รายงานวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน

Biogas Production by Co-digestion of Chicken Manure with Thai Rice Noodle Wastewater

โดย

ดร. ซันวานี จิใจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2559

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

หัวข้อวิจัย การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน

ชื่อผู้วิจัย ดร. ซันวานี จิใจ และ ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ

คณะ/หน่วยงาน วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัย ราชภัฏยะลา

ปีการศึกษา : 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลไก่ต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างมูลไก่ต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนในการผลิตก๊าซชีวภาพและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมีการเติมมูลไก่ที่แตกต่างกัน (10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม) ต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน 200 มิลลิลิตร ทำการทดลองแบบกะ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส)

ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.3 และซีโอดี 4,200 mg/L มูลไก่มีค่าพีเอชเท่ากับ 6.7 และซีโอดี 10,740 mg/L อัตราการผลิตก๊าซชีภาพของทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 358 – 2,385 มิลลิลิตร และให้เปอร์เซ็นต์มีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 30.38-50.66 โดยชุดการทดลองที่เติมมูลไก่ 30 กรัมให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 1,216 mL และ 299 mL $CH_4/gCOD_{added}$ เมื่อทำนายโดยใช้แบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ The modified Gompertz model พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจำเพาะสูงสุด (R_m mL/day) และศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (P, mL) มีค่าเท่ากับ 188.54 mL/day และ 1,195.07 mL โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดคือค่าซีโอดี (COD), ไนโตรเจน และ ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้น

Research Title Biogas production by co-digestion of chicken manure with Thai rice noodle wastewater

Researcher Dr. Sunwanee Jijai and Asst.Prof.Dr.Chairat Siripatana

Faculty/Section Science, Technology and Agriculture

University Yala Rajabhat

Academic Year 2016

Abstract

This research aims to study the biogas production from co-digestion of chicken manure with Thai rice noodle wastewater by anaerobic digestion. The purpose of this research was to study the effect of chicken manure to wastewater for biogas production and the factors that affect the rate of biogas production. It divided 5 experiment include; digester 1, 2, 3, 4, and 5 the different addition of chicken manure (10, 20, 30, 40 and 50 grams) per 200 mL of wastewater. Batch systems used anaerobic digestion was operated at room temperature (28-30 ºC)

The results showed that the Thai rice noodle wastewater gave pH and COD of 4.3 and 4,200 mg/L , the chicken manure gave pH and COD of 6.7 and 10,740 mg/L . The biogas production and the methane content all digesters were in the range 358-2,385 mL and 30.38-50.66%. The digester 3 use 30g of chicken manure gave highest of methane production and bio-methane potential (1,216 mL and 299 mL CH_4/gCOD_{added}). The Modified Gompertz equation kinetic model was used to compare the data from the experiments. It was found that the kinetic parameters such as the maximum specific methane production rates (R_m mL/day) and the methane production potential (P, mL) in digester 3 use 30g of chicken manure gave highest (188.54 mL/day and 1,195.07 mL). The factor that effect of bio-methane are COD, N and initial pH.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา เจ้าหน้าที่สำนักงานศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง การติดต่อประสานงานในด้านต่างๆ รวมทั้งการเตรียมสารและการดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ สำหรับคำปรึกษาในการดำเนินการวิจัย และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากรมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์สำหรับการสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์บางส่วนในการดำเนินการวิจัย ทำให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ชันวานี จิใจ

กรกฎาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
กรอบแนวคิดของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
อุตสาหกรรมไก่ไข่	6
มูลไก่กับการผลิตพลังงาน	7
น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน	9
ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ	9
หลักการและกลไกการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	11
ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	17
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	17
สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย	22
บทที่ 4 ผลการวิจัย	24
ผลการทดลอง	24

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	32
สรุปและอภิปราย	32
ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	36
รูปภาพการดำเนินการทดลอง	37
ประวัติผู้วิจัย	41

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา YALA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว	7
2.2	ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ	8
2.3	อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบสารอินทรีย์	8
3.1	แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	22
4.1	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนและมูลไก่ไข่	24
4.2	แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)	27
4.3	แสดงสภาพแวดล้อมของระบบ	29
4.4	แสดงค่า kinetic ของการผลิตก๊าซชีวภาพโดยแบบจำลอง modified Gompertz	30

YALA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงกรอบแนวคิดของการวิจัย	4
2.1	กรรมวิธีการผลิตขนมจีน	10
2.2	ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการแบบไร้อากาศ	11
3.1	ตัวอย่างมูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน	18
3.3	ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch)	18
3.4	แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองหา BMP	21
4.1	แสดงจำนวนก๊าซชีวภาพสะสม	26
4.2	แสดงจำนวนก๊าซมีเทนสะสม	26
4.3	แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)	27
4.4	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับ modified Gompertz model	30

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนผลิตขนมจีน	38
2	ตัวอย่างมูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง	38
3	ขวดโซดาที่ใช้เป็นถังหมัก	39
4	จุกยางสีเทาที่ใช้ปิดถังหมัก	39
5	ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซโดยการแทนที่น้ำ	39
6	แสดงการดำเนิการทดลอง	40

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BMP	=	Biochemical Methane Potential
COD	=	Chemical Oxygen Demand
SS	=	Suspended Solids
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosporus
TS	=	Total Solids
VS	=	Volatile Solids
VSS	=	Volatile Suspended Solids
VFA	=	Volatile Fatty Acid

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
YALA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การพัฒนาประเทศที่ผ่านมาเป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นแต่ผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยไม่ให้ความสำคัญกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษในด้านต่างๆ มากมาย เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ มลพิษทางดิน และมลพิษจากขยะ เป็นต้น ปัญหามลพิษต่างๆ ได้พัฒนาความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ตามกระแสการพัฒนาประเทศที่ขาดการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ บวกกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้เกิดการขยายตัวของชุมชนเมือง หรือภาคอุตสาหกรรม ยังส่งผลให้ปริมาณของเสียเพิ่มมากขึ้นทุกวัน

การเลี้ยงไก่เนื้อ หรือไก่ไข่ ถือว่ามีความสำคัญเกี่ยวเนื่องกับการผลิตอาหารเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนจะต้องบริโภคไม่ว่าจะเป็นไข่ไก่ หรือเนื้อไก่ ซึ่งเป็นอาหารที่มีราคาถูกมีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการสามารถหาซื้อได้ง่าย ดังนั้นการเลี้ยงไก่จึงเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศและเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอาหารหรืออุตสาหกรรมอื่นอีกหลากหลาย ในการเลี้ยงไก่สิ่งที่เป็นปัญหาและอุปสรรคในการผลิตที่สำคัญคือ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากไก่ หรือมูลไก่ โดยฟาร์มไก่ส่วนใหญ่จะเลี้ยงไก่ไว้ในกรงมูลไก่ที่เกิดขึ้นจะกองอยู่และเกิดการสะสม หากไม่มีการโกยทิ้งหรือปล่อยสะสมไว้เกิน 4 วัน จะทำให้ก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ระเหยออกมากและส่งผลกระทบต่อไก่ที่เลี้ยงไว้ (สิริชัย แย้มแบน, 2554) ถ้านำมูลไก่ไปใช้เพื่อเป็นอาหารของปลาก็จะประสบปัญหาน้ำในบ่อปลาเน่าเสียได้ง่าย สำหรับการขายมูลไก่เพื่อนำไปทำปุ๋ยต้องนำไปตากแห้งก่อน ซึ่งถ้าเป็นหน้าฝนก็จะประสบปัญหาเพราะไม่สามารถตากแห้งได้ และยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบกับชุมชนในเรื่องของกลิ่นในช่วงระหว่างการหมักหรือตากแห้งได้ ซึ่งฟาร์มขนาดใหญ่จะแก้ปัญหาโดยการฉีดน้ำยาชีวภาพเพื่อลดกลิ่นที่เกิดขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถลดกลิ่นได้ถาวรประกอบกับต้องทำอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายค่าน้ำยาชีวภาพ ซึ่งเมื่อคิดกับราคาปุ๋ยหมักที่ขายได้อาจจะไม่คุ้มค่า เพราะระหว่างการตากมูลไก่จะส่งผลกระทบต่อชุมชนในเรื่องของเชื้อโรค และพาหะนำเชื้อโรค เนื่องจากในกระบวนการตากมีแมลงวันมาเกาะ ทำให้ชุมชนมีแมลงวันเพิ่มมากขึ้น และรบกวนวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชน ปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในฟาร์มไก่โดยจะทำการเก็บกวาดมูลสัตว์ในบริเวณโรงเรือนออกให้หมดทุกวัน และนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป เช่น การเลี้ยงปลา เพาะหนอน ผลิตไส้เดือน ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช ใช้เลี้ยงไรแดง และการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เป็นต้น จากข้อมูลในปี 2559 กรมส่งเสริมการเกษตรได้สนับสนุนงบประมาณ

เพื่ออาชีพเสริมให้กับชาวสวนยางของเกษตรกรในจังหวัดยะลาโดยการเลี้ยงไก่ไข่ เพื่อเสริมในสวนยางของเกษตรกรซึ่งการเลี้ยงไก่ไข่เสริมนั้นเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชาวสวนยาง โดยในส่วนของมูลไก่ที่เกิดขึ้นนั้นถ้าเกษตรกรนำไปขายได้กระสอบละ 50 บาทโดยเฉลี่ยประมาณ 1,000 บาทต่อเดือน (กรมประชาสัมพันธ์, 2559) ดังนั้นการนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะเป็นการเพิ่มมูลค่ามากยิ่งขึ้น เป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประชาชนและต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานด้วยอีกทางหนึ่ง

โรงงานผลิตขนมจีนเป็นกิจการที่มีอยู่ทั่วประเทศทั้งในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน ขนาดย่อม และ ขนาดใหญ่ กระบวนการผลิตขนมจีนก่อให้เกิดน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูงมาก หากโรงงานระบายน้ำทิ้งดังกล่าวลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศวิทยาทางน้ำรวมทั้งยังเกิดกลิ่นเหม็นรบกวนสร้างความเดือดร้อนให้ชาวบ้านในบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (วรพจน์ รัตนพันธ์, 2550) ปัจจุบันโรงงานผลิตขนมจีนขนาดใหญ่ส่วนมากได้ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและสามารถควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่การผลิตขนมจีนในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือนและขนาดย่อมยังทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากผู้ผลิตขนมจีนในระดับดังกล่าวขาดแคลนความรู้เทคโนโลยี และเงินทุนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากกระบวนการผลิตขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเจ้า โดยการหมักน้ำแป้งซึ่งได้จากการโม่ข้าวจนได้เป็นตัวแป้งหมักจากนั้นนำแป้งที่ได้มานวดและกรองแป้งแล้วจึงทำการโรยเส้นตามขนาดที่ต้องการ กระบวนการผลิตขนมจีนจำเป็นต้องใช้น้ำปริมาณมาก ผลที่ตามมาคือน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตย่อมมีมากตามไปด้วย น้ำทิ้งเหล่านี้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ดังนั้นเมื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงเป็นสาเหตุหนึ่งในการก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ในปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการด้านพลังงานต่ำเมื่อเทียบกับระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเพราะไม่มีการเติมอากาศให้แก่ระบบ อีกทั้งยังได้พลังงานกลับคืนในรูปก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมูลไก่ซึ่งมีปริมาณแอมโนเนียและความเป็นด่างสูงมาหมักร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนซึ่งมีแอมโมเนียและความเป็นด่างต่ำซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ โดยใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน ต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

2. เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน และปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเพื่อได้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

3. คำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ในการย่อยแบบไร้อากาศเพื่อทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน โดยใช้มูลไก่เป็นตัวช่วยในการปรับสภาพความเป็นกรดด่าง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำเสียให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อให้ได้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยสามารถนำของเสียเปลี่ยนไปเป็นพลังงานทดแทน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในครัวเรือนขนาดเล็กหรือชุมชนต่อไปได้

