บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ตอนที่ 1 สรุปผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมในการผลิตแก๊สชีวภาพ รวมทั้งศึกษาอัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพจากวัตถุดิบดังกล่าว พบซีรัมน้ำยางสกิมสามารถพัฒนาเพื่อใช้เป็นแหล่งในการผลิตพลังงานหมุนเวียน รวมทั้งมีความเป็นไปได้ในการผลิตแก๊สชีวภาพในระบบผสมรวมวัตถุดิบระหว่างสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่และซีรัมน้ำยางสกิม

5.1 ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของกากตะกอน

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของหัวเชื้อสองชนิดได้แก่ กากตะกอนจากบ่อดักยาง และมูลวัวสด ซึ่งมีสามชุดการทดลองโดยชุดการทดลองที่ 1 เติมมูลวัวสด เพียงอย่างเดียว ชุดการทดลองที่ 2 เติมมูลวัวสดผสมกับกากตะกอน ในอัตราส่วนมูลวัวสดหนึ่งส่วนต่อกากตะกอนหนึ่งส่วน โดยน้ำหนักสด และชุดการทดลองที่ 3 เติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว พบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพสะสม 67 ± 3, 65 ± 2 และ 64 ±1 L $kgVS^{-1}_{added}$ ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามสูตรการทดลองมีประสิทธิภาพผลิตแก๊สชีวภาพได้อย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) ดังนั้นการเลือกใช้กากตะกอนจากบ่อดักยางในการเป็นหัวเชื้อน่าจะมีความเหมาะสมกว่ามูลวัวสด เนื่องจากมีราคาถูกกว่า

5.2 ผลของการเติมและไม่เติมกากตะกอนต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

การศึกษานี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่เติมกากตะกอนจากบ่อดักยาง กับระบบที่เติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบ พบว่าประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของทั้งสองระบบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) โดยชุดการทดลองที่ใช้ซีรัมน้ำยางสกิมเพียงเดียวและไม่เติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 358 ± 16 L kg VS^{-1}_{added} ส่วนชุดการทดลองที่ใช้

ซีรัมน้ำยางสกิมและมีการเติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 368±14 L $kgVS^{-1}_{added}$ ดังนั้นการทดลองในขั้นต่อไปจึงเลือกไม่เติมกากตะกอนลงไปในระบบ

5.3 สามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพของสาหร่ายขนาดใหญ่และซีรัมน้ำยางสกิม

1) การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิด

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของสาหร่ายขนาดใหญ่ และซีรัมน้ำยางสกิม ซึ่งการทดลองนี้ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่สองสายพันธุ์ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* พบว่าเมื่อคำนวณการผลิตแก๊สชีวภาพในฐานของของแข็งระเหยได้ซีรัมน้ำยางสกิมสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดโดยสามารถผลิตได้ 398 ± 14 L $kgVS^{-1}_{added}$ และพบว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดมี ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้ไม่แตกต่างกัน โดย *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 307 ± 10 และ 325 ± 9 L $kgVS^{-1}_{added}$ ตามลำดับ

การผลิตแก๊สชีวภาพของซีรัมน้ำยางสกิม และสาหร่ายขนาดใหญ่สองสายพันธุ์ เมื่อคำนวณในฐานของปริมาตรแก๊สชีวภาพต่อปริมาตรของซับเสตรตที่ใช้ในการผลิต พบว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าซีรัมน้ำยางสกิมเกือบสองเท่า และพบว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ไม่แตกต่างกัน โดยสาหร่ายสองชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* และซีรัมน้ำยางสกิมสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 10.6±1.2, 10.9±0.8 และ 5.1±1.0 $L/L_{working\ volume}$ ตามลำดับ

2) การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากการผสมวัตถุดิบ

ประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวภาพเมื่อมีการผสมรวมวัตถุดิบระหว่างสาหร่ายสองชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* ร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิม โดยมีการแปรสัดส่วนระหว่างสาหร่ายกับซีรัมน้ำยางสกิมทั้งหมดหกชุดการทดลอง พบว่าการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมสามารถกระทำได้และแนวโน้มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยระบบที่ผสมซีรัมน้ำยางสกิมในสัดส่วนที่เท่ากับสาหร่ายหรือมากกว่าสองส่วน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าระบบที่เติมซีรัมน้ำยางสกิมหนึ่งส่วนประมาณ 28-38% โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ระหว่าง 299±14 ถึง 460 ± 31 L $kgVS^{-1}_{added}$

การผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิม เมื่อคำนวณในฐานของปริมาตรแก๊สชีวภาพต่อปริมาตรของซับเสตรตที่ใช้ในการผลิตพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ระหว่าง 9.7±0.5 ถึง 13.1±0.7 $L/L_{working\ volume}$

