

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

An appropriate condition of the process of producing biogas reaction



จัดทำโดย

นาย สกานต์ ศิริมะณีวัฒนา

รหัสนักศึกษา 47040176

นาย วรรณะ ชมตร

รหัสนักศึกษา 47040850

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

๗พ.  
๗/๒๓๙  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 85398

วัน,เดือน,ปี..... ๓๓ พ.ย. ๒๕๕๑

b..... 12010248
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

สถานะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

An appropriate condition of the process of producing biogas reaction

จัดทำโดย

นาย สกานต์ ตีริมะณีวัฒนา รหัสนักศึกษา 47040176

นาย วรรณะ ชมศรี รหัสนักศึกษา 47040850

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร. กิตติชัย บรรจง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาย สกานต์ ศิริมะณีวัฒนา และ นาย วรรณะ ชมศร 2550 :สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยา  
การเกิดก๊าซชีวภาพ ( An appropriate condition of the process of producing biogas  
reaction ). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชา อุตสาหกรรมเกษตร และ เทคโนโลยีการ  
หมัก คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
อาจารย์ที่ปรึกษา : คร. กิตติชัย บรรจง

### บทคัดย่อ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันนั้นยิ่งทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ  
โดยเฉพาะ น้ำมันที่ใช้กันหมดไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นนานาประเทศจึงหันมาให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทน อาทิ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ  
เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงพลังงานจากก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆในสภาวะไร้อากาศ  
โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายซึ่งในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดสอบสภาวะที่เหมาะสม  
ของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพของตัวแทนอาหารทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง (โปรตีน)  
เส้นขนมจีน (คาร์โบไฮเดรต) น้ำมันเก่า (ไขมัน) ซึ่งจากการทดลองขั้นต้นโดยการใช้ระบบ  
ถังหมักแบบอัตราค่าพบว่าถั่วเหลืองและเส้นขนมจีนสามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้แต่  
เส้นขนมจีนจะมีอัตราการเกิดที่สูงกว่าถั่วเหลือง ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวันจะลดลงอย่าง  
รวดเร็ว ส่วนถั่วเหลืองเกิดได้น้อยกว่าเส้นขนมจีนแต่อัตราการเกิดค่อนข้างคงที่และลดลง  
อย่างช้าๆ ส่วนไขมันนั้นเกิดการแยกชั้นกันจนไม่สามารถผลิตก๊าซออกมาได้ จากนั้นได้ทำ  
การทดลองต่อโดยการปรับค่า pH และความเข้มข้นของอาหารที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่ง  
จากการทดลองพบว่าถั่วเหลืองที่มีค่า pH 6.60 และ pH 7.80 สามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ  
ได้ดี ส่วนของเส้นขนมจีนนั้นสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีในช่วง pH 3.36 และ pH 7.69  
และความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อนั้นจะต้องใส่ในปริมาณที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อย  
เกินไปจึงจะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นดำเนินไปได้ด้วยดีแต่เส้นขนมจีนนั้น  
สามารถเกิดได้ในน้ำที่มีความเข้มข้นสูงกว่าถั่วเหลือง

.....  
.....

ลายมือชื่อนักศึกษา

.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

.....19../...03../...2550..

วัน/เดือน/ปี

## กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาปัญหาพิเศษเรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้ทำการนำเสนอปัญหาพิเศษ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คร.กิตติชัย บรรจง ซึ่งเป็นที่อาจารย์ที่ปรึกษาปรึกษางานปัญหาพิเศษของคณะผู้จัดทำ ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำปรึกษาและแนะนำ พร้อมทั้งให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนที่ยังบกพร่อง ทำให้รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ช่วยให้การสัมมนาครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบคุณพ่อ แม่ ผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้งานสำเร็จลงได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญ ขอขอบพระคุณ บริษัทมาลีสามพรานที่ให้เชื่อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในคณะทุกคนที่ให้กำลังใจและการช่วยเหลือมาโดยตลอด

นาย สกานต์ ศิริระณีวัฒนา

นาย วรณะ ชมศร

มีนาคม 2551

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis)	5
2.2 การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)	6
2.3 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental factor)	7
2.5 การใช้แก๊สชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า	12
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	13
3.1 แหล่งจุลินทรีย์	13
3.2 สารละลายน้ำถั่วเหลือง สารละลาย น้ำขมจีน และน้ำไขมัน	13
3.3 ระบบถังหมัก	14
3.4 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี	16
3.5 การดำเนินงานการศึกษา	16
3.6 เก็บข้อมูล และการวิเคราะห์	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง	18
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	33

