



การหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากแป้งมันสำปะหลัง OPTIMIZATION OF CASSAVA DECANter CAKE BIOGAS PRODUCTION

อุษา ยิงชล¹ นิตยา บุญเทียน² ฉัตรลดา เพียชัย³ และ Htay Aung Pyae⁴

^{1,3,4}นักศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี/สำนักวิศวกรรมศาสตร์

²อาจารย์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี/สำนักวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

การหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยสารกรดและด่าง เพื่อสลายพันธะและสลายโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ในรูปของน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย ที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS และ 5%TS ผลการศึกษาพบว่าสถานะการไฮโดรไลซิสที่ pH 2, อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที ก่อนการหมัก ที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 5%TS ให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 0.1757 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากแห้งระเหย เมื่อเทียบกับสถานะที่ทำให้การเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS ที่ให้การผลิตก๊าซชีวภาพ 0.0027 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากแห้งระเหย จะพบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 5%TS สามารถทดแทนค่าใช้จ่ายในรูปของก๊าซหุงต้มและพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าที่ความเข้มข้น 1.67%TS ถึง 65 เท่า

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ; กากมันสำปะหลัง; ไฮโดรไลซิส; ก๊าซมีเทน; น้ำตาลรีดิวซ์

ABSTRACT

The optimization of biogas production from cassava pulp through hydrolysis with acid and base to breakdown the bond cellulose, hemicellulose and lignin in the form of volatile fatty acids and reducing sugars. The maximum rate of biogas yield was found at the cassava pulp concentration of 1.67%TS and 5%TS. In the study, conditions of hydrolysis were at pH 2, Temp 100 °C, and 30 mints reaction time before fermentation. Cassava pulp of 5%TS produced biogas yield as high as 0.1757 m³/kg TVS. The conditions for the biogas digesters with 1.67%TS produced biogas yield as 0.0027 m³/kg TVS. It was found that biogas production rate of cassava pulp the concentration of 5%TS, can be alternative for decrease cost of LPG and electric energy more than the concentration of 1.67%TS by 65 times.

KEYWORDS: Biogas; Cassava decanter cake; Hydrolysis; Methanogens; Reducing sugar

Usa Yingchon¹ Nittaya Boontian² Chatlada Piasai³ and Htay Aung Pyae⁴

^{1,2,3,4} School of Environmental Engineering, Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

1. บทนำ

กากมันสำปะหลังเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมัน เนื่องจากกากมันสำปะหลังมีปริมาณแป้งสูง [1] คาดว่ากากมันสำปะหลังน่าจะมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี เพื่อให้การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพสูงที่สุด Kaparaju et al. [2] จึงมีการหาสภาวะที่เหมาะสม จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากแป้งสาลี โดยใช้ถังหมักแบบ Upflow anaerobic sludge blanket, UASB ทำการลองในช่วง Thermophilic โดยทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลาในการกักเก็บ 2 วัน มีค่า volatile solids, VS 324 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแปรผันความเข้มข้นของกากแป้งสาลีที่ 12.8 - 25.6 กรัมของแข็งระเหยต่อลิตร ผลที่เหมาะสมที่สุดมีค่า Organic loading rate, OLR 17.1 กรัมชีโอดีต่อลิตร-วัน ที่ความเข้มข้นของ Substrate 25% เมื่อลองเพิ่ม OLR เป็น 41.2 กรัมชีโอดีต่อลิตร-วัน ความเข้มข้นของ Substrate 23 - 50% พบว่าการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลงแสดงว่าการที่เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนได้รับสารอาหารที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้ระบบผลิตก๊าซมีเทนไม่ดี ในเวลาต่อมา พิชยา สวสุขสม [3] ทำการศึกษาหาร้อยละของกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบโดยทำการแปรผันร้อยละของกากมัน คือ 2,3,5 และ 10% น้ำหนักค่อน้ำหนัก นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการให้ความร้อนกับกากมันหรือการใช้เอนไซม์เซลลูเลสและเอนไซม์เพคตินสก่อนการหมักด้วย ผลการศึกษาพบว่าร้อยละของกากมันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับการเดินระบบ คือ 2 - 3% ซึ่งให้อัตราการผลิตก๊าซคือ 0.034 - 0.047 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากเปียก การให้ความร้อนกับส่วนผสมกากมันสำปะหลัง 2% ที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 120 °C นาน 30 นาที ผลการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลทำให้เกิดก๊าซชีวภาพน้อย เนื่องจากโครงสร้างที่จำกัดของกากมันสำปะหลัง