2. การศึกษาทดลองใช้ตัวอย่างมูลไก่สดจากฟาร์มไก่ภายในชุมชนและใช้ตัวอย่างน้ำเสียจริงจากการกระบวนการผลิตเส้นขนมจีนของครัวเรือนภายในชุมชนเช่นกัน นำมาวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของสารเริ่มต้นทั้ง 2 ประเภทและเมื่อผสมกันในอัตราส่วนต่างๆที่ได้วางแผนไว้

3. การดำเนินการทดลองเป็นการทดลองแบบแบท (Batch system) ในถังปฏิกิริยาที่ปิดสนิท โดยแต่ละการทดลองจะทำการทดลอง 2 ซ้ำเพื่อหาศักยภาพในการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential; BMP) ว่าอัตราส่วนใดให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดและให้ค่าศักยภาพในการผลิตมีเทน (BMP) สูงสุด

4. เมื่อได้อัตราส่วนและปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหมักร่วมระหว่างมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนแล้วใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematic model) เพื่อคำนวณหาค่าทางจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ และทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

5. จากผลการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) สามารถนำไปทำนายอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับสเกลที่ใหญ่กว่าได้ เช่นจากครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรมขนมจีนต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อัตราส่วนของมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนเพื่อให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

2. ได้ทราบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและปัจจัยที่เหมาะสมในการผสมมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนเพื่อนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ

3. ได้ค่าจลนพลศาสตร์ของจุลินทรีย์ในการย่อยแบบไร้อากาศจากการหมักรวมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนผลิตขนมจีนเพื่อนำไปทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

4. กลุ่มครัวเรือน, ชุมชนที่ผลิตขนมจีน และผู้ประกอบการฟาร์มไก่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพใช้เองในระดับครัวเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรมได้

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

ภาพที่ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดของการวิจัย

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. BMP (Biochemical methane Potential)

เป็นการทดลองหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของของเสียที่นำมาบำบัดด้วยระบบแบบไร้อากาศ แสดงในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมซีโอดีของของเสียที่ถูกย่อยสลายไป โดยไม่คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย **(**Angelidaki & Sanders, 2004**)**

2. น้ำเสีย

น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

3. COD (Chemical Oxygen Demand)

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี มักใช้เทียบหาค่าบีโอดีโดยคร่าวๆ ปกติ COD: BOD ของน้ำเสียชุมชนประมาณ 2 - 4 เท่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

4. ปริมาณของแข็ง (Solids)

ปริมาณสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ทั้งในลักษณะที่ไม่ละลายน้ำและที่ละลายน้ำ (Dissolved Solids) ของแข็งบางชนิดมีน้ำหนักเบาและแขวนลอยอยู่ในน้ำ (Suspended Solids) บางชนิดหนักและจมตัวลงเบื้องล่าง (Settleable Solids) ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำนี้อาจสร้างปัญหาในการอุดตันเครื่องเติมอากาศ และถ้าปล่อยทิ้งในปริมาณมากจะทำให้เกิดความสกปรกและตื้นเขินในลำน้ำธรรมชาติ ตลอดจนบดบังแสงแดดที่ส่องลงสู่ท้องน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

5. pH (Positive Potential of the Hydrogen Ions)

ค่าที่บอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือจุลินทรีย์ในถังบำบัดจะดำรงชีพได้ดีในสภาวะเป็นกลาง คือ pH ประมาณ 6-8 (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมไก่ไข่

การเลี้ยงไก่ไข่เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากความนิยมของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น ประเทศไทยผลิตไข่ไก่ได้มากที่สุดในเอเชีย เนื่องจากเป็นที่นิยมบริโภค ซึ่งในช่วง 5 ปี (2547-2551) การผลิตไข่ไก่ขยายตัวในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 8.90 ต่อปี เนื่องจากการเลี้ยงไก่ไข่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทั้งวิธีการเลี้ยงและขนาดฟาร์ม หลังจากการระบาดของโรคไข้หวัดนก (Avian Influenza) ในปี 2547 ได้มีการปรับเปลี่ยนการเลี้ยงจากโรงเรือนระบบเปิดเป็นโรงเรือนระบบปิดที่ควบคุมอุณหภูมิโดยระบบระเหยไอน้ำเย็น (Evaporative Cooling System หรือ EVAP) เพื่อให้ได้มาตรฐานฟาร์มตามที่กรมปศุสัตว์กำหนด ปัจจุบันผู้เลี้ยงไก่ไข่แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้เลี้ยงรายย่อยอิสระ ส่วนใหญ่เป็นสมาชิกสหกรณ์ผู้เลี้ยงไก่ไข่ 3 สหกรณ์ฯ ซึ่งมีรวมกันประมาณ 300 ราย ผู้เลี้ยงไก่ไข่คอนแทร็กฟาร์มมิ่ง กลุ่มนี้แนวโน้มเพิ่มจานวนขึ้น เพราะบริษัทใหญ่ขยายคอนแทร็กฟาร์มมิ่ง และกลุ่มผู้เลี้ยงรายใหญ่อิสระ ผู้เลี้ยงรายย่อยมักโดนพ่อค้าคนกลางเอารัดเอาเปรียบกดราคารับซื้อ ปัจจุบันไข่นิยมนำมาแปรรูปเป็นอาหารคาวและหวานที่ใช้บริโภคในชีวิตประจาวันของคนไทยมากมาย แต่ผลิตภัณฑ์ไข่แปรรูปในระดับอุตสาหกรรมยังมีไม่มาก ส่วนใหญ่เป็นสินค้าวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารอีกทอดหนึ่ง เช่น อุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมกุ้งและไก่แปรรูป โรงแรม ภัตตาคาร เป็นต้น

ปัญหาที่สำคัญสาหรับการเลี้ยงไก่ไข่คือของเสียที่เกิดขึ้นเช่นมูลไก่ไข่และน้ำจากโรงเชือดหากปล่อยทิ้งไว้ของเสียเหล่านี้จะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนก่อให้เกิดมลพิษด้านต่างๆดังนั้นปัจจุบันได้มีการนำมูลไก่ไข่มาใช้มากในด้านการเกษตรคือใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์เนื่องจากปริมาณสารอาหารที่มีอยู่มากใช้ได้ทั้งแบบสดๆและแบบแห้งๆโดยโรยหรือหว่านลงในบริเวณที่ต้องการซึ่งกลิ่นเหม็นอาจจะทำให้ผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้รับโดยตรงเพราะว่ามูลไก่ไข่มีปริมาณสารอาหารมากโดยเฉพาะไนโตรเจนซึ่งทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ไข่ทำให้มีกลิ่นเหม็นเป็นอันตรายต่อสุขภาพหากมีการทำลายไนโตรเจนให้หมดไปซึ่งทำให้หมดปัญหาเรื่องกลิ่นของแอมโมเนียแต่ยังคงสารองค์ประกอบจำพวกฟอสเฟตและโปรแทสที่จำเป็นต่อพืชอยู่เมื่อถูกน้ำฝนชะล้างและไหลลงสู่แม่น้ำหรือแหล่งน้ำผิวดินจะทำให้แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนลดลงเพราะฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมีผลทำให้การเจริญเติบโตมากเกินไปของสาหร่ายเมื่อสาหร่ายตายจะทำลายออกซิเจนที่อยู่ในน้ำจุลินทรีย์ในน้ำขาดออกซิเจน (สิริชัย แย้มแบน, 2554)

2.2 มูลไก่ไข่กับการผลิตพลังงาน

มูลไก่ไข่มีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ประกอบด้วยก๊าซมีเทน 50-70 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 30-40 เปอร์เซ็นต์และที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ ปริมาณของสิ่งขับถ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการเลี้ยงสัตว์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ขนาด ชนิดของสัตว์ และประเภทของสัตว์ที่เลี้ยงว่าเป็นโค สุกร หรือไก่ ดังตารางที่ 2.1 และขึ้นอยู่กับนาดของฟาร์มที่เลี้ยง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว

ชนิดสัตว์	สิ่งขับถ่ายตามน้ำหนักตัว		ปริมาณในสิ่งขับถ่ายสด		น้ำหนักตัว
	มูล (%)	ฉี่ (%)	TS (%)	VS (%)	(กิโลกรัม)
โค	5	4-5	16	13	135-800
กระบือ	5	4-5	14	12	340-420
สุกร	2	3	16	12	30-75
แพะ-แกะ	3	1-1.5	30	20	30-100
ไก่/สัตว์ปีก	4.5	-	25	17	1.5-2
คน	1	2	20	15	50-80

ที่มา (สุริยะ สะวานนท์, 2540)

เมื่อนำมูลไก่มาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการเผาจะได้ค่าความร้อน 1 ใน 3 ของถ่านหินในก๊าซเทอร์ไบน์ (18,000-20,000 kJ/kg dry ash free) หรือเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากมูลไก่มีศักยภาพที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศดังแสดงในตารางที่ 2.2 ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน 50-70 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนไดออกไซด์ 30-40 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ

ปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง ที่มีผลต่อการสร้างก๊าซมีเทนคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N ซึ่งอัตราส่วน C/N ในช่วง 20-30 ถูกพิจารณาว่าเหมาะสมต่อเงื่อนไขการหมักในสภาวะไม่ใช้อากาศ ทั้งนี้เนื่องจากหากค่า C/N สูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนเพื่อให้ได้โปรตีนที่ต้องการ ซึ่งมันจะไม่ทำปฏิกิริยาต่อกับคาร์บอนที่เหลือในวัตถุดิบ ทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ ในทางกลับกันหากค่า C/N ต่ำเกินไป ไนโตรเจนจะถูกปล่อยออกมา และสะสมในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) ทาให้ค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดด่างที่สูงกว่า 8.5 จะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน อัตราการผลิตก๊าซจึงต่ำเช่นกัน ของเสียจากสัตว์ประเภทอื่น เช่น วัว ควาย แพะ สุกร หรือพวกพืชต่างๆ เช่น ฟางข้าว ผักตบชวา และขี้เลื่อย จะมีปริมาณคาร์บอนอยู่สูง

อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบโดยทั่วไป แสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 วัตถุดิบที่มี C/N สูง สามารถนำมาหมักย่อยร่วมกับวัตถุดิบที่มี C/N ต่ำ เพื่อทำให้ได้อัตราส่วนเฉลี่ยที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของมูลสัตว์	**ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (m^3) ต่อจำนวน กก. ของมูลสัตว์**
วัว ควาย	0.023-0.040
หมู	0.040-0.059
ไก่	0.065-0.116
มนุษย์	0.020-0.028

ที่มา (สิริชัย แย้มแบน, 2554)

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน C/N ของวัตถุดิบสารอินทรีย์

วัตถุดิบ	**อัตราส่วน C/N**
มูลเป็ด	8
มูลคน	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลสุกร	18
มูลแกะ	19
มูลวัว ควาย	24
ผักตบชวา	25
มูลช้าง	43
เปลือกข้าวโพด	60
ฟางข้าว	70
ฟางข้าวสาลี	90
ขี้เลื่อย	มากกว่า 200

ที่มา (Karki and Dixit, 1984)