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของอาหารทั้ง 3 ชนิด ( ถั่วเหลือง , แป้ง , ไขมัน )	18
4.2 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของถั่วเหลืองที่ pH ต่างกัน	19
4.3 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่างกัน	20
4.4 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของเส้นขนมจีนที่ pH ต่างกัน	21
4.5 แสดงผลการเกิดก๊าซมีเทนของเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นต่างกัน	22
4.6 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ pH 5.02, 5.80, 6.60 และ 7.80	25
4.7 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น อัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4	27
4.8 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้นขนมจีนที่ pH 3.36 , 4.27 และ 7.69	28
4.9 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน น้ำประปา : น้ำเส้นขนมจีน 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4	29

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	แสดงถึงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	3
2.2	กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน	4
2.3	กรรมวิธีในการกวนของเหลว	10
3.1	ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2	สารละลายถั่วเหลืองและสารละลายขนมจลิน ที่ปรับ pH และ เจือจางแล้ว	14
3.3	ระบบหมักแบบอัตราต่ำ ( Low rate digester )	14
3.4	แผนภาพระบบหมักแบบอัตราต่ำ ( Low rate digester )	15
3.5	ลักษณะขวดที่ใช้ผลิตก๊าซและเก็บก๊าซ	15
4.1	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของถั่วเหลือง , เส้นขนมจลิน , ขนมัน	23
4.2	ระบบถังหมักอัตราต่ำของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพของขนมัน	24
4.3	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของถั่วเหลืองที่ pH 5.02, 5.80, 6.60 และ 7.80	25
4.4	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4	26
4.5	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของเส้นขนมจลินที่ pH 3.36 , 4.27 และ 7.69	27
4.5	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของเส้นขนมจลินที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำเส้นขนมจลิน 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4	29
5.1	การเข้าทำปฏิกิริยาของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะกรด และ เบสอ่อน	32

# บทที่ 1

## คำนำ

### 1.1 บทนำ

ปัจจุบัน โลกเริ่มประสบกับวิกฤตการณ์ของพลังงาน อันเนื่องมาจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้นานาประเทศต้องเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานอื่นๆ เพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน แหล่งพลังงานที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ได้แก่ พลังงานทดแทน (Renewable energy) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) แสงอาทิตย์ ลม คลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน การผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหามลพิษ โดยลดปริมาณของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกไปสู่แวดล้อมอีกด้วย

ปัญหาพิเศษเรื่อง กระบวนการตรวจสอบและพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพ (Detecting and development processing of Biogas production) เรื่อง การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน (Biogas Production Form Pineapple peel by Two – stage Anaerobic Digestion) ในปีการศึกษา 2548 ของ นางสาว ชัชชลัยย์ สมิทธิชัย , นาย พัฒพงษ์ เจริญผล และ นาย ырรอง รัชตะเมธี ซึ่งจากการได้ศึกษาพบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประรด โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน นั้นกระบวนการดังกล่าวยังขาดความต่อเนื่องกันของกระบวนการผลิต เกิดปัญหาในเรื่องของความดันสัมบูรณ์ของน้ำเป็นผลทำให้เกิดกากน้ำ และยังมีมองเห็นว่าก๊าซชีวภาพนั้นสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบอื่นอีกมาก ดังนั้นจึงต้องการศึกษาว่า วัตถุดิบประเภทไหน ที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพดีกว่ากัน (ในที่นี้ หมายถึง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน) อีกทั้งต้องการทดสอบกับน้ำเสียของโรงงานจริงๆว่ามีผลอย่างไรกับกระบวนการซึ่งรวมถึงการตรวจสอบค่าต่างๆในน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณของแข็งในน้ำเสีย , ค่าออกซิเจนละลายน้ำ , ค่าบีโอดี และค่าซีโอดีว่ามีผลเช่นใด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาหาอาหารเลี้ยงเชื้อ (น้ำเสีย) ที่แตกต่างกันว่าอาหารชนิดไหนเหมาะสมที่สุดสำหรับ จุลินทรีย์
2. เพื่อศึกษาระบบของการเกิดปฏิกิริยาก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสมกับโรงงานที่นำไปใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ
3. เพื่อศึกษาระยะเวลาของการเกิดก๊าซของอาหารเลี้ยงเชื้อ (น้ำเสีย) ในระดับpH ที่มีความแตกต่างกัน และระดับการเจือจางที่ต่างกันของอาหารเลี้ยงเชื้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