เนื่องจากโครงสร้างหลักของกากมันสำปะหลังประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส และขาคาตาอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดได้ไม่สมบูรณ์ในเวลาจำกัด อัตราการสร้างก๊าซจึงต่ำ [3] ในงานวิจัยของ Antonopoulou et al. [4] ได้ศึกษาการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายให้สั้นลง โดยใช้หัวมันฝรั่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น ใช้อุณหภูมิ 120 °C อัตราส่วน 5% น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นเมื่อใช้กรดความเข้มข้นสูง โดยให้ค่าสูงสุด 175 กรัมต่อกิโลกรัมหัวมันฝรั่ง แต่เมื่อเข้าสู่ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่อุณหภูมิสูงทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพลดลง เนื่องจากมีส่วนของ เพอร์ฟิวรัล และไฮดรอกซีเมทิลเพอร์ฟิวรัลเกิดขึ้น ซึ่งยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพ [4] ต่อมา กิตติกันท์ สุขวณิชช์ [5] ได้ทำการการเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังระหว่างกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดและด่าง ใช้อัตราส่วนสารละลายกรดหรือด่างต่อกากมันสำปะหลัง เท่ากับ 8:1 หรือสารละลายกรด ด่าง 350 มิลลิลิตร ต่อกากมันสำปะหลัง 43.75 กรัม โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากถัง UASB ของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศของฟาร์มสุกร ผลจากการศึกษาพบว่า pH ของสารละลายเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมรรถนะการไฮโดรไลซิสกากมันด้วยสารกรดและสารด่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย คือ การไฮโดรไลซิสด้วยกรดที่ค่า pH 0.38 อุณหภูมิ 100 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที ซึ่งให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยเท่ากับ 855.00 และ 60.30 มิลลิกรัมต่อกรัมกากแห้ง ตามลำดับ โดยสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยถึง 214 และ 20 เท่า จากระดับเริ่มต้น ในส่วนของการไฮโดรไลซิสด้วยด่างพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดมีค่าต่ำกว่าของการไฮโดรไลซิสด้วยกรดอย่างมาก สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าที่ pH 13 อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 90 นาที ก่อนนำไปหมักก๊าซ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเด่นชัด โดยปริมาณก๊าซสะสมภายหลังการหมัก 30 วัน มีค่าเท่ากับ 1.20 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากแห้ง หรือ 0.19 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากเปียก ซึ่งมากกว่ากรณีการใช้กากที่ไม่ผ่านการไฮโดรไลซิสถึง 3 เท่า ซึ่งในส่วนของการไฮโดรไลซิสกากมันด้วยกรดที่ให้ปริมาณ

น้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยสูงที่สุดนั้น กลับให้ก๊าซในปริมาณต่ำโดยมีค่าต่ำกว่าของกรณีการใช้กากมันที่ไม่ผ่านการไฮโดรไลซิส

นอกจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว การเลือกใช้จุลินทรีย์ในการหมักก็มีความสำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพเช่นเดียวกัน [6] จากงานวิจัยของ พงษ์พันธุ์ พรหมพิพัทธ์ และ ธนากร วงวัฒนาเสถียร [7] ได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง โดยศึกษาและทดสอบหาหัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและปรับค่า pH 7 (เป็นกลาง) ที่อุณหภูมิ 35 °C และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ จากกากมันสำปะหลังหลังกระบวนการผลิตแป้งมัน และศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาพความเป็นกรด - ด่าง ที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ จากการศึกษาพบว่า การใช้กากมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ควรใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง และควบคุมอุณหภูมิที่ 35 °C ค่า pH 8 เพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังโดยศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ในการบำบัดขั้นต้นเพื่อเพิ่มน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย ที่อัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังในรูปของของแข็งทั้งหมด 1.67%TS และ 5%TS เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของกากมันสำปะหลังต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ลักษณะกากมันสำปะหลัง

ลักษณะกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของกากมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการศึกษา
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	22,000
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	35,400
กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFA)	มิลลิกรัมอะซิติกต่อลิตร	161.67
อัลคาไลน์ตี	มิลลิกรัมต่อลิตร	336.67
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)	มิลลิกรัมต่อลิตร	10.86
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)	มิลลิกรัมต่อลิตร	93.52
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)	%	84.05
ของแข็งระเหย (Total Volatile Solids, TVS)	%	82.16

*หมายเหตุทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

2.2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักย่อยกากมันสำปะหลังเตรียมโดยใช้ตะกอนจากถังหมักกรดของระบบ Covered Lagoon มีลักษณะตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการศึกษา
pH	-	4.13
ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)	มิลลิกรัมต่อลิตร	18,666
กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFA)	มิลลิกรัมอะซิติกต่อลิตร	140
อัลคาไลน์ตี (Alkalinity)	มิลลิกรัมต่อลิตร	716
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	40,465
ของแข็งระเหย (Total Volatile Solids, TVS)	มิลลิกรัมต่อลิตร	38,336