2.3 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน

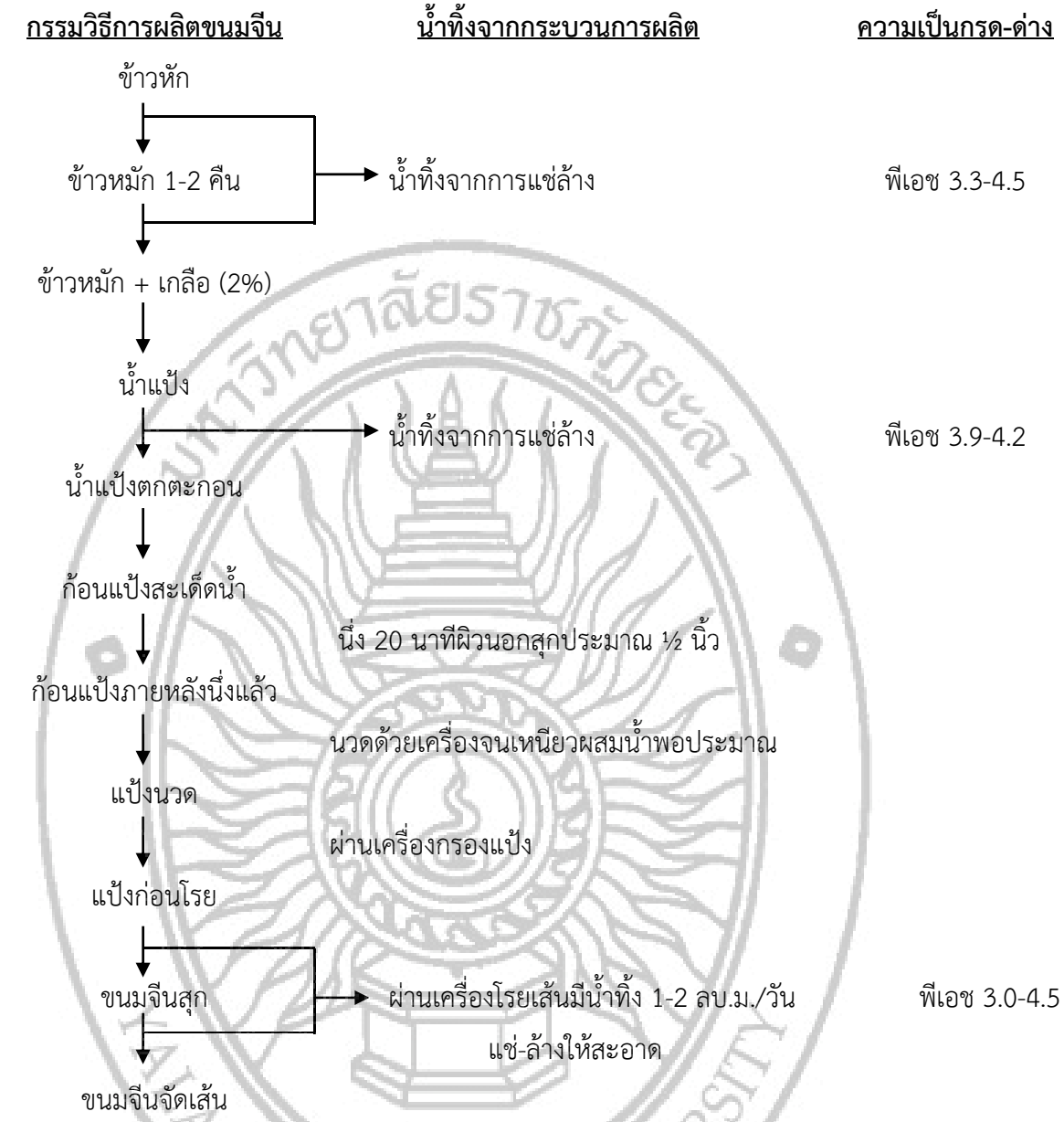
การผลิตเส้นขนมจีนเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเจ้า โดยการหมักน้ำแป้งซึ่งได้จากการโม่ข้าวจนได้เป็นตัวแป้งหมักจากนั้นนำแป้งที่ได้มานวดและกรองแป้งแล้วจึงทำการโรยเส้นตามขนาดที่ต้องการ ลักษณะกรรมวิธีการผลิตขนมจีนดังแสดงในภาพที่ 2.1

กระบวนการผลิตขนมจีนจำเป็นต้องใช้น้ำปริมาณมาก ผลที่ตามมาคือน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตย่อมมีมากตามไปด้วย น้ำทิ้งเหล่านี้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ดังนั้นเมื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงเป็นสาเหตุสำคัญยิ่งในการก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนจะมีสีขาวขุ่นมีกลิ่นเหม็น จากงานวิจัยต่างๆพบว่าโรงงานผลิตขนมจีนเป็นโรงงานที่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากแป้งหมัก และน้ำทิ้งซึ่งมีค่าบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอยค่อนข้างสูง และมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำ ปัจจุบันโรงงานผลิตขนมจีนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ชิษณุพงษ์ ประทุม, 2557) ดังนั้นโรงงานผลิตขนมจีนจัดเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งสูง ปัจจุบันการผลิตขนมจีนมีปริมาณการผลิตมากขึ้น เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้นด้วยการศึกษาครั้งนี้เป็นการหาแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนให้เป็นพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ

2.4 ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์น้ำหนักโมเลกุล 16.04 ละลายน้ำได้เล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ก๊าซมีเทน 1 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.6346 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้ค่าความร้อน 31.79 เมกกะจูล (50.1 กิโลจูลต่อกรัม)

ก๊าซชีวภาพ ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) ให้ค่าพลังงานความร้อน 23.4 เมกกะจูล (มีเทนร้อยละ 65) สามารถทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม, น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร, น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร, น้ำมันเตา 0.55 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1.2 – 1.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) (สิริชัย แย้มแบน, 2554)

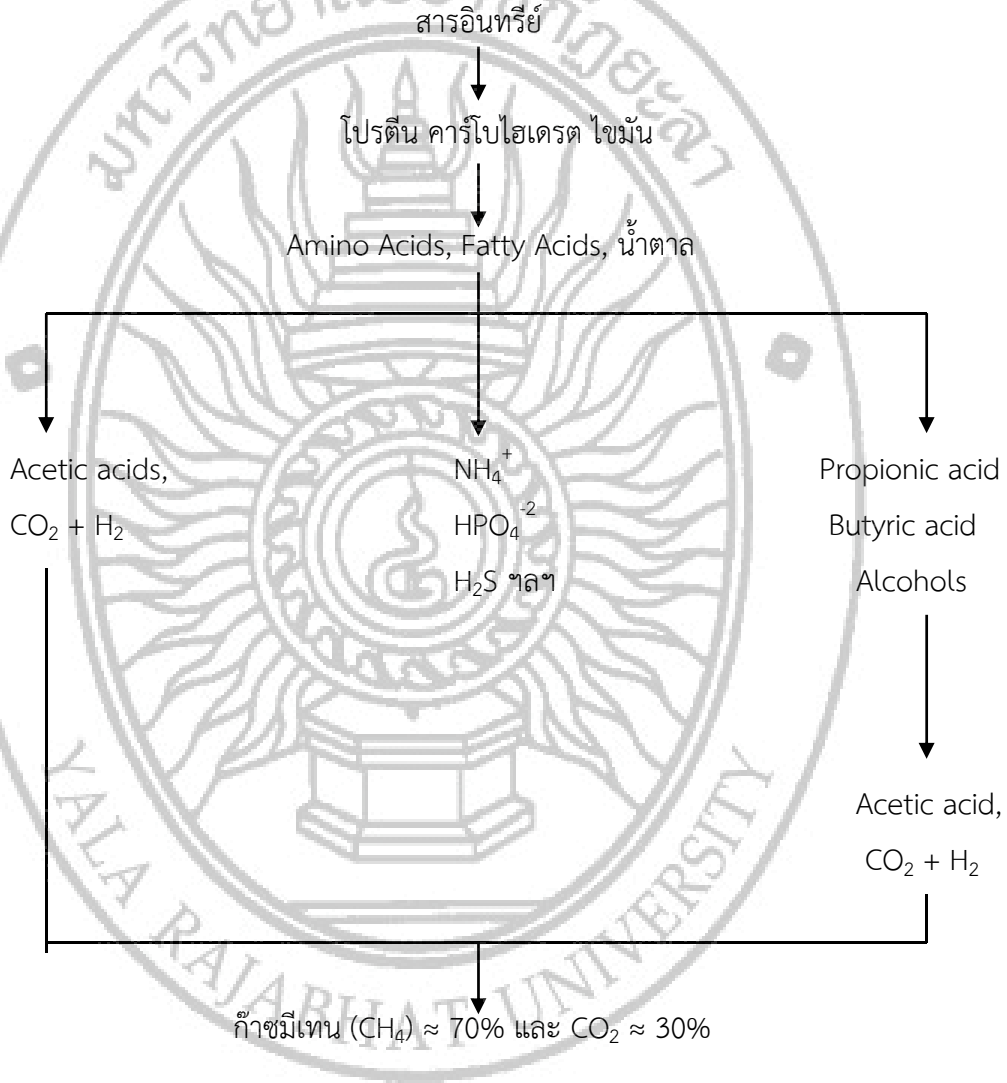


ภาพที่ 2.1 กรรมวิธีการผลิตขนมจีน

ที่มา (วรพจน์ รัตนพันธ์, 2550)

2.5 หลักการและกลไกในการบาบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เป็นกระบวนการบำบัดแบบชีวภาพในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็คตรอนจะย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการประกอบด้วยก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ โดยที่ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงไว้ดังภาพที่ 2.2 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนมี 4 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการแบบไร้อากาศ

ที่มา (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543)

ขั้นที่ 1 ไฮโดรไลซิส ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันจะถูกย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง สามารถละลายน้ำได้ โดยเอนไซม์ (Extracellular Enzyme) ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรียหลายจำพวก ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) โดยที่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยเป็นน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน ตามลำดับ ทำให้แบคทีเรียสามารถดูดซึมเข้าไปในเซลล์ได้ เกิดจากการที่เอนไซม์เหล่านี้จะลดพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น แต่ทั้งนี้เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงมาก การทำงานของเอนไซม์จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วยคือ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าพีเอช และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ จากทั้งหมดนี้ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละชนิดใช้เวลาต่างกัน

ขั้นที่ 2 การสร้างกรดอินทรีย์ (Acidogenesis) แบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acidogens) จะทำการเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 ตัว เป็นส่วนประกอบ เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรไพออนิก (CH_3CH_2COOH) กรดบิวทิริก ($CH_3CH_2CH_2COOH$) ซึ่งความแตกต่างของกรดที่เกิดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และสภาวะความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนในระบบ (Hydrogen Partial Pressure; ppH_2) ดังนี้

สภาวะความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนต่ำ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3COOH + 2\,CO_2 + 2H_2$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$$

สภาวะความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนสูง

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$$

ขั้นที่ 3 การสร้างกรดอะซิติก (Acitogenesis) แบคทีเรียพวกอะซิโตเจน (Acetogens) จะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยจากขั้นตอนที่ 2 ไปเป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาการสร้างกรดอะซิติกมีดังนี้

สภาวะความดันพาร์เชียลไฮโดรเจนต่ำ

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$

ขั้นที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน (Methanogen) จะเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ซึ่งถ้าระบบมี Methanogens ปริมาณมากพอ และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี จะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 60-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20-30% และก๊าซอื่นๆ (H_2 และ N_2) อีกเล็กน้อย

ก๊าซมีเทนที่ได้มาจำแนกได้เป็น ร้อยละ 33 มาจาก ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ โดย Hydrogenotrophic Bacteria ขณะที่ร้อยละ 67 มาจากอะซิเตท (Acetate) โดย Acetotrophic Bacteria ทั้งนี้ถ้าปริมาณ Methanogens มีน้อยจนไม่สามารถย่อยสลายสารอาหาร ได้ทันจะเกิดการสะสมของกรดภายในระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุของ pH ที่ลดลง ทำให้ระบบล้มเหลว

แบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนจะสร้างก๊าซภายใต้สภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน (O_2) ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ประเภทดังนี้

1. แบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก แบคทีเรียพวกนี้จะใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการต่อไปนี้

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

2. แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียพวกนี้จะใช้ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการต่อไปนี้

