

บทที่ 5

ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

1. ผลสรุปการดำเนินงาน

1.1 ผลการดำเนินงานส่วนการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

จากผลการทดสอบหาหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ และศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาพความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยใช้ค่าที่ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นจากโรงแป่งมันสำปะหลัง อุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ 35 °C และค่า pH เท่ากับ 8 ระยะเวลาที่ให้อัตราการเกิดก๊าซสูงสุดคือ 3- 4 วัน จากการวิเคราะห์ก๊าซมีองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากการทดลองพบว่า มีก๊าซมีเทน (CH₄) ประมาณ 54% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 24.6% และก๊าซอื่น ๆ เล็กน้อย สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไม่ได้วิเคราะห์หาปริมาณในขั้นตอนทดลองในห้องทดลอง แต่จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ในการทดลองที่ระบบจริงสภาวะที่อุณหภูมิ 35 °C และ pH = 8 จะนำค่าการทดสอบนี้ ไปใช้ในระบบถังหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน

1.2 ผลการดำเนินงานส่วนการทดลองในเครื่องต้นแบบระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ

การศึกษาค่าผลของการกวนต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ จากกากมันสำปะหลังภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยใช้ถังหมักแบบสองขั้นตอน ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic range ที่ 35 องศาเซลเซียส) และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เริ่มต้น เท่ากับ 8 โดยมีการเพิ่มความถี่ของการกวนโดยเริ่มจากไม่มีการกวนและมีการกวนด้วยความถี่วันละ 24, 8, 4, และ 2 ชั่วโมง/ครั้ง ครั้งละ 10 นาที/วัน พบว่า มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 140, 160, 190, 240, 280 ลิตร/วัน พลังงานสุทธิที่ได้รับ 48.52 W-h/day (โดยคิดที่ อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ 140 ลิตร/วัน ในกรณีที่ไม่มีการกวน) มีก๊าซมีเทน (CH₄) ประมาณ 53.8-54.3% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 24.6% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ประมาณ 148 ppm และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงถึง 98.87 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 ตารางสรุปผลการทดลอง Pilot Scale และ Lab Scale

พารามิเตอร์	Pilot Scale	lab Scale
ค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายกากมันสำปะหลัง(เปอร์เซ็นต์)	20	20
ระยะเก็บกักสารอินทรีย์: HRT(วัน)	12	7
อัตราการรับสารอินทรีย์ : OLR (กรัมCOD ต่อลิตร-วัน)	0.417	-
ซีโอดี ;COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
สารละลายกากมัน (FW)	5011	-

พารามิเตอร์(ต่อ)	Pilot Scale	lab Scale
ถังหมักก๊าซมีเทน2(MT II)	57	-
ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	98.87	-
ก๊าซชีวภาพ		
ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อวัน)	140	16
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ(ลิตรต่อลิตร-วัน)	0.31	0.22
ปริมาณก๊าซมีเทน(ลิตรต่อวัน)	55.60	-
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน(ลิตรต่อลิตร-วัน)	0.12	-
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ		
ก๊าซมีเทน(เปอร์เซ็นต์)	54	53.8
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(เปอร์เซ็นต์)	25	24.6
ก๊าซไนโตรเจน(เปอร์เซ็นต์)	18.40	-
ก๊าซไฮโดรเจน (เปอร์เซ็นต์)	2	-
ก๊าซออกซิเจน(เปอร์เซ็นต์)	0.60	-

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบความสามารถของระบบในระดับ Pilot Scale กับ Lab Scale โดยแสดงถึงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเป็น ลิตร / ลิตร / วัน (อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรSubstrateในถังหมักมีเทนต่อวัน) โดยที่ในระดับ Lab Scale มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.22 ลิตร / ลิตร / วัน แต่เมื่อนำมาขยายในระดับ Pilot Scale มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.31 ลิตร / ลิตร / วัน ซึ่งในระดับ Pilot Scale สามารถผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าในระดับ Lab Scale ถึง 29 % เนื่องจากการทดลองในระดับ Lab Scale เป็นการทดลองแบบขั้นตอนเดียวแต่ในระดับ Pilot Scale เป็นการทดลองในระบบหมักแบบสองขั้นตอน ระบบหมักแบบสองขั้นตอน (Two-Stage Process) คือการใช้ถังหมัก 2 ถังต่ออนุกรมกัน โดยถังแรกเรียกว่า ถังหมักกรด ถังที่สองเรียกว่า ถังหมักมีเทน พบว่าวิธีการนี้ (Two-Stage Process) สามารถลดขนาดของถังหมักมีเทนได้ประมาณครึ่งหนึ่ง หรือสามารถรับน้ำเสียได้สูงขึ้นอีกหนึ่งเท่าตัว ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน มีความต้องการสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองในระดับ Pilot Scale จึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพต่อหน่วยได้มากกว่าการทดลองในระดับ Lab Scale