2.3 การหาปัจจัยที่มีผลต่อการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลัง

การศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อการเกิดไฮโดรไลซิส เริ่มจากหาความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือด่างตามต้องการ โดยการเติมสารละลายกรดหรือด่างที่ความเข้มข้นหนึ่งเรื่อยๆ จนได้ค่า pH ที่ต้องการ ลงในกากมันสำปะหลัง 43.75 กรัม จดปริมาตรสารละลายที่เติมจากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นที่ต้องการเพื่อให้ได้อัตราส่วนการเติมสารละลายกรดหรือด่างต่อกากมันสำปะหลังเท่ากับ 8 : 1 โดยปริมาตรสารละลายต่อน้ำหนักกากมันสำปะหลัง มีความเข้มข้นเป็น 1.67%TS และจากนั้นเริ่มการทดลองโดยใช้กากมันสำปะหลัง 100 กรัม มาผสมกับน้ำหมักกรดจากระบบ UASB 250 มิลลิตร ได้สารละลายกากมัน 500 มิลลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นเป็น 5%TS หลังจากนั้นนำสารละลายดังกล่าวให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่สนใจศึกษา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยา ปรับ pH เป็นกลางทั้งนี้ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายผสมเปลี่ยนแปลง $\pm 10\%$ และนำไปเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการแยกแหว่งตะกอนและสารละลายใสเพื่อนำไปตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีเอนเอส (Dinitrosalicylic Colorimetric Method) และกรดไขมันระเหย [8]

2.4 ศึกษาผลของการเกิดก๊าซชีวภาพเนื่องจากไนโตรเจนและกรดไขมันระเหย

เริ่มจากการนำสารละลายกากมันที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยช่วง pH ที่กำหนด ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเลือกสภาวะหลังจากทำขั้นตอนการหาปัจจัยที่มีผลต่อการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังเสร็จสิ้น เตรียมสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 แล้วปรับ pH ให้เป็นกลาง ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ในอัตราส่วนของแข็งระเหย 0.5 : 1 ทำการบรรจุสารละลายในขวดหมักให้อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจนนาน 3 นาทีก่อนปิดขวดให้สนิททำการหมักเป็นเวลา 30 วัน เมื่อทำการหมักครบตามเวลาที่กำหนดให้ทำการเก็บตัวอย่างสารละลาย และนำไปตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการทดลองดำเนินการในอาคารศูนย์เครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

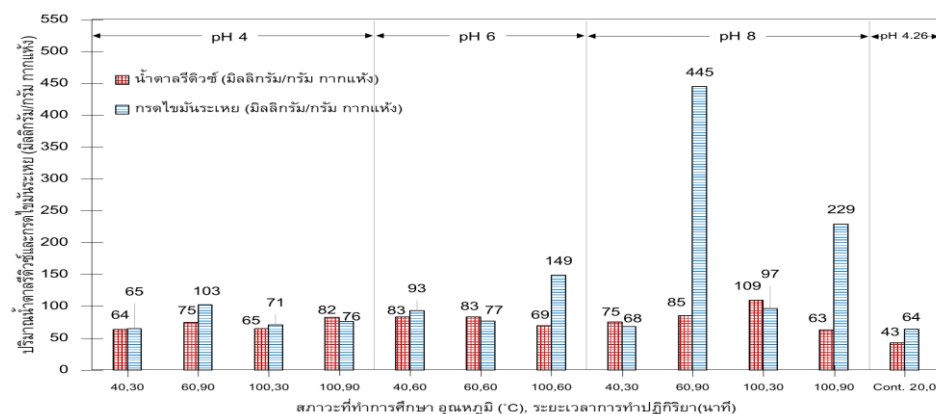
3. การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

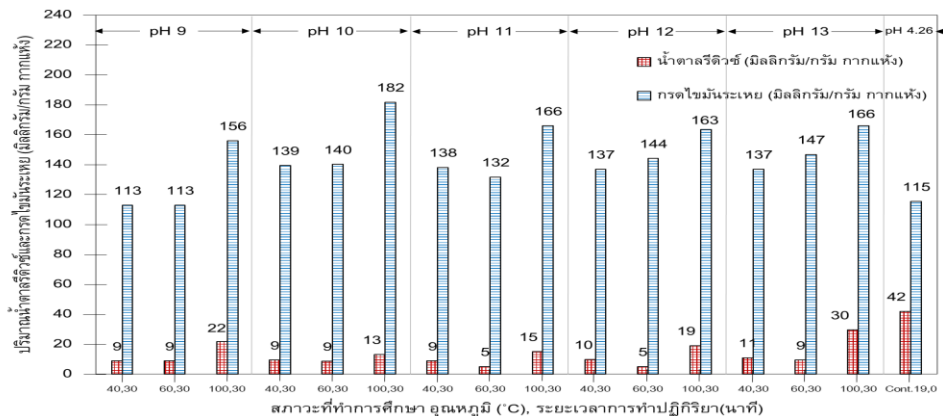
ศึกษาผลของ pH, อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ในการบำบัดขั้นต้นเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย

3.1.1 สภาวะที่เป็นต่าง

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่ได้จากการศึกษา pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ในช่วง pH 8 – pH 13 แสดงได้ดังรูปที่ 1 - 2 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นภายหลังกระบวนการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังด้วยสารต่างที่สภาวะต่างๆ อยู่ในช่วง 5.10 – 109.25 มิลลิกรัมต่อกรัมกากแห้ง ซึ่งสภาวะต่างที่ให้ค่าน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ pH 8, อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที มีค่าสูงที่สุด 109.25 มิลลิกรัมต่อกรัมกากแห้ง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม สภาวะดังกล่าวให้น้ำตาลรีดิวซ์ได้มากกว่าถึง 2.5 เท่า สำหรับกรดไขมันระเหยพบว่าปริมาณกรดไขมันระเหยที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 68.17 – 444.67 มิลลิกรัมอะซิติกต่อกรัมกากแห้ง ซึ่งช่วงที่ให้ปริมาณกรดไขมันระเหยสูงสุดคือ pH 8, อุณหภูมิ 60 °C, และทำปฏิกิริยา 90 นาที มีค่าสูงที่สุดจากระดับเริ่มต้นประมาณ 5 เท่า เมื่อทำการวิเคราะห์หาผลของปัจจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) ค่า pH และอุณหภูมิของสารละลายเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการย่อยสลายกากมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุด ส่วนปัจจัยที่มีผลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญของการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันระเหยคือ pH กับอุณหภูมิ, อุณหภูมิกับเวลา และปัจจัยทั้งสามยังมีผลร่วมกันอีกด้วย



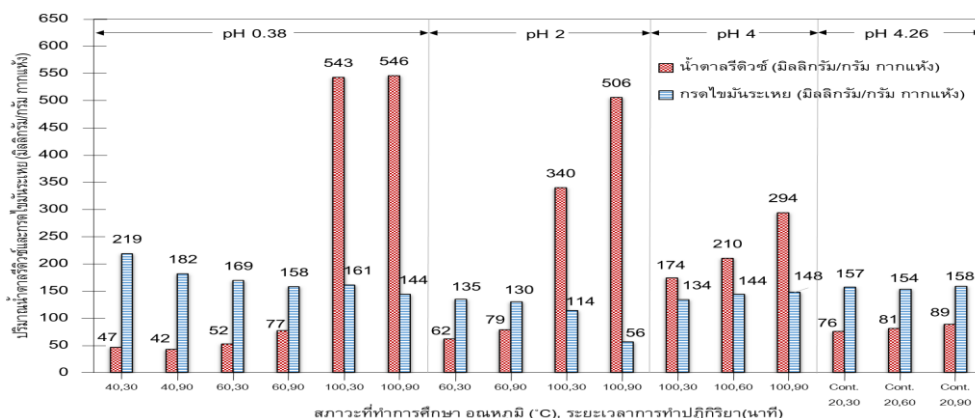
รูปที่ 1 การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่สภาวะต่าง อุณหภูมิ(°C), ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา(นาที) ที่ความเข้มข้น 1.67%TS



รูปที่ 2 การเกิดน้ำตาลลิกติกและกรดไขมันระเหยที่สภาวะต่างอุณหภูมิ(°C),ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา(นาท)ที่ความเข้มข้น 5%TS