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

และแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นสารอาหารอย่างเดียวได้ เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย ดังสมการต่อไปนี้

$$HCOOH \longrightarrow CO_2 + H_2$$

แบคทีเรียพวกสารมีเทนสามารถเจริญเติบโตในช่วงพีเอช 6.6-7.6 รวมทั้งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำ (Specific Growth Rate) ทำให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นช้า และมักเป็นขั้นตอนการจำกัดอัตราการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในปฏิกิริยาย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ประมาณ 80–90% จะถูกทำลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซมีเทนนี้ สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในการหุงต้ม ให้แสงสว่าง เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตาในการผลิตไอน้ำในหม้อไอน้ำ ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันบางส่วน ตลอดจนใช้ในการผลิตไฟฟ้า

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน ปัจจัยที่มีผลต่อระบบสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ความเป็นด่าง สารพิษ สารยับยั้งและลักษณะของของเสีย กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเดินระบบ ได้แก่ การกวน เวลากักเก็บ และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์

1 อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนมี 2 ช่วง คือ Mesophilic ช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส และ Thermophilic ช่วงอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส

2. ค่าพีเอช

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน จะมีความไวต่อค่าพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ จะเกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 6.8 – 7.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 7.0 (Thaveesri, 1995) ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด สามารถอาศัยอยู่ในสภาพที่มีค่าพีเอช 5.0 – 8.0 และยังสามารถทำงานได้ที่พีเอช 6.0 – 6.5 นอกจากนี้ ค่าพีเอชยังส่งผลทางอ้อมต่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน โดยที่ค่าพีเอชจะส่งผลต่อรูปอิออนของสารต่างๆ เช่น Volatile Fatty Acid, แอมโมเนีย (NH_3) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในการออกแบบบางครั้งได้แยกขั้นตอนการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถย่อยสลายน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นไฟเบอร์บางส่วนก่อน เช่นการหมักขยะอินทรีย์เป็นต้น

3. กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) และสภาพด่าง (Alkalinity)

กรดไขมันระเหยที่ผลิตโดยแบคทีเรียที่สร้างกรด ปกติควรมีค่าประมาณ 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร ของกรดอะซิติก กรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเสียสมดุลในระบบ เนื่องจากพีเอชจะลดต่ำลงจนไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของแบคทีเรีย และตัวกรดเองที่ความเข้มข้นสูงๆ จะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ดังนั้นสภาพด่างจึงแสดงถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ ซึ่งจะรักษาระบบให้มีพีเอชค่อนข้างคงที่ สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันระเหยได้ ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ควรมีสภาพด่างประมาณ 1,500-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากดูสภาพด่างแล้วต้องพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างด้วย (VFA/Alk)

- ถ้า VFA/Alk น้อยกว่า 0.4 แสดงว่ากำลังบัฟเฟอร์สูง ระบบทำงานได้ดี
- ถ้า VFA/Alk มากกว่า 0.8 แสดงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ อาจจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงหรือล้มเหลวได้

สารเคมีที่ใช้เพิ่มความเป็นด่างให้แก่ระบบมีอยู่หลายชนิด เช่น สารไบคาร์บอเนต หรือคาร์บอเนตโดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เป็นสารเคมีที่ดีที่สุดในการใช้ควบคุมพีเอช เพราะละลายน้ำได้ดีและให้คาร์บอเนตตรงต่อระบบ แต่มีราคาแพงกว่าสารเคมีตัวอื่น

4. ธาตุอาหารเสริม (Nutrients)

ถึงแม้ว่าเซลล์แบคทีเรียที่สร้างขึ้นมาในกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนจะมีน้อยกว่าแบบใช้ออกซิเจนแต่จากอัตราส่วน C: N: P: S ในเซลล์มีค่าประมาณ 100: 10: 1: 1 จึงจำเป็นต้องรักษา

สัดส่วนนี้ไว้ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องการธาตุอาหารเสริมนอกเหนือจากคาร์บอน เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสโดยควรควบคุมให้มีค่า N: COD และ P: COD เท่ากับ 0.018 และ 0.028 ตามลำดับ (González *et al*., 1998) (คิดเป็น COD: N: P เท่ากับ 100: 1.8: 0.28) นอกจากนี้ยังมีธาตุบางอย่างที่แบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการเป็นปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล ซัลเฟอร์

5. สารพิษ (Toxic)

สารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะแบคทีเรียสร้างมีเทนมีหลายชนิดความรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเหล่านั้น สารที่เป็นพิษไม่ได้หมายถึงสารที่อันตรายโดยตรงเท่านั้น สารบางตัวเป็นสารอาหารที่จำเป็น แต่ต้องมีในปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งรวมไปถึงอิออนบวกและโลหะหนักต่างๆ ดังนั้นจึงควรมีการตรวจวัดปริมาณสารพิษในน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเพื่อหาทางแก้ไขหรือลดความเป็นพิษลง เช่น การตกตะกอนแยกโลหะหนักออกก่อน เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Benjamin *et al.* (2001) ทำการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของการย่อยสลายร่วมโดยใช้มูลสุกรผสมกับมูลไก่ไข่ในอัตราส่วนที่ต่างกัน โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch) ขนาด 125 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 113 วันโดยการควบคุมที่ 35±2 องศาเซลเซียส ลักษณะของน้ำเสียจะมีค่า COD อยู่ในช่วง 9,750-17,400 mg/L และค่า VS อยู่ในช่วง 7,000-14,000 mg/L โดยพบว่าอัตราส่วนที่ 80:20 ของ มูลสุกร: มูลไก่ โดยปริมาตร ให้ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 0.13 m^3-CH_4/Kg-$VS_{removed}$

Gelegenis *et al.* (2007) ทำการศึกษากระบวนการย่อยสลายร่วมโดยใช้มูลไก่ไข่ซึ่งมีแอมโมเนีย และค่าความเป็นด่างสูง ผสมกับน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ซึ่งมีแอมโมเนียและค่าความเป็นด่างต่ำ ทำการทดลองเป็นสองช่วงคือช่วง Lab scale และ Pilot scale โดยช่วงแรกเป็นการหาอัตราส่วนของมูลไก่ไข่ต่อปริมาณน้ำเสียที่ดีที่สุด โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือประมาณ 65:35 %V/V ผลจากการทดลองช่วงที่สองโดยใช้อัตราส่วนมูลไก่ไข่ต่อปริมาณน้ำเสียที่ 60:40 % V/V ใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 100 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เวลาเก็บกักน้ำ 18 วัน ใช้อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ 4.85 kg/m^3 ได้อัตราการก๊าซชีวภาพ 1.53 L/(LR-d) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฉพาะมูลไก่ไข่ที่อัตราบรรทุกสารอินทรีย์ 5 kg/ m^3 จะได้อัตราการก๊าซชีวภาพ 1.4 L/(LR-d) และอัตราการเกิดมีเทน 0.34 m^3CH_4 /kgCOD

Magbanua *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของการย่อยสลายร่วมโดยใช้มูลสุกรผสมกับมูลไก่ไข่ในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch) ขนาด 125 มิลลิลิตร ทำการทดลองทั้งหมด 113 วัน รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 35±2 องศาเซลเซียส ลักษณะของน้ำเสียจะมีค่า COD อยู่ในช่วง 9,750-17,400 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า VS เท่ากับ 7,000-14,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 80:20 (มูลสุกร:มูลไก่) โดยปริมาตร โดยได้ค่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.13 ลบ.ม มีเทน/ กก.ของ VS ที่ถูกกำจัด

สุดาพร ตงศิริ (2543) ได้ทำการศึกษาการหมักย่อยมูลไก่ไข่แบบครั้งคราวในสภาวะไร้อากาศ พบว่าการหมักย่อยแบบไร้อากาศของมูลไก่ไข่ในถังหมักที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป COD แตกต่างกัน เมื่อย่อยมูลไก่ไข่เป็นระยะเวลา 85 วัน ถ้ามีการเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วน 0.5, 2, 3, 3.5, 5, และ 7 เท่า ถังหมักมูลไก่ไข่ทั้งหมดสามารถลดค่า COD, BOD, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน และยังพบว่าถ้ามีการเจือจางมากขึ้นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีเทนต่อ 1 กรัม COD จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย

ศรินญา บุญฤทธิ์ (2546) ทำการหมักมูลสุกรร่วมกับมูลไก่ไข่แบบไม่ใช้อากาศอัตราส่วน 2:1 ในถังหมักแบบกะ ขนาด 3.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 วันแบบเติมและไม่เติมกากตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบ พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เริ่มต้นในระบบมีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ คือที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เริ่มต้นเท่ากับ 5.11% จะให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุด

YALA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

การศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนเพื่อให้ได้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มูลไก่

เก็บตัวอย่างมูลไก่จากฟาร์มเลี้ยงไก่ ในพื้นที่จังหวัดยะลา และนำตัวอย่างที่ได้มาเก็บไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 °C ที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา เพื่อคงสภาพเดิมของตัวอย่างไว้ก่อนนำมาใช้ในการดำเนินการทดลอง (ดังภาพที่ 3.1)

ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างมูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง

2. น้ำเสีย

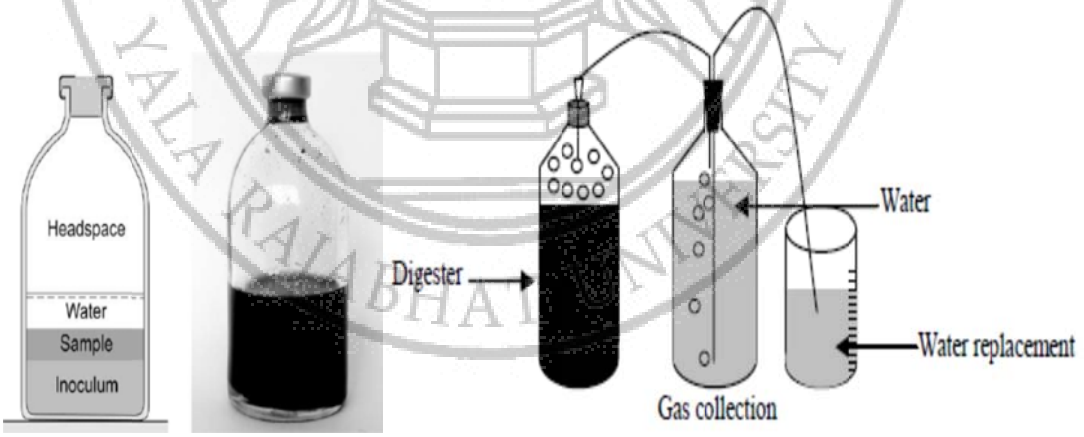
เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตขนมจีนจากครัวเรือนที่ผลิตขนมจีนในพื้นที่จังหวัดยะลา และนำตัวอย่างที่ได้มาเก็บไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 °C ที่ห้องปฏิบัติการ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา เพื่อคงสภาพเดิมของตัวอย่างไว้ก่อนนำมาใช้ในการดำเนินการทดลอง

ภาพที่ 3.2 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน

3. ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch)

ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch) ที่ใช้ในการทดลองเป็นขวดโซดาที่เป็นแก้วขนาด 300 มิลลิลิตร (ปริมาตรการใช้งาน 200 มิลลิลิตร) (ดังแสดงในภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.3 ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch)

4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)
5. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
6. ตู้ดูดความชื้น
7. ตู้ดูดควัน (Hood)
8. เครื่องแก้วและชุด Titration
9. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก
10. กระดาษกรองสำหรับวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS)
11. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า COD, VFA, Alkalinity
12. ชุดกรองสำหรับวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS)
13. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีการดำเนินการทดลอง

1. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

การเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเก็บตัวอย่างมูลไก่จากฟาร์มเลี้ยงไก่ และน้ำเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตขนมจีนจากครัวเรือนที่ผลิตขนมจีนในพื้นที่จังหวัดยะลา และนำตัวอย่างที่ได้มาเก็บไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 $^{\circ}$C ที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา เพื่อคงสภาพเดิมของตัวอย่างไว้ก่อนนำมาใช้ในการดำเนินการทดลอง

2. การวิเคราะห์ปริมาณสารต่างๆ ในระบบ

2.1 pH ใช้เครื่อง pH meter

2.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 17th Edition 1989.