Prince of Songkla University Pattani Campus

5.4 ผลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและชีรัมน้ำยางสกิม

การศึกษาผลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยใช้เศษยางจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เพื่อปรับสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งทำการศึกษาที่ 10, 15, 20 และ 30 พบว่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งมีอัตราผลิตแก๊สชีวภาพ 217 ±19 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ส่วนชุดการทดลองอื่นที่มีการควบคุมสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10, 20 และ 30 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่ 141±6 , 135±5 และ 136±6 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ตามลำดับ

5.5 ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมด ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและชีรัมน้ำยางสกิม

การศึกษาผลของปริมาณของแข็งทั้งหมด (%Total solid content, %TSC) ต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) ที่ 5, 8, 11, 14 และ 17 % TSC พบว่าช่วงแรกในทุกชุดการทดลองสามารถผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่มีการควบคุมของแข็งทั้งหมดที่ 11 %TSC สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีที่สุด โดยจะมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ 496 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ และปริมาตรแก๊สชีวภาพสะสม 776±40 L $KgVS^{-1}_{added}$ ส่วนชุดการทดลองอื่น ๆ อัตราการผลิตแก๊สการผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง และค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 โดยชุดการทดลองที่มีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 5, 8, 14 และ 17 %TSC มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 157, 155, 281 และ 254 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ตามลำดับ และมีปริมาตรแก๊สสะสม 522±44, 325±26, 334±19 และ 254±19 L $kgVS^{-1}_{added}$ ตามลำดับ

5.6 ผลของค่าพีเอชของวัตถุดิบ ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและชีรัมน้ำยางสกิม

การศึกษาผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีการควบคุมค่าพีเอชโดยใช้ สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือ กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1M HCl) ในการปรับค่าพีเอช การทดลองนี้มีการควบคุมค่าพีเอชที่ 5, 6, 7 และ 8 พบว่าชุดการทดลองที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีที่สุด ส่วนชุดการทดลองอื่นๆ อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง และค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 แสดงว่าค่าพีเอชไม่เหมาะสม และส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งชุดการทดลองที่ควบคุมพีเอชเท่ากับ 7 สามารถผลิตปริมาตรแก๊สชีวภาพสะสม 512±33 L $kgVS^{-1}_{added}$

Prince of Songkla University Pattani Campus

5.7 ปริมาณแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำยางสกิมซีรัมร่วมกับสาหร่ายขนาดใหญ่ (*Chaetomorpha* sp.) โดยขยายขนาดความจุของถังปฏิกรณ์ประมาณ 12 เท่า จากเดิม 0.5 ลิตร ขยายเป็น 6 ลิตร ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 ในสภาวะมีโซฟิลิก อุณหภูมิระหว่างทดลองประมาณ 34±3 ^{o}C ระยะเวลาในการทดลอง 45 วัน พบว่าค่าพีเอชมีค่าคงที่ประมาณ 7.6 ±0.3 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้ออกซิเจน มีปริมาณกรดไขมันระเหยได้หลังการหมักมีค่าเท่ากับ 436.±71 mg L^{-1} ถือมีความเข้มข้นในระดับที่ต่ำ และเหมาะสมต่อระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งการศึกษานี้มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของการทดลองที่มีการขยายขนาดถังปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 5±1 L $day^{-1}_{working\ volume}$ มีแก๊สมีเทนที่เป็นองค์ประกอบในแก๊สชีวภาพอยู่ในช่วง 40-55% และมีปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 65.96% รวมทั้งสามารถผลิตแก๊สมีเทนได้ 296±13 L CH_4 $kgVS^{-1}_{added}$

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

1) ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพที่ยังไม่ได้ถูกศึกษาแต่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ เช่น ความเข้มข้นของไอออนบางชนิดเช่น ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) วิธีการปรับสภาพสาหร่ายก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ เป็นต้น ดังนั้นถ้ามีการศึกษาเพิ่มเติมจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมเพิ่มมากขึ้น

2) เพื่อคุณภาพของแก๊สชีวภาพที่มากขึ้นน่าจะการพัฒนาระบบที่มีการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำออกจากแก๊สชีวภาพ

3) ระบบการผลิตแก๊สแบบต่อเนื่องควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากระบบการผลิตแบบต่อเนื่องมีการหมุนเวียนซับสเตรตภายในระบบทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดี ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีกว่าระบบการผลิตแบบกะ ทั้งนี้เพื่อประเมินประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายขนาดใหญ่ร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิม ในระดับการใช้งานจริงภายในโรงงาน

4) ผู้ประกอบการสามารถนำแนวทางการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมมาประยุกต์ใช้กับระบบน้ำเสียแบบเดิม

Prince of Songkla University Pattani Campus