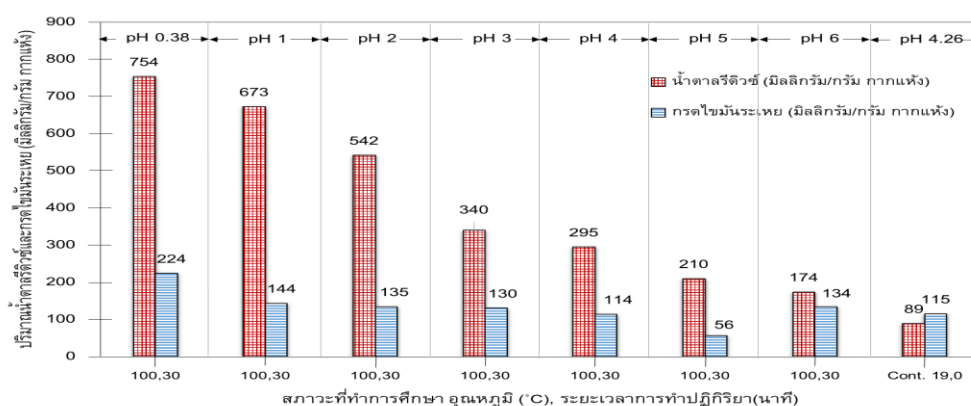
3.1.2 สภาวะที่เป็นกรด

ปริมาณน้ำตาลลิกติกและกรดไขมันระเหยที่ได้จากการศึกษา pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ในช่วง pH 0.38 – pH 7 แสดงได้ดังรูปที่ 3 - 4 จากการศึกษพบว่าปริมาณน้ำตาลลิกติกที่เกิดขึ้นภายหลังกระบวนการไฮโดรไลซิสจากมันสำปะหลังด้วยกรดที่สภาวะต่างๆ อยู่ในช่วง 42.46 – 754.66 มิลลิกรัมต่อกรัมกากแห้ง ซึ่งช่วงที่ให้ปริมาณกรดไขมันระเหยสูงสุดคือ pH 0.38, 100 °C, 30 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดจากระดับเริ่มต้นถึง 8 เท่า เมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำตาลลิกติกที่สภาวะกรดมาวิเคราะห์หาผลของปัจจัยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$) จะพบว่าค่า pH และอุณหภูมิของสารละลายเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการย่อยสลายจากมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลลิกติกมากที่สุด อนึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Agu R.C [9] ซึ่งทำการศึกษการไฮโดรไลซิสมันสำปะหลังเส้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 120 °C และอัตราส่วนกรัมของมันสำปะหลังต่อมิลลิตรของสารละลายกรด เท่ากับ 1 : 10 โดยทำการแปรผันความเข้มข้นของสารละลายกรดและระยะเวลาทำปฏิกิริยา ที่พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการไฮโดรไลซิส คือ pH โดยเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรด ซึ่งก็คือ การลดค่า pH ลง จะทำให้น้ำตาลลิกติกที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3 การเกิดน้ำตาลลิกติกและกรดไขมันระเหยที่สภาวะกรดอุณหภูมิ(°C),ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา(นาท)ที่ความเข้มข้น 1.67%TS

ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า สภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณกรดไขมันระเหยสูงสุด คือ pH 0.38, 100 °C, 30 นาที แต่เนื่องจากสภาพของกากมันสำปะหลังเมื่อทำการไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิสูงและมีสภาพความเป็นกรดสูง จะทำให้กากมันสำปะหลังเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงจนกลายเป็นสีดำไหม้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Agu R.C [9] ที่ศึกษาการไฮโดรไลซิสเปลือกและกากมันสำปะหลังด้วยกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้น 0.20 – 5.00 โมลาร์ ปรากฏว่า เมื่อทำการไฮโดรไลซิสด้วยกรดแต่ละความเข้มข้นแล้ว กรดที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1.00 โมลาร์ขึ้นไปทำให้สารละลายกากมันสำปะหลังเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ และสอดคล้องกับการศึกษาของ อุดมเกียรติ พรธนประเทศ [10] ที่ศึกษาการไฮโดรไลซิสแบ่งเป็น 4 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด และแป้งด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.70 - 1.00 สำหรับแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว และความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 0.20 - 0.50 สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ที่ความเข้มข้นกรดร้อยละ 0.20 ลักษณะของแป้งมันสำปะหลังเปลี่ยนเป็นสีแดงจาง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดขึ้นเรื่อยๆ ความเข้มข้นสีจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลผลิตกรดไขมันระเหยที่ได้มีค่าต่ำกว่าน้ำตาลรีดิวซ์มาก แสดงว่า ผลผลิตหลักที่ได้จากการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังด้วยสารกรด คือ น้ำตาลรีดิวซ์