2.2.1 ปริมาณ COD ใช้วิธี Close reflux method

2.2.2 ปริมาณ Alkalinity และ Volatile fatty acid (VFA) ใช้วิธี Direct titration method

2.2.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ใช้วิธี GF/C Filter

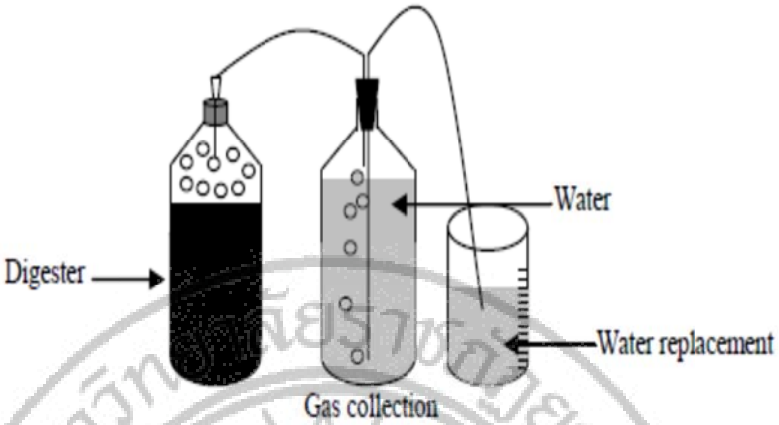
3. การดำเนินการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเก็บตัวอย่างมูลไก่จากฟาร์มเลี้ยงไก่ และน้ำเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตขนมจีนจากครัวเรือนที่ผลิตขนมจีนในพื้นที่จังหวัดยะลา และนำตัวอย่างที่ได้มาเก็บไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ 0-4 $^{\circ}C$ ที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา เพื่อคงสภาพเดิมของตัวอย่างไว้ก่อนนำมาใช้ในการดำเนินการทดลอง

3.2 นำตัวอย่างมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนมาวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นทางด้านกายภาพและเคมี พารามิเตอร์ทางด้าน pH, C, N, P, COD, VFA, Alkalinity, ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยง่าย (VS)

3.3 การดำเนินการทดลอง ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสมระหว่างการหมักมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน เพื่อให้ค่าศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุด

3.3.1 ปริมาตรขวดที่ใช้ในการทดลองเป็นขวดโซดาที่เป็นแก้วขนาด 300 มิลลิลิตร (ปริมาตรการใช้งาน 200 มิลลิลิตร) เติมปริมาณมูลไก่ตามสัดส่วนปริมาตรที่ต้องการศึกษา (10, 20, 30, 40, 50 กรัม) แต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 2 ซ้ำเมื่อครบทุกขวดทำการปิดด้วยจุกยางและอะลูมิเนียมเคปและตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องทำการวัดปริมาตรก๊าซทุกวันโดยการแทนที่น้ำ (ดังแสดงในภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองหา BMP

3.3.2 คำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปของศักยภาพการผลิตมีเทน (Biochemical methane potential; BMP) ดังสมการที่ 1 และ 2 (Angelidaki & Sanders, 2004)

$$BMP(mLCH_4 / gCOD_{added}) = \frac{mLCH_4 produced}{\frac{gCOD}{L} \times L(substrate_{inbottle})} \quad (1)$$

$$BMP(mLCH_4 / gVS_{added}) = \frac{mLCH_4 produced}{\frac{gVS}{L} \times L(substrate_{inbottle})} \quad (2)$$

3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทางด้านค่าพีเอช, สภาพกรด, สภาพด่าง

3.5 คำนวณค่าจลนพลศาสตร์ (kinetic value) จากผลการทดลองโดยใช้ Gompertz kinetic model เพื่อนำค่าที่ได้ไปปรับใช้กับการออกแบบเพื่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพระดับใหญ่ในครัวเรือน, ชุมชน และอุตสาหกรรมต่อไป

3.6 ในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติพื้นฐานในการเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราผลิตก๊าซชีวภาพ และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematic model) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำนายผลของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2 สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (09-409) อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

2. ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาในการทำการวิจัยในช่วง 1 ปี (ปีงบประมาณ 2559) การทดลองเป็นการศึกษาเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch system) เพื่อหาศักยภาพในผลิตมีเทน (BMP) ของของเสียประเภทมูลไก่ และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน เมื่อนำมาหมักร่วมเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือศักยภาพในการผลิตมีเทน (BMP) ให้มีค่าสูงสุด รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ตัวอย่างของเสียจริงซึ่งเป็นมูลไก่จากฟาร์มในชุมชนจังหวัดยะลา และน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตเส้นขนมจริงภายในชุมชน รายละเอียดแผนการดำเนินการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กิจกรรม	**เดือนที่**											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. เสนอโครงการเพื่อขอรับทุนอุดหนุน	⟷											
2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และเขียนรายงานบทที่ 1, 2 (ฉบับร่าง)		⟷										
3. ออกแบบการทดลองและเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลองใน			⟷									

กิจกรรม	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ระดับห้องปฏิบัติการ <u>เตรียมถังปฏิกิริยา</u> ถังปฏิกิริยาแบบแบท (Batch system)												
4. เก็บตัวอย่างในพื้นที่และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางด้านกายภาพและเคมี				←	→							
5. ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุด (BMP)						←	→					
6. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพทางด้าน พีเอช และสภาพด่าง								←	→			
7. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน และสมการทางคณิตศาสตร์ (kinetic model) เพื่อทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ									←	→		
8. เขียนรายงานวิจัยฉบับร่าง										←	→	
9. จัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์											←	→
10. เขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ลงวารสาร												↔

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วม (Co-digestion) ระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) สูงสุดซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนและมูลไก่ไข่

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนทางด้านค่าความเป็นกรดด่าง (pH), COD, TKN, TP, TS, VS, SS, VSS, สภาพด่าง (Alkalinity) และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนและมูลไก่ไข่

Parameter	Waste	
	Thai rice noodle wastewater	Chicken manure
pH	4.3	6.7
COD (mg/L)	4,200	10,740
TKN (mg/L)	198	690
TP (mg/L)	18	-
TS (mg/L)	1,610	8,430
VS (mg/L)	1,106	6,759
SS (mg/L)	1,500	9,240
VSS (mg/L)	583.5	7,250
Alkalinity (mg/ L as$CaCO_3$)	519	920
VFA (mg/ L asCH_3COOH)	294	1,240
C/N	-	12.40

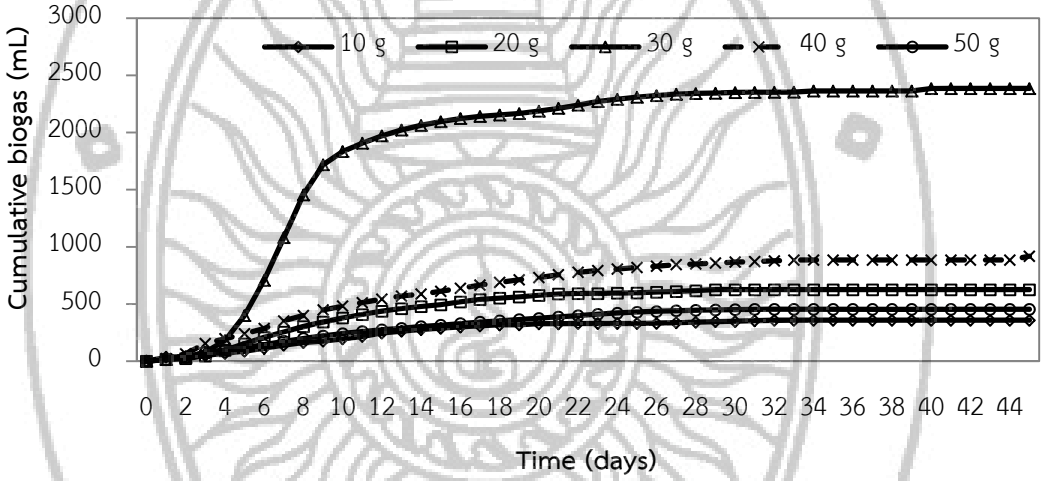
น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน ณ ตำบลพร่อน อำเภอเมือง จังหวัดยะลา จากลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนพบว่าลักษณะทางกายภาพมีลักษณะเป็นสีข่าวขุ่นมีกลิ่นเปรี้ยว ซึ่งกลิ่นที่เหม็นเปรี้ยวนั้นหมายถึงน้ำเสียเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนและเกิดขึ้นระหว่างช่วง Intermediate volatile acids โดยแบคทีเรียกลุ่ม Fementative bacteria หรือ acidogens ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซกคาไรด์ภายใต้สภาวะที่ไร้ออกซิเจน (ชิษณุพงษ์ ประทุม, 2557) และมีค่าความเป็นกรดด่างที่ค่อนข้างต่ำ (พีเอช 4.3) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพจน์ (2550) ซึ่งการที่ความเป็นกรดด่างต่ำทำให้ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ โดยส่วนใหญ่น้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นน้ำที่เกิดจากการหมักด้วยข้าวสารจึงส่งผลให้มีค่าพีเอชต่ำ แต่ด้วยลักษณะของน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ซึ่งมาจากแป้งและข้าวซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย โดยจากการงานวิจัยอื่นๆพบว่ามีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 3,060-28,300 mg/L และซีโอดีอยู่ในช่วง 5,568-33,969 mg/L (ชิษณุพงษ์ ประทุม, 2557) และจากการศึกษานี้พบว่ามีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 4,200 mg/L ซึ่งมีค่ามากกว่า 1,000 mg/L จึงสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ (Metcalf & Eddy, 2003) แต่ต้องทำการปรับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศก่อนคือช่วง 6.8-7.2 (Speece, 1996)

มูลไก่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นมูลไก่ไข่จากฟาร์ม จากผลการศึกษาลักษณะกายภาพและเคมีของมูลไก่พบว่าในมูลไก่จะมีองค์ประกอบที่ทำให้สามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ โดยมูลไก่จะมีค่าพีเอชที่ค่อนข้างเป็นกลาง (pH = 6.7) โดยมูลไก่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นมูลไก่ไข่ เมื่อเทียบกับมูลไก่เนื้อแล้วปริมาณค่าพีเอชจะมีค่าที่ต่ำกว่าโดยปกติมูลไก่ไข่มีค่าพีเอชเฉลี่ย 7.5 และมูไก่เนื้อมีค่าพีเอชเฉลี่ย 8.0-8.2 (ศิริลักษณ์ วงส์พิเชษฐ, 2559) ดังนั้นเมื่อนำมูลไก่มาผสมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนซึ่งมีค่าพีเอชที่ค่อนข้างต่ำพบว่าสามารถปรับสมดุลพีเอชตั้งต้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (pH 6.8 -7.2) ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศได้ (Speece, 1983) และมูลไก่มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 10,740 mg/L และสารอินทรีย์ระเหยง่าย 6,759 mg/L สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริชัย แย้มแบน (2554) ได้รายงานว่ามูลไก่ไข่มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 10,732-59,244 mg/L และของแข็งระเหยง่ายอยู่ในช่วง 6,518-28,028 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสารอินทรีย์ที่เพียงพอเพื่อสามารถนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ ในส่วนของลักษณะทางกายภาพพบว่ามูลไก่มีความชื้นสูง จึงมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ

