

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลของสารอาหารเสริมและโคโคซานที่มีผลต่อระบบถังปฏิกรณ์ UASB

การทดสอบผลของสารอาหารเสริมและโคโคซานทำการทดสอบแล้วเปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ UASB ที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริม การทดสอบใช้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยมีค่าซีโอดีอยู่ที่ $42,777 \pm 2,525$ มิลลิกรัมต่อลิตร และมีสัดส่วน BOD/COD อยู่ที่ 0.53 มีสัดส่วน COD:N:P อยู่ที่ 100:1.69:0.004 ซึ่งน้ำทิ้งมีฟอสฟอรัสค่อนข้างน้อย เชื้อที่ใช้ทดสอบมีค่า SMA อยู่ที่ 0.28 gCOD/gVSS.day ในการเปรียบเทียบผลของการเติมสารอาหารในน้ำทิ้งและเชื้อดังกล่าวพบว่าสถานะแวดล้อมของถังทดสอบมีสถานะใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.27-0.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์ทั้งสามถังมีสถานะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบโดยเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดให้ $TVA/Alk < 0.4$ ค่าดังกล่าวแสดงว่าระบบมีความสามารถเป็นบัพเฟอร์สูง

การกำจัดสารอินทรีย์ในถังที่มีการเติมอาหารเสริมและโคโคซานพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งดีกว่าถังที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมและโคโคซาน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมสารอาหารเสริมนั้นมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบทำให้ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของการเกิดก๊าซชีวภาพในระบบ UASB ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ขณะที่โคโคซานนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเนื่องมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนที่มากขึ้นและส่งผลให้การกำจัดสารอินทรีย์ลดลงด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลของสารแขวนลอยที่ออกจากระบบ นอกจากนี้โคโคซานอาจมีส่วนช่วยในการดึงเชื้อในระบบไม่ให้หลุดออกไปกับน้ำทิ้งด้วยซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเพิ่มสูงขึ้นรวมทั้งประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าถังปฏิกรณ์ UASB ที่มีการเติมสารอาหารเสริมและโคโคซานนั้นมีผลผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารอาหารเสริมที่เติมลงไปส่งเสริม

การทำงานของแบคทีเรียในระบบของถัง UASB นอกจากนั้นการเติมสารอาหารเสริมทำให้แน่ใจว่าสัดส่วนสารอาหารต่อเชื้อ COD:N:P มีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อในระบบ ส่วนโคโคซาน คาดว่าการเติมโคโคซานเป็นสารช่วยรวมตะกอนทำให้สามารถลดการหลุดของตะกอนเชื้อออกจากระบบ UASB ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีปริมาณเชื้อเพิ่มมากขึ้นในระบบได้หรือลดปริมาณ SS หลุดออกจากระบบน้อยลงซึ่งมีความสอดคล้องกับการกำจัดสารแขวนลอยส่งผลให้การบำบัดสารอินทรีย์ที่สูงขึ้นและส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นมากกว่าถังที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริมหรือโคโคซาน สอดคล้องกับงานวิจัยของมนวดี ถกธวัช (2549) ผลของก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน พบว่า สารอาหารเสริมมีผลต่อการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนภายในระบบ เนื่องจากสารอาหารเสริมที่เติมลงไปช่วยกระตุ้นการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน ซึ่งส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทน มากกว่านั้นยังมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของสิทธิพงษ์ เลิศสิทธิชัย (2549) พบว่า สารอาหารเสริมมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนมากกว่าชุดที่ไม่มีการเติมสารอาหารเสริม ส่วนผลสภาวะแวดล้อมของถังปฏิกรณ์ UASB ในด้านต่าง ๆ พบว่า สารอาหารเสริมช่วยให้ระบบมีความสมดุล และเสถียรมากขึ้น ทั้งด้านความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นต่าง และความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ส่วนในด้านการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี และของแข็งแขวนลอย พบว่า สารอาหารเสริมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีได้ดีกว่าถังปฏิกรณ์ที่ไม่เติมสารอาหารเสริม และช่วยลดการสูญเสียตะกอนที่จะออกจากระบบได้

5.2 ความหลากหลายของจุลินทรีย์ในถังหมัก UASB

จากการเปรียบเทียบประชากรจุลินทรีย์จากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลมันส์น ก่อนการบำบัดและหลังการบำบัด UASB 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ ในชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอาหาร ชุดที่เติมโคโคซาน และชุดที่เติมอาหารเสริมสูตรของ Speece พบกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้แก่ จีโนส *Methanobacterium* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มมากที่สุดถังบำบัด UASB ที่เติมโคโคซาน (9.07%) แต่ในถังบำบัดเติมอาหารเสริมสูตรของ Speece และไม่เติมสารอาหาร จะมีปริมาณใกล้เคียงกับในตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลมันส์นก่อนการบำบัด เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการผลิตมีเทนในปริมาณมาก ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่สร้างมีเทน สอดคล้องกับ

