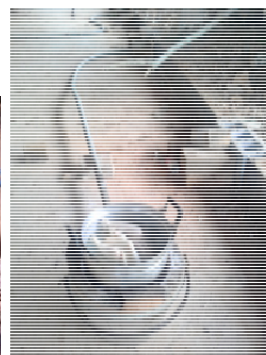
(8) สหกรณ์การเกษตร วังเจริญ จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 201 ม.7 ต.วังมะปรางเหนือ อ.วังวิเศษ จ.ตรัง



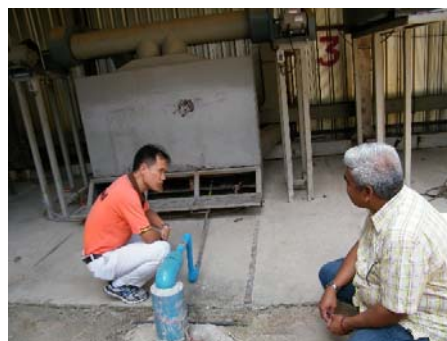
(9) สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านอ่างทอง จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 147 ม.4 ต.อ่างทอง อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง



(10) สหกรณ์กองทุนสวนยาง บ้านทอนไม้ไผ่ จำกัด ที่ตั้ง เลขที่ 127 ม.4 ต.คลองหลา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา



(11) สหกรณ์ น้ำยางไท จำกัด ที่ตั้ง เลขที่ 1/1 หมู่ที่ 6 ต. โคกม่วง อ.คลองหอยโข่ง จ. สงขลา



(12) เนินสวรรค์ยางพารา จ.จันทบุรี ตั้งอยู่เลขที่ 19 ม.2 ต.ทุ่งเบญจา อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี



ภาคผนวก ข

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้
และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์ตามข้อเสนอโครงการ	ผลการดำเนินงานตามข้อเสนอโครงการ
1. เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน	- ทราบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของสหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง - ทราบต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันจากการใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง - ทราบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้ฟืนร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง - ทราบปริมาณและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน - ทราบความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์
2. เพื่อศึกษาผลการหมักร่วมโดยการเติมมูลสัตว์เสริมในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควัน	- ทราบปริมาณและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันร่วมกับมูลสัตว์ และศักยภาพของวัสดุหมักร่วมในพื้นที่ - ทราบระยะเวลาที่น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน และการหมักร่วมของมูลสัตว์ร่วมกับน้ำเสียกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน - นำข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการมาใช้ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
3. เพื่อจัดทำ carbon footprint ของสหกรณ์ผลิตยางแผ่นรมควันเปรียบเทียบระหว่างที่มีและไม่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	- ทราบข้อมูล carbon footprint ของการผลิตยางแผ่นรมควันในกรณีที่มีและไม่มี การนำน้ำเสียไปใช้ผลิตพลังงาน แลเป็นฐานข้อมูลให้กับสหกรณ์กองทุนสวนยางอื่นๆ หรือโรงงานอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันที่ต้องการขอฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์

ตารางเปรียบเทียบผลการดำเนินกิจกรรมตลอดโครงการ

กิจกรรม	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์												
2. ทดลองการหมักร่วมในห้องปฏิบัติการด้วย HRT ที่ต่ำลง												
3. ประเมิน carbon footprint												
4. ตรวจวัดปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง												
5. ทดลองเติมมูลสัตว์ในระบบจริง ณ สหกรณ์ฯ บ้านเก่าร้าง												
6. เก็บข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพกรณีเติมมูลสัตว์												
7. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบที่การออกแบบแต่ละ HRT												
8. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์												

หมายเหตุ : แถบสีเทา หมายถึง แผนการดำเนินโครงการตามข้อเสนอโครงการ

↔ หมายถึง ผลการดำเนินงานของโครงการ