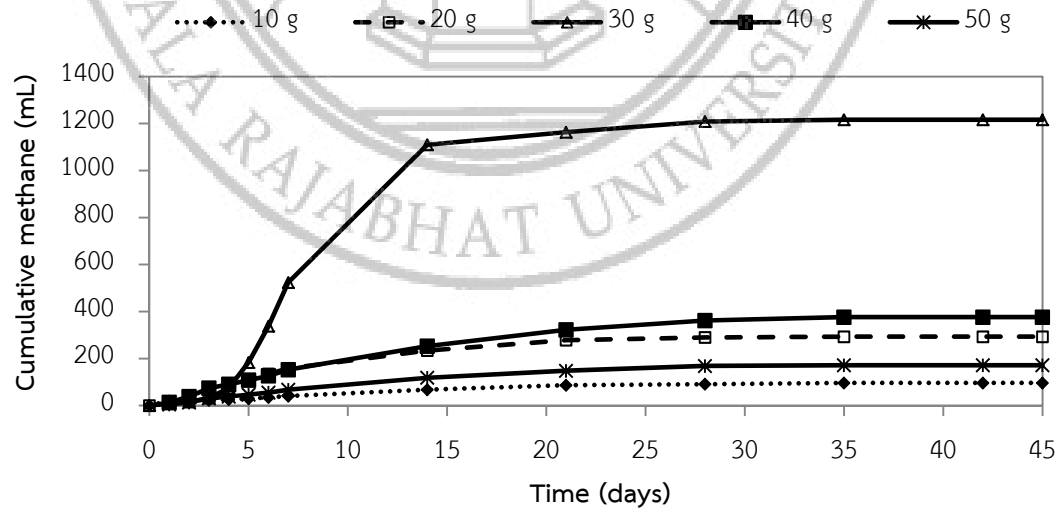
4.2 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียจากกะบวนการผลิตขนมจีนและมูลไก่ไข่ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนดังแสดงในภาพที่ 4.2 จากข้อมูลเบื้องต้น

ในการดำเนินการทดลองพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 และในขณะที่มูลไก่ให้ค่าความเป็นกรดด่างที่สูง เอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ทำให้เมื่อนำมาหมักร่วม (Co-digestion) จะให้ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (6.8-7.8) ทำให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ (Speece, 1996) โดยจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมโดยเฉลี่ยจากถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 358, 625, 2,385, 918 และ 454 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์มีแทนโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 30.38, 49.32, 50.66, 43.05 และ 39.15 ตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของถังหมักที่ 1-5 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96-1,216 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดคืออัตราส่วนมูลไก่ 30 กรัมต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน 200 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4.1 แสดงจำนวนก๊าซชีวภาพสะสม



ภาพที่ 4.2 แสดงจำนวนก๊าซมีเทนสะสม

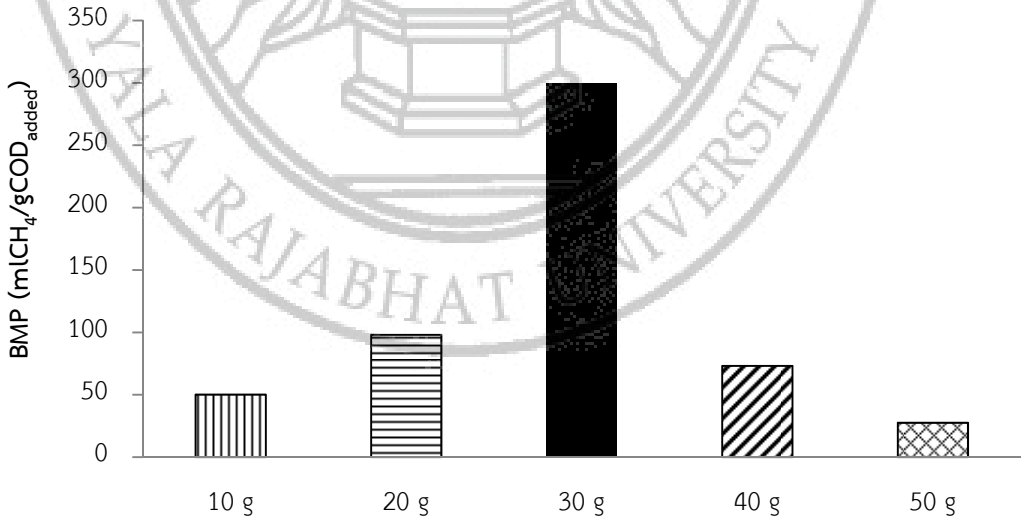
4.3 ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)

ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างมูลไก่และน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนของถังหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองโดยใช้ปริมาณมูลไก่ที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง คือ (10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม) จากค่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดสามารถนำมาคำนวณหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (Biochemical methane potential; BMP) ได้ดังสมการที่ 1 พบว่าถังหมักที่ 1-5 ให้ค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28-299 $mLCH_4/gCOD_{added}$ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)

Digester	TRW (mL)	CM (g)	COD (mg/L)	TKN (mg/L)	pH initial	pH final	%CH4	Methane yield (mL $CH_4/gCOD_{added}$)
1	200	10	9,570	543	6.8	6.2	30.38	50
2	200	20	14,940	888	7.2	6.0	49.32	98
3	200	30	20,310	1,233	7.5	5.9	50.66	299
4	200	40	25,680	1,578	7.7	5.9	43.05	73
5	200	50	31,050	1,923	7.8	5.8	39.15	28

หมายเหตุ ; TRW = Thai rice noodle wastewater (น้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน)
CM = Chicken manure (มูลไก่)



ภาพที่ 4.3 แสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP)

จากผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) พบว่าถังหมักที่ 3 ที่ใช้มูลไก่ปริมาณ 30 กรัม ต่อน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ให้ค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) สูงสุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 299 mL/gCOD_{added} ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริชัย แย้มแบน (2554) ที่ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อรางโดยใช้อัตราส่วนการเจือจางมูลไก่ไข่ต่อน้ำ 1:2 ถึง 1:10 พบว่าให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.310-0.334 m^3/KgVS_{added} ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนผสมที่มีการเติมมูลไก่ของแต่ละอัตราส่วนส่งผลต่อค่า pH เริ่มต้นของระบบโดยถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ให้ค่าพีเอชเริ่มต้น 6.8, 7.2, 7.5, 7.7 และ 7.8 ตามลำดับ ซึ่งถังหมักที่ 3 (pH เท่ากับ 7.5) แสดงว่ามีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมมูลไก่เพื่อหมักร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนจะช่วยในการปรับพีเอชเริ่มต้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองสารเคมีอย่างอื่นเพื่อใช้ในการปรับพีเอช เช่น ปูนขาว หรือสารละลายด่าง และยังส่งผลต่ออัตราการการผลิตก๊าซมีเทน และศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) สำหรับพีเอชหลังการทดลองจะเห็นได้ว่าในถังหมักที่ 1-5 พีเอชหลังการทดลองมีค่าน้อยกว่าเริ่มต้นโดยมีค่า 6.2, 6.0, 5.9, 5.9 และ 5.8 สำหรับถังหมักที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายช่วงแรกจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนที่จะสร้างมีเทน ดังนั้นถ้าเกิดกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณสูงจะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงต่ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งสภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทนเนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้ใช้กรดอินทรีย์ระเหยไม่ทันทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยถูกสะสมเพิ่มมากขึ้น pH จึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว และการที่พีเอชหลังการทดลองมีค่าต่ำกว่าก่อนการทดลองแสดงว่าเกิดการสะสมของกรดเหยง่ายซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุรีย์วัลย์ สิทธิจันดา และคณะ (2557) และ Reungsang et al (2012) พบว่าพีเอชที่เหมะสมและให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 7.0

เมื่อพิจารณาสภาพแวดล้อมของระบบในส่วนของค่าสภาพด่างและกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าถังหมักทั้ง 5 มีค่าสภาพด่างอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,345-3,129 mg/L as$CaCO_3$ ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,000 – 5,000 mg/L as$CaCO_3$ (Metcalf & Eddy, 2003) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFA/ALK) พบว่าทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 0.1-0.4 (Speece, 1983) ทุกถังหมักมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.073- 0.130 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทุกระบบมีบัฟเฟอร์ที่เพียงพอส่งผลให้ค่ากรดด่างหลังการทดลองลดลงไม่ต่ำมาก โดยค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบการหมักไม่ควรมีค่าเกิน 2,000 mg/L

asCH_3COOH เพราะจะทำให้มีผลต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ โดยถังหมักที่ 3 มีค่าอัตราส่วนค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพด่าง (VFA/ALK) น้อยที่สุดคือ 0.073 ทำให้ระบบมีความเหมาะสมสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศมากกว่า ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้ดี และจึงสามารถให้ค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุด ดังที่ Bolzonella *et al*. (2003) กล่าวไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย, สภาพด่าง และพีเอช ส่งผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยในการทดลอง เป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนกว่าตัวอื่นๆ และจากการศึกษาของ Vavilin *et al*. (2002) พบว่ากระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยสูง และมีอัตราส่วนปริมาณจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนที่เพียงพอ ดังนั้นสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยสำหรับถังหมักที่ 3 ที่ใช้อัตราส่วนมูลไก่ 30 กรัมต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน 200 มิลลิลิตร ให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย 182 mg/L asCH_3COOH ซึ่งไม่ใช่ค่าที่น้อยสุดโดยให้อัตราส่วน VFA/ALK น้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.073 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังหมักที่ 3 มีปริมาณกรดไขมันระเหยต่ออัตราส่วนปริมาณจุลินทรีย์สร้างก๊าซมีเทนที่เพียงพอและเหมาะสมมากกว่าถังหมักที่ใช้อัตราส่วนอื่นๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงสภาพแวดล้อมของระบบ

Digester	Alkalinity (mg/L as$CaCO_3$)	VFA (mg/L asCH_3COOH)	VFA/ALK
1	1,345	126	0.094
2	1,500	194	0.130
3	2,500	182	0.073
4	2,245	271	0.120
5	3,129	395	0.130

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Kinetic model) ของการผลิตก๊าซชีวภาพ

แบบจำลองที่นิยมนำมาใช้เพื่อทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพคือ modified Gompertz equation model ดังแสดงในสมการที่ 3

$$M = P \cdot \exp\left\{-\exp\left[\frac{R_m \cdot e}{P}(\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (3)$$

โดยที่; M = Cumulative methane production (mL)

P = Methane production potential (mL)

R_m = the maximum specific methane production rates (mL/d)