รายงานของ Mayer et al. (2019) ที่รายงานว่า *Methanobacterium congolense* เป็นกลุ่มที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ยังพบในแบคทีเรีย *Methanococcus vannielii* *Methanococcus maripaludis* *Methanolacinia petrolearia* *Methanobacterium congolense* และ *Methanoculleus submarinus* โดยเฉพาะ *Methanococcus maripaludis* จะผลิตก๊าซมีเทนได้มาก

จีโนส *Anaerolinea* จะเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 ชุดการทดลอง เนื่องจากเป็นกลุ่มที่สามารถสร้างกรดได้ ได้แก่ *Spirochaetes Anaerolineae Mollicutes Acidimicrobiia* และ *Sphingobacteriia* และแบคทีเรียบางชนิดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรดแอซิดิก ในระยะท้ายของการย่อยสลายเศษอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น *Ruminococceae Proteiniphillum Syntrophomonas Anaerolinea* และ *Coprothermobacter* ซึ่งจะไปเป็นสารอาหารของกลุ่มที่สร้างมีเทนต่อไป (Wu et al., 2016)

ไฟลัม Veillonellaceae เพิ่มขึ้นเฉพาะในชุดถึงบำบัดที่เติมโคโคซาน ทั้งนี้เนื่องจากโคโคซานเป็น polysaccharide ที่ ไฟลัม Veillonellaceae สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งนอกจากนี้ยังมี *Prevotella* และ *Lactobacillus* ที่สามารถย่อยสลาย polysaccharide ได้เช่นกัน (Pyzik et al., 2018)

คลาส Clostridia พบเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยเฉพาะถึงบำบัดที่เติมโคโคซานจะเพิ่มขึ้นสูงมาก เนื่องจากกลุ่ม *Clostridium* จะสามารถย่อย cellulose ได้เร็วในระหว่างกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงต้องมี คลาส Clostridia เพื่อช่วยในการย่อยสลายโคโคซาน (Li et al. 2017)

จีโนส *Sulfuricurvum* เพิ่มขึ้นเฉพาะในชุดที่เติมสารอาหารสูตร Speece เนื่องจากเป็นกลุ่มที่สามารถ reduce สารซัลเฟตที่เติมในถังหมักได้ ซึ่งยังมีกลุ่มอื่น ๆ อีก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chaiprasert et al. (2017) ซึ่งพบ *Sulfuricurvum kujiense* strain DSM 16994, *Syntrophus gentianae* strain HQgoel, *Desulfococcus biacutus* และ *Shewanella amazonensis*,

แฟมิลี Porphyromonadaceae จะค่อนข้างคงที่ในชุดที่เติมโคโคซาน และชุดที่เติมอาหารเสริมสูตรของ Speece แต่จะลดลงจากก่อนการบำบัดในชุดควบคุมที่ไม่เติมสารอาหาร ทั้งนี้จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะเป็กลุ่มช่วยสร้างก๊าซชีวภาพและมีเทน ซึ่งสอดคล้องกับรายงาน

ของ Granada et al. (2017) ที่พบว่า ถ้าระบบบำบัดมีปริมาณสูงการสร้างก๊าซชีวภาพและมีเทน จะพบจุลินทรีย์ในแฟมิลี Porphyromonadaceae Tissierellaceae และ Methanobacteriaceae นอกจากนี้ประชากรจุลินทรีย์ที่ไม่พบหรือพบปริมาณน้อยในถังบำบัด UASB ก่อนการบำบัด แต่จะพบเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการบำบัดในถัง UASB ได้แก่ ไฟลัม Armatimonadetes ซึ่งจะพบในชุดถังบำบัดที่เติมโคโคซาน (4.12%) และไม่เติมสารอาหาร (2.18%) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Doloman et al. (2017) รายงานว่า พบกลุ่มประชากรจุลินทรีย์ที่พบในถัง UASB ในระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งจากบ้านเรือน จะพบทั้งหมด 11 ไฟลัม ได้แก่ Firmicutes Bacteroidetes Proteobacteria Spirochaetes Synergistetes Armatimonadetes Tenericutes Actinobacteria OD1 Verrucomicrobia และ Thermotogae ในขณะที่ ชุดถังบำบัดที่เติมสารอาหารสูตร Speece พบจำนวนน้อยเท่ากับตะกอนก่อนการบำบัด สอดคล้องกับ Pampillón-onzález et al. (2017) ที่พบ ไฟลัม Armatimonadetes Chloroflexi และ Synergistetes แม้จะพบในปริมาณน้อยเช่นกัน ซึ่งไฟลัม Armatimonadetes จะมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของชีวมวลที่ได้จากพืชที่สร้างอาหารโดยการสังเคราะห์แสง และชอบอุณหภูมิปานกลาง จึงสามารถย่อยสลายชีวมวลในถังที่เติมโคโคซานได้ ในขณะที่ สารอาหารสูตร Speece มีการเติมสารอาหารสังเคราะห์ลงไปจึงทำให้พบจุลินทรีย์กลุ่มนี้น้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษากลไกของสารอาหารเสริมแต่ละแบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อประสิทธิภาพของระบบ UASB
- 2) ควรทดสอบสารอาหารเสริมแบบแปรผันสัดส่วนที่เหมาะสม
- 3) ควรศึกษากลไกการเจริญเติบโตของเม็ดตะกอน