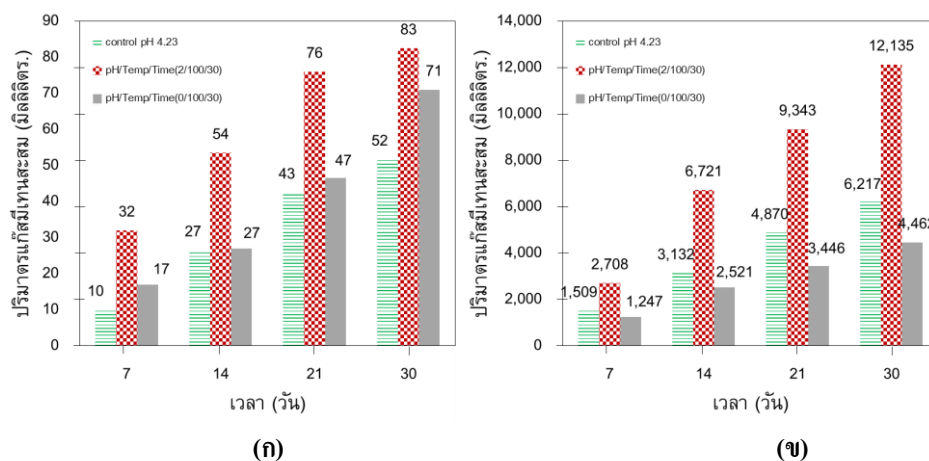
รูปที่ 4 การเกิดน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยที่สภาวะกรด อุณหภูมิ (°C), ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (นาที) ที่ความเข้มข้น 5%TS

อย่างไรก็ตาม ยังมีอีก 2 สภาวะที่มีความสำคัญไม่ต่างจากสภาวะแรก เนื่องจาก ใช้ปริมาณกรดน้อยกว่า แต่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหยง่าย ที่อาจจะสามารถนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ดี คือ ที่ pH 2 อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ก็ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงเหมือนกันคือ 339.15 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง อีกทั้งให้กรดไขมันระเหย 113.89 มิลลิกรัมอะซิติกต่อกรัมกากแห้ง และที่ pH 4 อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ก็ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงเหมือนกันคือ 174.04 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง อีกทั้งให้กรดไขมันระเหย 133.70 มิลลิกรัมอะซิติกต่อกรัมกากแห้ง

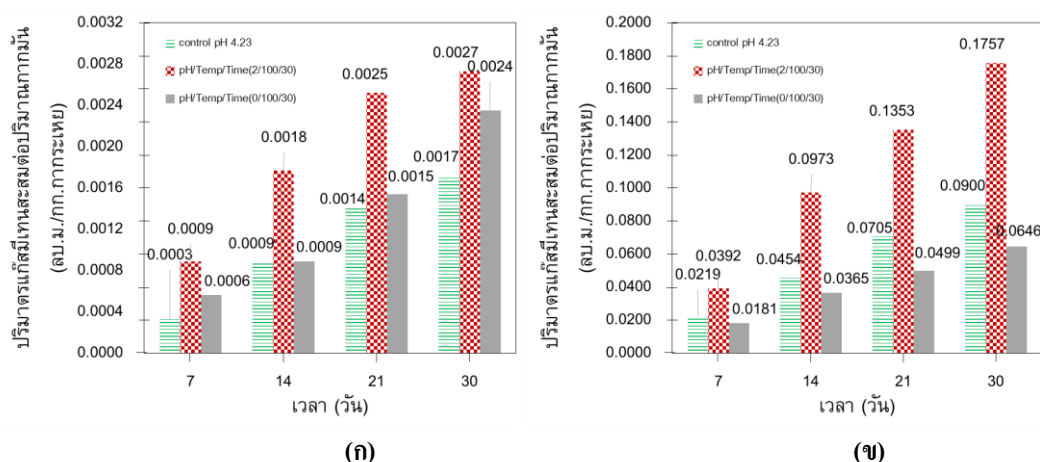
3.2 ผลของการเกิดก๊าซชีวภาพเนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย

3.2.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

อัตราเร็วและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงไว้ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าอัตราเร็วและประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับสภาวะที่มีการย่อยสลายกากมันด้วยสารกรดที่ pH 0.38 สูงกว่าสภาวะควบคุม 1 เท่า และ pH 2 สูงกว่าสภาวะควบคุม 2 เท่า เนื่องจากย่อยสลายกากมันสำปะหลังก่อนการหมัก มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS จะพบว่า pH 2 ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในแง่ของอัตราเร็วและความสามารถในการสร้างก๊าซอย่างโดดเด่น ในขณะที่สภาวะที่ pH 0.38 ให้อัตราเร็วและประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซใกล้เคียงกัน และสูงกว่าของสภาวะควบคุมไม่มากนัก โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมภายหลังการหมัก 30 วันเท่ากับ 0.0027 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากมะพร้าว เช่นเดียวกันกับที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 5%TS จะพบว่า pH 2 เป็นสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมภายหลังการหมัก 30 วันเท่ากับ 0.1757 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากมะพร้าว ซึ่งสูงกว่าที่สภาวะควบคุม 2 เท่า



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซมีเทนที่สะสมในระบบ (ก) 1.67%TS (ข) 5%TS



รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซมีเทนที่สะสมในระบบต่อปริมาณกากมันสำปะหลังที่ระเหยได้ (ก) 1.67%TS (ข) 5%TS

ผลจากการศึกษาอัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังในรูปของของแข็งทั้งหมด ทั้งที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS และ 5%TS พบว่า สภาวะที่เหมาะสมและให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมภายหลังการหมัก 30 วัน สูงที่สุดคือ สภาวะ pH 2, อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 5%TS ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS สูงถึง 65 เท่า ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติกันท์ สุขวานิชย์ [5] อีกทั้งที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 5%TS ยังมีความเหมาะสมต่อการเดินระบบจริงมากกว่าที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS ดังผลการศึกษาของ พิทยา สวสม [3]

3.3 การประเมินค่าใช้จ่ายในการทำไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลัง

การประเมินค่าใช้จ่ายในการทำไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลัง ต่อความสามารถในการทดแทนค่าใช้จ่ายในรูปของก๊าซหุงต้มและพลังงานไฟฟ้า ที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS และ 5%TS แสดงได้ดังตารางที่ 3

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ได้ 0.46 กิโลกรัม [11] ราคาก๊าซหุงต้ม (LPG) กิโลกรัมละ 18.30 บาท [12] สำหรับการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้า ก๊าซชีวภาพ 1.00 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้า ได้ 1.20 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง [11] ราคาไฟฟ้าคิดจากค่าเฉลี่ยหน่วยของพลังงานไฟฟ้า 2.2695 บาทต่อหน่วย (หน่วยไฟฟ้าคือ กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) [14] ผลจากการศึกษาพบว่า ที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS และ 5%TS สภาวะที่ pH 2 อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที เป็นสภาวะที่ทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพในรูปของก๊าซมีเทนสูงที่สุด โดยที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 5%TS สามารถทดแทนค่าใช้จ่ายสำหรับก๊าซหุงต้มและพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS ถึง 65 เท่า เนื่องจากความเข้มข้นของกากมันสำปะหลังที่มากขึ้นมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ กิตติกันท์ สุขวานิชย์ [5] และ กิตติยาพร สมบูรณ์ [13] กล่าวคือ มีค่าใช้จ่ายในการทำไฮโดรไลซิสที่สภาวะควบคุมและสภาวะกรดสูงกว่าความสามารถในการทดแทนค่าใช้จ่ายในก๊าซหุงต้ม และพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการทำไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังและความสามารถในการทดแทนค่าใช้จ่ายในรูปของก๊าซหุงต้มและพลังงานไฟฟ้า

ความเข้มข้น กากมัน สำปะหลัง	pH	Temp (°C)	Time (min)	ค่าสารเคมี (บาท/กก. กากแห้ง)	ก๊าซ CH ₄ (m ³ /กก. กากแห้ง)	ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG)		ทดแทนพลังงานไฟฟ้า	
						(กก.LPG/ กก.กาก แห้ง)	ทดแทน ค่าใช้จ่าย (บาท/ กก.กากแห้ง)	(kW/h)	ทดแทน ค่าใช้จ่าย (บาท/วัน)
1.67%TS	0.38	100	30	374.14	0.0024	0.0011	0.0202	0.0029	0.0066
	2	100	30	39	0.0027	0.0012	0.0227	0.0033	0.0074
	Cont.	19.8	-	12.44	0.0017	0.0008	0.0143	0.002	0.0046
5%TS	0.38	100	30	374.14	0.0646	0.0297	0.5438	0.0778	0.1766
	2	100	30	39	0.1757	0.0808	1.479	0.2117	0.4804
	Cont.	19.8	-	12.44	0.09	0.0414	0.7576	0.1084	0.2461