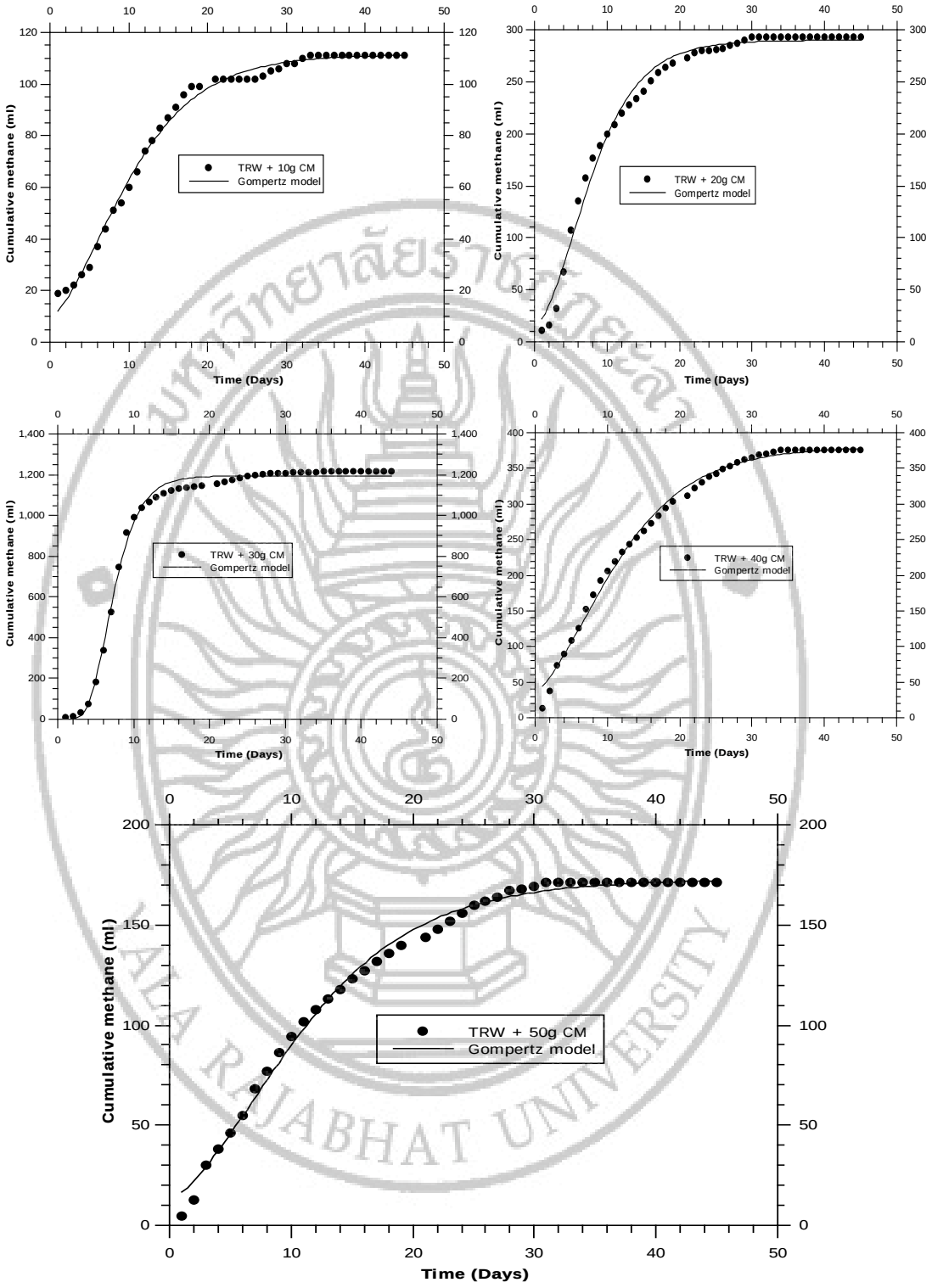
λ = lag phase period or minimum time to produce biogas (days)

e = mathematical constant (2.718282).

จากสมการที่ 2 เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาทำนายและหาค่าจลนพลศาสตร์ (kinetic) ของการผลิตก๊าซชีวภาพโดยแบบจำลอง modified Gompertz ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าถังหมักที่ 3 ซึ่งให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทน และศักยภาพในการผลิตก๊าซสูงสุด โดยจากการใช้แบบจำลอง modified Gompertz มาทำนายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด (R_m , mL) และศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (P , mL) ขึ้นอยู่ลักษณะของสารอาหาร, ค่า COD, N และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เข้าสู่ระบบซึ่งตรงกันข้ามกับระยะในการเกิดก๊าซชีวภาพ (λ , days)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า kinetic ของการผลิตก๊าซชีวภาพโดยแบบจำลอง modified Gompertz

Digester	Modified Gompertz				%CH_4	Methane yield
	P (mL)	R_m (mL/d)	λ (d)	R^2		(mL.CH_4/gCOD_{added})
1	111.47	6.21	-0.28	0.994	30.38	50
2	289.82	22.63	0.78	0.990	49.32	98
3	1,195.07	188.54	4.08	0.996	50.66	299
4	380.25	18.33	-0.74	0.994	43.05	73
5	172.81	9.03	-0.01	0.995	39.15	28



ภาพที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับ modified Gompertz model

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วม (Co-digestion) ระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลองแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันที่ปริมาณมูลไก่ที่ใช้ในการทดลองคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัม ตามลำดับปริมาณน้ำเสียขนมจีนที่ใช้ 200 มิลลิตร ทำการทดลองในระบบแบบกะ (Batch system) โดยใช้ขวดโซดาปริมาตร 300 มิลลิตร ปิดจุกขวดด้วยจุกยางสีเทาและอะลูมิเนียมเคป เพื่อให้เกิดสภาวะไร้อากาศทำการทดลองที่อุณภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) ใช้ระยะเวลา 45 วัน (จนไม่เกิดก๊าซภายในระบบหรือเกิดก๊าซน้อยกว่า 2 มิลลิลิตรต่อวัน) ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากระบวนการผลิตขนมจีนและมูลไก่ไข่พบว่าสารทั้งสองประเภทมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 4,200 และ 10,740 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสารอินทรีย์ที่เพียงพอสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ และสำหรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีนมีค่าต่ำเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 ส่วนมูลไก่ไข่มีค่าที่สูงกว่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ซึ่งเมื่อนำทั้ง 2 มาหมักร่วม (Co-digestion) ทำให้ช่วยปรับสมดุลของค่าความเป็นกรดด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (pH 6.8-7.2) ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศได้โดยไม่ต้องทำการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่าง สำหรับมูลไก่มีค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) เฉลี่ยเท่ากับ 6,759 mg/L ซึ่งเหมาะสมและเพียงพอสำหรับกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 358-2,385 มิลลิลิตร และค่าเปอร์เซ็นต์มีแทนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 30.38-50.66 ส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของถังหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96-1,216 มิลลิลิตร โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ, เปอร์เซ็นต์มีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดคือถังหมักที่ 3 ใช้อัตราส่วนมูลไก่ไข่ 30 กรัมต่อน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน 200 มิลลิลิตร

ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) ถังหมักทั้ง 5 ชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28-299 mL $CH_4/gCOD_{added}$ โดยพบว่าถังหมักที่ 3 ที่ใช้มูลไก่ปริมาณ 30 กรัม ต่อน้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ให้ค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน (BMP) สูงสุด เนื่องจากสภาพแวดล้อมของระบบมีความเหมาะสมทั้งค่าความเป็นกรดด่าง, สภาพด่าง, กรดอินทรีย์ระเหยง่าย และอัตราส่วนกรดอินทรีย์

ระเหยง่ายต่อสภาพมีค่าต่ำสุด จึงส่งผลให้ระบบมีบัฟเฟอร์ที่เพียงพอ มีความเหมาะสมสำหรับการย่อยแบบไร้อากาศ ทำให้แบคทีเรียสร้างมีเทนทำงานได้ดี และสามารถให้ค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด ดังนั้นปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี, ค่าความเป็นกรดด่าง, สภาพด่าง, กรดอินทรีย์ระเหยง่าย และสารอาหารของจุลินทรีย์ในรูปของไนโตรเจน (C/N) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน

การหาค่าจลนพลศาสตร์ (Kinetic) ของการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้แบบจำลอง modified Gompertz จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับค่าจริงที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($R^2 > 0.99$) และจากการทำนายโดยใช้แบบจำลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด (R_m , mL) และศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน (P , mL) จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสารอาหาร, ค่า COD, N, ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เข้าสู่ระบบ

ดังนั้นจากข้อมูลการทดลองในห้องปฏิบัติการสามารถนำค่าทางจลนพลศาสตร์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบเพื่อสร้างถังหมักในระดับใหญ่ขึ้นเพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้จริงภายในครัวเรือน ชุมชน ฟาร์มไก่ หรืออุตสาหกรรมต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทดลองเปลี่ยนชนิดของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลไก่ไข่กับน้ำเสียชนิดอื่นๆ

2. ควรศึกษาในระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continous) และระบบต่อเนื่อง (continous) เพื่อศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.* พิมพ์ที่โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). *วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสียเล่ม 4*. พิมพ์ครั้งที่ 2. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ชิษณุงพงษ์ ประทุม (2557). *การบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตขนมจีนด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพร่วมกับการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ.* วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรพจน์ รัตนพันธุ์, (2550). *สภาวะการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนโดยระบบแอนแอร์โรบิคคอนแทค*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรินญา บุญฤทธิ์. (2546). *การศึกษาการย่อยสลายมูลสัตว์แบบไร้อากาศ*, มหาวิทยาลัยมหานคร.

สุดาพร ตงศิริ. (2543). *ศึกษาการหมักย่อยมูลไก่ไข่แบบครั้งคราวในสภาวะไร้อากาศ*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุริยะ สะวานนท์. (2540). *คุณสมบัติของน้ำล้างคอกและมูลจากการเลี้ยงสุกร. สุกรสาสน์.* 23(91): 61-67.

สิริชัย แย้มแบน. (2554). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อหมักรางของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิริลักษณ์ วงส์พิเชษฐ (2559). *การเพิ่มมูลค่าของเสียจากการผลิตสัตว์.* สืบค้นได้จาก: http://stouonline.stou.ac.th/courseware/courses/agriculture/weeks.html. (12 กรกฎาคม 2558).

Angelidaki, I., & Sanders, W. (2004). Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Re/Views in Environmental Science & Bio/Technology, 3*(2), 117-129.

APHA, AWWA, WPCF. (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17th ed. Washington D.C.: American Public Health Association.

Bolzonella D., Battistoni P., Mata-Alvarez J. and Cechi F., (2003). Anaerobic Digestion of Organic Solid Wastes : Process Behaviour in Transient Conditions. *Water Science and Technology*, 48(4), 1-8.

Magbanua Jr, B. S., Adams, T. T., & Johnston, P. (2001). Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. *Bioresource Technology, 76*(2), 165-168.

Metcalf & Eddy. (2003). *wastewater engineering treatment and reuse.* (4 ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.

Gelegenis, J., Georgakakis, D., Angelidaki, I., Christopoulou, N., & Goumenaki, M. (2007). Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. *Applied Energy, 84*(6), 646-663.

González, J. S., Rivera, A., Borja, R., & Sánchez, E. (1998). Influence of organic volumetric loading rate, nutrient balance and alkalinity: COD ratio on the anaerobic sludge granulation of an UASB reactor treating sugar cane molasses. *International Biodeterioration & Biodegradation, 41*(2), 127-131.

Karki, A. B. and K. Dixit. (1984) "*Biogas Fieldbook*". Sahayogi Press, Kathmandu, Nepal.

Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater engineering treatment disposal and reuse. 3rd ed. McGraw-Hill, Inc. Singapore.

Reugnsang A, Pattra S, Sittijunda S. (2012). Optimization of key factors affecting methane production from acidic effluent coming from the sugarcane juice hydrogen fermentation process. *Energies*. 5(11). 4746-4757.

Speece, R. E. (1983). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. *Environmental Science & Technology, 17*(9).

Speece, R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*: Archae Press.

Thaveesri, J., (1995). *Granulation and Stability in Upflow Anaerobic Sludge Reactors in Relation to Substrates and Liquid Surface Tension.* Doctor of Philosophy Dissertation, Applied Biological Sciences, Specialization Environmental Technology, University of Gent, Belgium, 1-7

Vavilin A.V., Schelkanov Y.M. and Lokshina Y.L. (2002). A Comparative Analysis of Balance Between the Rates of Polymer Hydrolysis and AcetovlasticMethanogenesis During Anaerobic Digestion of Solid Waste. *Water Science and Technology*, 45(10), 249-254.

