

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
บ้านเก๋าร้าง 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 สหกรณ์บ้านเก๋าร้าง และ
(4) ประเมิน carbon footprint ของยางแผ่นรมควันของสหกรณ์ฯ ที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีระบบผลิต
ก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับสหกรณ์ที่ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบปกติที่เป็นบ่อฝัง

ผลการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย สหกรณ์ฯ บ้านเก๋าร้าง 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

พืชร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณการใช้ไม้พืชน้อยกว่าการใช้ไม้พืชนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 0.14 kg ไม้พืชน/kg ยางแผ่นรมควัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควันที่ประหยัดได้เฉลี่ย 0.14 บาท/kg ยางแผ่นรมควัน สำหรับผลการทดสอบคุณภาพยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พืชร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า ยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พืชร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทุกพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และไม่มีแตกต่างกับยางแผ่นรมควันที่ใช้ไม้พืชนเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างมีนัยสำคัญ

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

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

การทดสอบเติมมูลสุกรร่วมกับน้ำเสียสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพ สหรณฯ 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 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในขณะที่ไม่มีการเติมมูลสุกรมาหมักร่วมกับน้ำเสีย สามารถนำน้ำทิ้งในกรณีที่มีเติมมูลสุกรมาหมักร่วมไปใช้ประโยชน์ในการให้น้ำพืชได้เช่นเดียวกัน แม้ผลการทดสอบจะบ่งชี้ว่าระบบรองรับภาระบรรทุกอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นมาได้จากการเติมมูลสัตว์ แต่การหามูลสัตว์มา

เดิมอย่างสม่ำเสมอ นั้นอาจกระทำได้ยาก และไม่ควรเติมในช่วงที่มีกำลังการผลิตสูงเพราะอาจเกิดภาวะ 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%.