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพกับงานวิจัยอื่น

ผู้แต่ง	Biogas Production	Substrate
Han S-K, และคณะ[26]	1.83 L/L/day	food waste
Kyazze G, และคณะ[32]	1.80 L/L/day	Sucrose
Khursheed K, และคณะ[30]	0.94 L/L/day	มูลวัว
ชยันต์ กิมยงค์ [3]	0.56 L/L/day	มูลสุกร
งานวิจัยเรา	0.31 L/L/day	Cassava Waste Cake
ประมวล ทราญทอง[4]	0.30 L/L/day	น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ขนมจีน
Callaghan และคณะ [17]	0.30 L/L/day	เศษผัก,ผลไม้,มูลไก่
Gavala HN,[21]	0.16 L/L/day	Olive pulp
Michael C, และคณะ[34]	0.13 L/L/day	glucose

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยใช้ Cassava Waste Cake เป็น Substrate ซึ่งเป็นงานวิจัยเรามีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 0.30 L/L/day (คือปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 140 ลิตรต่อปริมาตร Substrate 450 ลิตร ต่อวัน) และมีงานวิจัยอื่นที่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่มากกว่าและน้อยกว่างานวิจัยของเรา ซึ่งผลที่ไม่เท่ากันก็อาจจะเกิดจากปัจจัยหลายอย่างเช่นสารอาหารของ Substrate อุณหภูมิ ค่า pH การผสม ระยะเวลาในการกักเก็บ เป็นต้น แต่ในกรณีนี้จะวิเคราะห์ที่ปัจจัยสารอาหารคือ สารอาหารใน Substrate เกี่ยวพันโดยตรงกับชนิดของกลุ่มแบคทีเรียในระบบ และประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สารอาหารที่ต่างชนิดมีอัตราในการย่อยที่ต่างกัน สารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต จะย่อยสลายได้เร็วกว่าโปรตีนและไขมัน ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยของ Han S-K, และคณะ[26] มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ 1.83 L/L/day เกิดก๊าซมากที่สุด โดยใช้ Food Waste เป็น Substrate ซึ่งมีสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Michael C, และคณะ[34] ซึ่งมีอัตราการเกิดก๊าซเพียงเล็กน้อยคือใช้ glucose เป็น Substrate ซึ่งมีสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันค่อนข้างน้อยจึงส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพน้อย เมื่อเทียบกับงานวิจัยของเราซึ่งมีสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันค่อนข้างน้อยเหมือนกันแต่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ L/L/day มากกว่างานวิจัยของ Michael C, และคณะ[34] เนื่องจากระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอนของงานวิจัยเรามีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีมีค่าสูงถึง 98.87 เปอร์เซ็นต์(COD คือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการ ออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และในระบบไม่ใช้อากาศ ก็จะกลายเป็น ก๊าซชีวภาพ ซึ่งถ้าค่า COD สูง แสดงว่าน้ำเสียมีความสกปรกมาก ในการออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ ค่า COD จะบ่งบอกถึงปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยค่า COD 1 kg จะให้ก๊าซมีเทน = 0.3 ลบ.ม โดยประมาณ)

1.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้น จะคิดจากการลงทุน และผลตอบแทน (ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้) การทดลองนี้ ต้นทุนในการสร้างเครื่อง 40,000 บาท ค่าบำรุงรักษาปีละประมาณ 300 บาท คิดอายุการใช้งาน 20 ปี การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ในโครงการนี้มีเงื่อนไขว่า จะวิเคราะห์เชิงการนำเอาก๊าซชีวภาพมาใช้แทนพลังงานอื่น ๆ เพียงอย่างเดียว โดยตั้งสมมุติฐานว่าสามารถขายก๊าซได้ทั้งหมดในราคาที่ยกเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล ผลผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบหมักแบบสองขั้นตอน ผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดโดยเฉลี่ย 280 ลิตร/วัน โดยเมื่อนำเอาก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้แทนน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหรือการเกษตร เช่น เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำใน

โรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง และใช้กับเครื่องกลูกสุกรเป็นต้น โดยที่ก๊าซชีวภาพ 1 m^3 เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.6 ลิตร ระบบผลิตได้ $0.28 \text{ m}^3/\text{day}$ คิดเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.17 ลิตร หรือสามารถประหยัดน้ำมันดีเซลได้ถึง 62 ลิตร/ปี เมื่อคิดเป็นมูลค่าราคาน้ำมันดีเซล ซึ่งปัจจุบันน้ำมันดีเซลมีราคาลิตรละ 32 บาท ซึ่งจะทำให้กลุ่มอุตสาหกรรมหรือการเกษตรประหยัดค่าน้ำมันดีเซลได้ถึง 1,876 บาท/ปี

เมื่อคิดในกรณีที่นำเอาก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าใช้ในฟาร์มหรือระบบแสงสว่างต่าง ๆ โดยตั้งสมมุติฐานว่าสามารถขายก๊าซได้ทั้งหมดในราคาที่ตั้งเทียบเท่ากับไฟฟ้าต่อหน่วย ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดโดยเฉลี่ย 280 ลิตร/วัน หรือ 2.240 m^3 ต่อการทดลอง โดยเมื่อนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า ได้แก่ ใช้กับชุดเครื่องยนต์สันดาปภายใน ต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หรือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) โดยผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับกิจกรรมการเลี้ยงสัตว์ภายในฟาร์ม หรือสามารถนำไปขับเครื่องสูบน้ำโดยตรง หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ต้องการต้นกำลัง การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในเครื่องยนต์นั้นผลิตก๊าซชีวภาพโดย เฉลี่ย 280 ลิตร/วัน คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าได้ $1,797 \text{ W-h/day}$ หรือคิดเป็นมูลค่าการผลิตไฟฟ้าจะ ได้ 656 kWh/ปี เมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้คิดเป็นเงินซึ่งคิดเป็นราคาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท ซึ่งจะทำให้ฟาร์มสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 1,968 บาท/ปี

เมื่อคิดในกรณีที่นำเอาก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้แทนก๊าซหุงต้มที่ใช้ตามครัวเรือนซึ่งก๊าซ LPG 1 ถังขนาด 15 kg ราคา 300 บาท ใช้ในครัวเรือนที่มีครอบครัวขนาดกลางมีสมาชิก 3-4 คน โดยเฉลี่ยจะใช้ก๊าซ LPG ประมาณ 1 ถัง/เดือน ซึ่งเมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้แทนก๊าซ LPG ในการหุงต้ม โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ เฉลี่ย 280 ลิตร/วัน เมื่อใช้ต่อเนื่องจะสามารถใช้ได้ประมาณ 50-60 นาที ซึ่งในการหุงต้มทำอาหารสำหรับครอบครัวขนาดกลางโดยเฉลี่ยในแต่ละวันจะใช้เวลาในการทำอาหารประมาณวันละประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้แทนก๊าซ LPG จะสามารถประหยัดได้ปีละประมาณ 3,600 บาท

จากการที่นำเอาก๊าซชีวภาพมาใช้แทนน้ำมันดีเซลใช้แทนไฟฟ้าและก๊าซหุงต้ม เมื่อนำจำนวนเงินที่ประหยัดได้ของแต่ละกรณีมาเฉลี่ยเพื่อนำมาเป็นค่ากระแสเงินสดเข้าสุทธิ (Net Cash Inflow) ต่อปี เมื่อนำมาหา มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) โดย เงินลงทุนเริ่มแรก (Initial Investment) = 40,000 บาท อายุโครงการ 20 ปี Net Cash Inflow ต่อปี = 2,481 บาท โดยคิดอัตราดอกเบี้ย ยอดเงินสดเข้าเท่ากันทุกปี คิดค่า $i=7\%$, $t=20$ จะได้ $\text{NPV} = -12,677$ บาท โดยคิดที่มูลค่าปัจจุบัน และ อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) = 2.8 % ซึ่งหมายความว่า $\text{IRR} < \text{MARR}$ ซึ่งน้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยแสดงว่าโครงการนี้ไม่น่านำไปดำเนินการ

อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์โครงการนี้เป็นเพียงการวิเคราะห์ในระดับ Pilot Scale จึงได้ค่า NPV และ IRR น้อยและไม่เหมาะกับการลงทุนแต่ถ้าขยาย Scale ของระบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งการลงทุนก็เพิ่มขึ้นไม่มาก ก็จะทำให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นและมูลค่าของก๊าซเมื่อนำมาแทนพลังงานอื่น ๆ ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน และจะทำให้โครงการนี้มีความเป็นไปได้ในการลงทุน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงการนี้ได้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพียงอย่างเดียว อาจจะไม่สามารถใช้ในการตัดสินใจได้ดีพอ เนื่องจากมิใช่การลงทุนเพื่อหากำไร ควรจะต้องคำนึงถึงนโยบายและความจำเป็นในด้านอื่นประกอบด้วย เช่น การแก้ไขด้านสิ่งแวดล้อม และการนำกากของเสียมาทำเป็นปุ๋ยชีวภาพ เมื่อดูจากสถานการณ์พลังงานทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อยๆ สำหรับการนำไปใช้ในฟาร์มจริงระบบบ่อบำบัดจำเป็นต้องรับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ให้ได้ในปริมาณมากถึงจะทำให้มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ และเพื่อเป็นการลดมลพิษต่อชุมชนในระยะเวลาที่รวดเร็ว ระบบหมักแบบสองขั้นตอน สามารถรับอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ได้ 58.38 กรัมสารอินทรีย์/วัน และประสิทธิภาพในการกำจัด COD สูงถึง 98.87%

2. ปัญหา และข้อเสนอแนะ

โครงการนี้เป็นการทำงานที่ต้องมีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ของระบบ ดังนั้นการทำงานจึงเกิดปัญหาและอุปสรรค ดังนี้

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เนื่องจากงานวิจัยนี้เกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเวลาที่วิเคราะห์ค่าต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองก็จะเกี่ยวข้องกับทางภาควิชาจุลชีววิทยา ซึ่งก็ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาจุลชีววิทยาในการใช้ห้องปฏิบัติการในการทดลอง ในส่วนของการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ จึงต้องมีการวางแผนและจัดเวลาให้ตรงกับเวลาที่ผู้ดูแลห้องเพราะการใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการต้องใช้ความชำนาญสำหรับผู้สนใจศึกษาต่อควรมีทักษะและพื้นฐานการใช้เครื่องมือ

2.2 ระยะเวลาในการทดลอง

เนื่องจากโครงการนี้เป็นการทำงานเกี่ยวกับการหมักกากมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ ซึ่งการหมักในระบบใหญ่นั้นต้องใช้เวลาาน และสิ่งมีชีวิตจำพวกนี้ต้องดูแลและสังเกตอย่างใกล้ชิดสำหรับผู้สนใจศึกษาต่อควรมีการวางแผนที่ดีและควรศึกษาพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตจำพวกแบคทีเรีย

2.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากมันสำปะหลังหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมันโดยใช้กากมันสำปะหลัง ผลที่ได้ การเกิดก๊าซชีวภาพค่อนข้างน้อย แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ค่อนข้างสูง เนื่องจาก Substrate (กากมันสำปะหลังผสมน้ำ) มีโปรตีนน้อย และมีค่า COD ขาเข้าเพียง 5011 มก. /ล.(COD คือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการ ออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และในระบบไม่ใช้อากาศ ก็จะกลายเป็น ก๊าซชีวภาพ ซึ่ง ถ้าค่า COD สูง แสดงว่าน้ำเสียมีความสกปรกมาก ในการออกแบบระบบ ก๊าซชีวภาพ ค่า COD จะบ่งบอกถึงปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยค่า COD 1 kg จะให้ก๊าซมีเทน = 0.3 ลบ.ม (โดยประมาณ) ซึ่งถือว่ามียาค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับผู้สนใจถ้ามีการนำวัตถุดิบที่มีสารอาหารสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมและนำมาทดลองในระบบนี้ก็อาจจะเกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณที่มากกว่านี้