ภาคผนวก

รูปภาพแสดงการทดลอง

ภาพผนวกที่ 1 ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนผลิตขนมจีน

ภาพผนวกที่ 2 ตัวอย่างมูลไก่ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพผนวกที่ 3 ขวดโซดาที่ใช้เป็นถังหมัก

ภาพผนวกที่ 4 จุกยางสีเทาที่ใช้ปิดถังหมัก

ภาพผนวกที่ 5 ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซโดยการแทนที่น้ำ

ภาพผนวกที่ 6 แสดงการดำเนินการทดลอง

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ดร. ซันวานี จิใจ
   (ภาษาอังกฤษ) Dr. Sunwanee Jijai
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน; 3950100238731
3. ตำแหน่งปัจจุบัน; อาจารย์พนักงานมหาวิทยาลัย
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก; สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา โทรศัพท์ 089-7362513, 073-227151 ต่อ 9501 โทรสาร 073-227148 E-mail: sunwanee.j@yru.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
   - ปริญญาเอก ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ พ.ศ. 2558
   - ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2549
   - ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ พ.ศ. 2546
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   - เคมีสิ่งแวดล้อม
   - จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม
   - การวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม
   - การจัดการสิ่งแวดล้อม
   - เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย
   - เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ
   - Environmental engineering
   - Modeling of biogas production
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

   <u>งานวิจัย</u>

   - **ซันวานี จิใจ.** (2546). *ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.* รายงานวิจัยอนามัยสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

- **ซันวานี จิใจ.** (2549). *การบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- **ซันวานี จิใจ** และ วิชิต เรืองแป้น. (2553). การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางจากวัสดุในท้องถิ่นโดยระบบเติมอากาศ. งบบำรุงการศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- **ซันวานี จิใจ**. (2553). คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. งบบำรุงการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- **ซันวานี จิใจ**. (2553). การกำจัดน้ำมันและไขมันจากน้ำทิ้งโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. งบบำรุงการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- **ซันวานี จิใจ**. (2559). การผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนผลิตขนมจีน. งบบำรุงการศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- **ซันวานี จิใจ**. (2559). ผลของอัตราส่วนการเจือจางและพีเอชต่อศักยภาพในการผลิตมีเทนโดยน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. งบบำรุงการศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- **Sunwanee Jijai**. (2015). Effect of the feeding substrates, Granule sizes and the operating parameter on the performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Doctoral dissertation, Walailak University.

<u>บทความ</u>

ซันวานี จิใจ. (2550). การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไนล่อนโดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื่องในสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 11(1). หน้า 99-107.

ซันวานี จิใจ. (2551). “มารู้จัก E85 กันเถอะ”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื่องในสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 12(1). หน้า 85-90.

ซันวานี จิใจ. (2552). “Solar cell พลังงานทางเลือกหนึ่งสำหรับอนาคต”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื่องในสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 13(1). หน้า 116-121.

ซันวานี จิใจ. (2553). คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื่องในสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 14(1). หน้า 14-19.

ซันวานี จิใจ, กัลยา ศรีสุวรรณ, วีระศักดิ์ ทองลิมป์ และสมพงศ์ โอทอง. (2555). ความสามารถเฉพาะในการผลิตมีเทนและขนาดของจุลินทรีย์แบบแกรนูลในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารต่างกัน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 22; 25-26 ตุลาคม 2555 ณ นครราชศรีมา. หน้า 57-58.

ซีลาวาตี มาซอรี, **ซันวานี จิใจ,** ไชนะ มูเล็ง, วรินธา วศินะเมฆินทร์, สนทยา โสสนุย และไตรภพ ทองมั่ง. (2558). ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดในน้ำทะเลบริเวณหาดกะรนและเกาะสิเหร่, จังหวัดภูเก็ต. การประชุมวิชาการระดับชาติ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครั้งที่ 3; 28-29 พฤษภาคม 2558 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. หน้า 823-831.

ซันวานี จิใจ. (2558). “Biogas” พลังงานทางเลือกสำหรับชุมชน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื่องในสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 19(1). หน้า 104-109.

ซันวานี จิใจ, ไชนะ มูเล็ง และวิชิต เรืองแป้น. (2558). การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยึดเกาะตัวกลางจากวัสดุในท้องถิ่นด้วยการเติมอากาศ. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหกรรมวิจัยแห่งชาติระหว่างวันที่ 16-20 สิงหาคม 2558. สำงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) กรุงเทพฯ. หน้า 475-481.

Jijai, S.,Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N., &Siripatana, C., (2014), *Specific Methanogenic Activities (SMA) and Biogas Production of Different Granules Size and Substrates*, Paper presented at the Environment and Natural Resources International Conference (ENRIC 2014): Global Climate Change and Sustainability Pathways, 6-7 November 2014, Bangkok, Thailand, 1-4.

Jijai, S.,Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N., &Siripatana, C., (2015), *Effect of Substrates and Granules/Inocula Sizes to Biogas Production in Anaerobic Batch Digestion*, Paper presented at the International Conference on Environmental Research and Technology, 27-29 May 2015, Penang, Malaysia, 67-73.

Siripatana, C., **Jijai, S.,** O-Thong, S. & Ismail, N., (2015), *Modeling of Biogas Production from Agro-Industrial Wastewater with Constant Biomass: Analysis of Gompertz Equation*, Paper presented at the International

Conference on Environmental Research and Technology, 27-29 May 2015, Penang, Malaysia. 37-38.

Jijai, S.,Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N., &Siripatana, C., (2015). *Effect of Granule Sizes on the Performance of UASB Reactors for Cassava Wastewater Treatment,* Paper presented at the International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, 28-29 May 2015, Bangkok, Thailand, 233-234.

Jijai, S., O-Thong, S., Ismail, N. and Siripatana, C., (2015), *Kinetic Models for Prediction of COD Effluent from Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor for Cannery Seafood Wastewater Treatment*, Paper presented at the 2015 Advancement Research on Biotechnology, and Biofuels International Conference (AR2BIO2015), 10-12 December 2015, Medan, Indonesia.

Jijai, S., Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N. and Siripatana, C., (2015), Effect of Granule Sizes on the Performance of UASB Reactors for Cassava Wastewater Treatment. *Energy Procedia*, 79(1), 90-97

Jijai, S., Srisuwan, G., O-Thong, S., Ismail, N. and Siripatana, C., (2016), Effect of Substrates and Granules/Inocula Sizes on Biochemical Methane Potential (BMP) and Methane Kinetics, *Iranica Journal of Energy and Environment*, 7(2), 94-101

Jijai, S., O-Thong, S., Ismail, N. and Siripatana, C., (2016), Kinetic Models for Prediction of COD Effluent from Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor for Cannery Seafood Wastewater Treatment. *Jurnal Teknologi, 78(5-6), 93-99*

นักวิจัยร่วมโครงการ

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ผศ.ดร. ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ
   (ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr.Chairat Siripatana
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน; 5809990010301
3. ตำแหน่งปัจจุบัน; ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก; สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ต.ไทรบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80161 โทรศัพท์, 075-672304 โทรสาร 075-672399 E-mail: schairat@wu.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2524	ตรี	ว.ทบ.	อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ไทย
2529	โท	M.App.Sc.	Food Engineering	U. of New South Wales	Australia
2535	เอก	Ph.D.	Chemical Engineer	U. of Queensland	Australia

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   - วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ (Bioprocess Engineering)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
   - 1984 – 1986 Mass transfer in the reversing counter -current extractor
   - 1987 – 1988 Solute infusion in food processing, Heating process evaluation of canned food
   - 1988 – 1992 Rheology of Biopolymers, Mixing of rheological complex fluid in stirred tank reactors.
   - 1993 – 1998 On-line monitoring and control of acetone-butanol fermentation (JICA, Japan),
   - 1996 – 1999 The development of system for studying fluid mechanics by video-particle tracking technique and flow simulation in bioreactors (STDB, Thailand)
   - 1988 – 1999 The extraction of juice from waste derived from pineapples industry.

- 1999 – 2002 The L-lactate recovery by electrodialysis and crystallization (RITE-NEDO, Japan)
- 2004 – 2007 Mangosteen grading and classification by image processing techniques
- 2007 - 2012 Solute diffusion in fruit, vegetable and cereal processing.
- 2013 – ปัจจุบัน Control and Optimization of Industrial Biogas Plant

ผลงานทางวิชาการ

1. **Siripatana, C.,** Abeygunawardena, I., Mackay, M.E. And Greenfield, P.F. (1989). Rheological properties of xanthan during fermentation. *Proc. Eighth Australian Biotech. Conf*. , Sydney, 259-262.
2. **Siripatana, C.,** Abeygunawardena, I., Mackay, M.E. Doelle, H.W. And Greenfield, P.F. (1989). Genetic and environmental effects on the rheological properties of xanthan gum fermentations. *CHEMECA 89*, Gold Coast, Qeensland, Australia. 836 – 843.
3. **Siripatana, C.,** Sailah, I., Mackay, M.E. and Greenfield, P.F. 1991. Mixing performance of an agitated reactor by using an image processing method. *CHEMICA 91*, Newcastle, Australia. 136-142.
4. **Siripatana, C.** 1997. Solute diffusion in fruit, vegetable and cereal processing I: Simplified solutions for diffusion in anomalous shapes. *Songkhlanakarinn J. Sci. Technol.*, 19, 77-88.
5. **Siripatana, C.** and Suparanon, N. 1997. Solute diffusion in fruit, vegetable and cereal processing II: Simplified solution of continuous counter-current diffusion. *Songkhlanakarin J. Sci. Technol.*, 19, 89-99.
6. Chauvatcharin, S., **Siripatana, C.,** Seki, T., Takagi, M. and Yochida, T. (1998). Metabolism analysis and on-line physiological state diagnosis of acetone butanol fermentation. *Biotechnol. Bioeng*. 58, 561-571.
7. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** (2006). Drying Characteristics of *Garcinia atrovidis*. *Walailak J. Sci. & Tech.* 3(1), 13-32.
8. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** Osmotic dehydration of bilimbi fruit *(Averrho*

bilimbi) atroviridis. *Proceeding of the International Conference of Agricultural, Food, and Biological Engineering* . Organized by TSAE in association with ABSAE, Khon Khaen , 24-26 January 2006

9. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** Mass transfer properties of garcinia fruit acids. *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand (STT33)* Nakhon Si Thammarat, Thailand. October 18-20, 2007.
10. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** Diffusion properties of garcinia fruit acids. *Walailak Journal of Sci. and Tech.* 2008; 2(4).
11. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** The influence of operating temperature on mass transfer characteristics during diffusion process of bilimbi fruit. *Walailak Journal of Sci. and Tech.* 2009; 3(6), 59-78
12. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** Effect of some operating parameters on the reversing continuous countercurrent extraction process. *Walailak Journal of Sci. and Tech.* 2009; 6(2), 203-216
13. Rittirut, W., Thongurai, C. and **Siripatana, C.** Mathematical simulation of solid-liquid diffusion in continuous countercurrent extraction process: Part I-Modeling development. *International Journal of Chemical Reactor Engineering.* 2010; vol.8 Article A112, 1-35
14. Rittirut, W., Thongurai, C. and **Siripatana, C.** Mathematical simulation of solid-liquid diffusion in continuous countercurrent extraction process: Part II-Modeling verification and its application *International Journal of Chemical Reactor Engineering.* 2010; vol.8 Article A113, 1-28
15. Rittirut, W. and **Siripatana, C**. Effect of the shape factor as an input variable on the extraction process for a reversing continuous countercurrent extractor. *Walailak Journal of Sci. and Tech.* 2010; 7(2), 141-153
16. **Siripatana, C.** Rittirut, W. and Thummadetsak, T. The backmixing –diffsuion concept for mass transport phenomena of pineapple juice extraction using a reversing continuous countercurrent extractor. *International Journal of Scientific and Engineering Research.* 2012; vol.3, Issue 5, May-2012, 1-10.
17. Rittirut, W. and **Siripatana, C.** The rate limiting mechanism and backmixing

extent for juice extraction in continuous countercurrent extraction system. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.* 2013 (in press).

18. Jijai, S., Srisuwan, G., O-thong, S., Ismail, N. and **Siripatana, C.** Effect of Granule Sizes on the Performance of UASB Reactors for Cassava Wastewater Treatment. Energy Procedia. 2015

19. Jijai, S., Srisuwan, G., O-thong, S., Ismail, N. and **Siripatana, C.** Effect of Substrates and Granules/Inocula sizes to Biogas Production in Anaerobic Batch Digestion. Iranica Journal of Energy and Environment. 2015

20. Hawae, P. Sumanatrakul, P., Chusri, N. and **Siripatana, C**. Nano-Calcium Carbonate Synthesis from Cockle Shell Via Rapid Expansion of Supercritical Solution Technique. Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015)

YALA RAJABHAT UNIVERSITY