4. สรุปผลการศึกษา

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมรรถนะการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังด้วยสารกรดและสารด่างเป็นน้ำตาลรีดิวซ์และกรดไขมันระเหย ได้แก่ pH และอุณหภูมิ โดย pH ของสารละลายเป็นปัจจัยหลักที่มีผลมากที่สุด ที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 1.67%TS pH 0.38, อุณหภูมิ 100 °C และทำปฏิกิริยา 90 นาที สามารถให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 545.63 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง อีกทั้งให้ปริมาณกรดไขมันระเหยมากถึง 143.60 มิลลิกรัมอะซิติกต่อกรัมกากแห้ง มีค่าใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 5%TS สภาวะ pH 2 ,100 °C, 30 นาที ที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 542.88 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหย 135.74 มิลลิกรัมอะซิติกต่อกรัมกากแห้ง โดยสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากที่สุดที่ความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 5%TS คือ การไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังที่ pH 0.38, อุณหภูมิ 100 °C และทำปฏิกิริยา 30 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 754.66 มิลลิกรัมกลูโคสต่อกรัมกากแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นเดียวกัน ในสภาวะ pH 2, อุณหภูมิ 100 °C และทำปฏิกิริยา 30 นาที จะพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมภายหลังการหมัก 30 วัน ที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS pH 2, อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที ก่อนนำไปหมักก๊าซ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุด 0.0027 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากแห้งระเหย หรือ 0.0014 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากเปียก และที่ความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 5%TS pH 2, อุณหภูมิ 100 °C, และทำปฏิกิริยา 30 นาที ก่อนนำไปหมักก๊าซ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงที่สุดเท่ากับ 0.1757 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากแห้งระเหย หรือ 0.1233 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมกากเปียก ซึ่งสามารถทดแทนค่าใช้จ่ายได้มากกว่าความเข้มข้นของกากมันสำปะหลัง 1.67%TS ถึง 65 เท่า ในส่วนของการผลิตก๊าซชีวภาพภายหลังการไฮโดรไลซิสกากมันสำปะหลังด้วยสภาวะ pH 0.38 , อุณหภูมิ 100 °C และทำปฏิกิริยา 30 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าที่สภาวะ pH 2, อุณหภูมิ 100 °C และทำปฏิกิริยา 30 นาที แต่กลับให้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำกว่า เนื่องจากความเป็นกรดสูงทำให้จุลินทรีย์ในระบบทำงานได้ไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในระบบต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก “ทุนโครงการการให้ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอกกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (ทุนOROG)” ปีการศึกษา 3/2557 สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.นิตยา บุญเทียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนและให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sriroth, K., Rojanaridpiched, C., Vichukit, V., Suriyaphan, P., Oates, C.G. (2000). “Present situation and future potential of cassava in Thailand”. Paper presented at The 6th regional cassava workshop. 11 - 26 Feb., Ho Chi Minh city, Vietnam.
- [2] Kaparaju et al. (2010). “Optimization of biogas production from wheat straw stillage in UASB reactor”. Technical University of Denmark. Building
- [3] Pitchayae et al. (2007) “Biogas production capacity from cassava pulp and heat production enhancement or enzyme”. Energy Research and Development Institute – Nakornping. Chiang Mai University.

-
- [4] Antonopoulou, G., Alexandropoulou, M., and Lyberatos, G. (2010). "The effect of thermal, chemical and enzymatic pretreatment on saccharification and methane generation from sunflower straws", Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste, 8 – 11 November 2010, Cini Foundation, Venice, Italy.
- [5] Kittikarn Sukwanitch. (2011). "Comparison of Biogas Production Improvement from Cassava Pulp between Acid and Alkaline Hydrolysis Processes". Master of Science Thesis in Environmental Engineering, Graduate School, Chiang Mai University.
- [6] Taconi et al. (2007). Feasibility of methanogenic digestion applied to a low pH acetic acid solution. Department of Chemical and Materials Engineering. University of Alabama in Huntsville. 130 Engineering Building, Huntsville. AL 35899. United States.
- [7] Phongphan Promphiphak. (2012). "Biogas Production by using Cassava Waste Cake from The Production of Cassava Starch". Master of Science Thesis in Mechanical Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.
- [8] Miller, G. L. (1959). "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars". Analytical Chemistry 31: 426-428.
- [9] Agu, R.C., Amadi, A.E., Ude, C.M., Onyia, A., Ogu, E.O., Okafor, M. and Ezejiofor, E. (1997). "Combined heat treatment and acid hydrolysis of cassava grate waste (CGW) biomass for ethanol production". Waste Management Vol.17: 91-96.
- [10] Udomkiat Punthanapradet. (1993). "Effect of acid and enzymatic hydrolyses on composition of starch syrups from 4 types of flour". Master of Science Thesis in Food Science & Technology, Kasetsart University
- [11] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2005). "Development of training courses and public relations on biogas." [Online], www2.dede.go.th/km_ber/elearn/lesson4.pdf, (March 10, 2016).
- [12] PTT Public Company Limited. (2016). "Oil Price". [Online], <http://gasprice.kapook.com/gasprice.php> (March 10, 2016).
- [13] Kitiyaporn Somboon. (2011). "Improvement of Biogas Production Efficiency from Cassava Pulp by Mixed Enzymes of Cellulase and Pectinase" Master of Science Thesis in Environmental Engineering, Graduate School, Chiang Mai University.
- [14] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2011). "Metropolitan Electricity Authority Rates". [Online], <http://www2.eppo.go.th/power/pw-Rate-MEA.html>. (March 10, 2016)