ก๊าซมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ  $35,800 \text{ kJ/m}^3$  ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ที่มีสัดส่วนก๊าซมีเทน 65% ให้ค่าความร้อนประมาณ  $22,400 \text{ kJ/m}^3$  ปริมาณความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) หรือระดับความบริสุทธิ์ของก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติที่ส่วนผสมของก๊าซ Methane, Propane และ Butane ให้ค่าความร้อนประมาณ  $37,300 \text{ kJ/m}^3$

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในสภาวะไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจจะมีก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่เล็กน้อย แต่ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาวะของการหมัก

โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ก๊าซออกซิเจน 0-1%

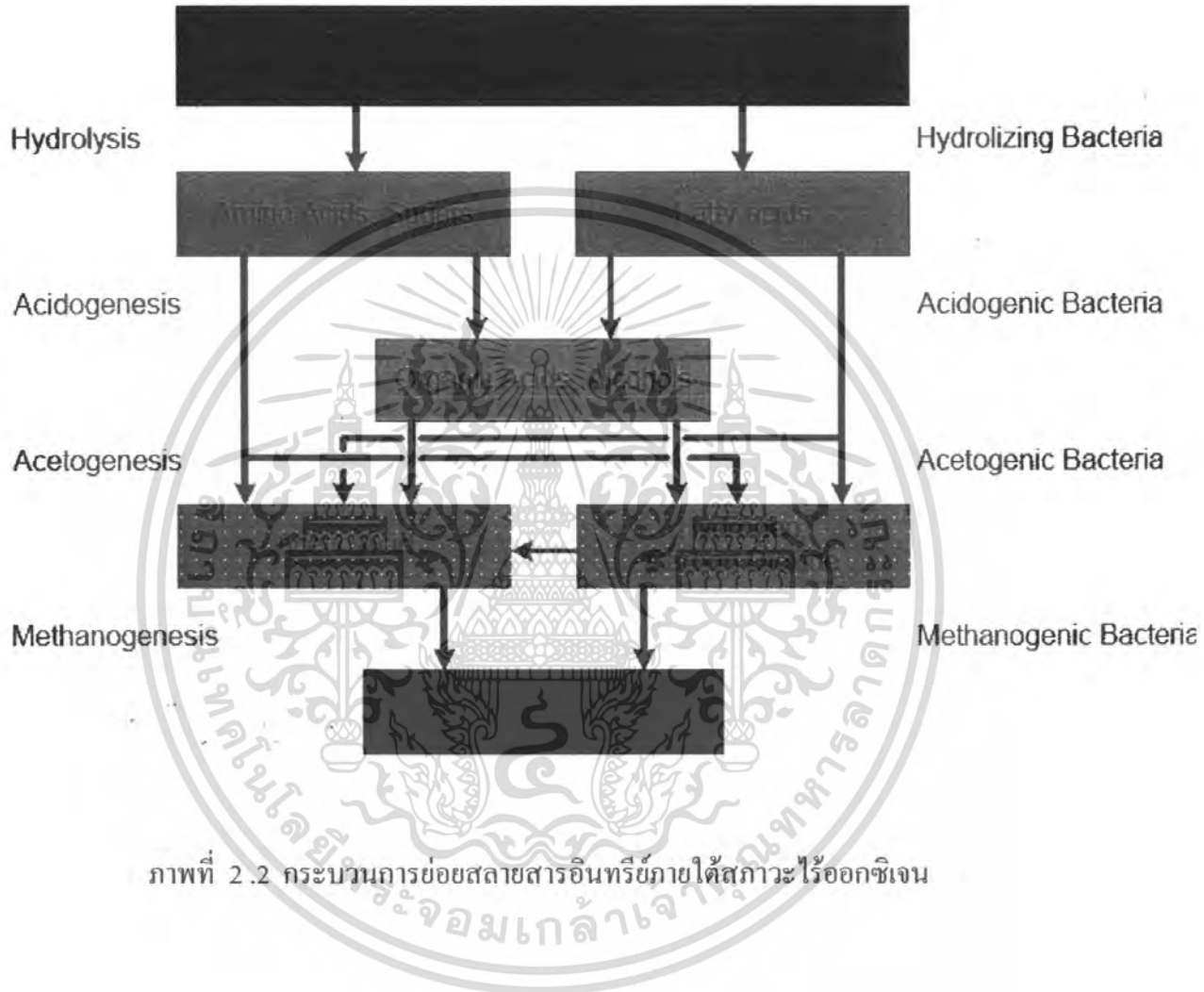
ก๊าซไนโตรเจน 0-8%

ภาพที่ 2.1 แสดงถึงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

หมายเหตุ\*\*\* ก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ จะต้องมิก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่า 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ใช้จุลินทรีย์หลายจำพวกในการย่อยสลายซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนได้เป็น 3 ขั้นตอน



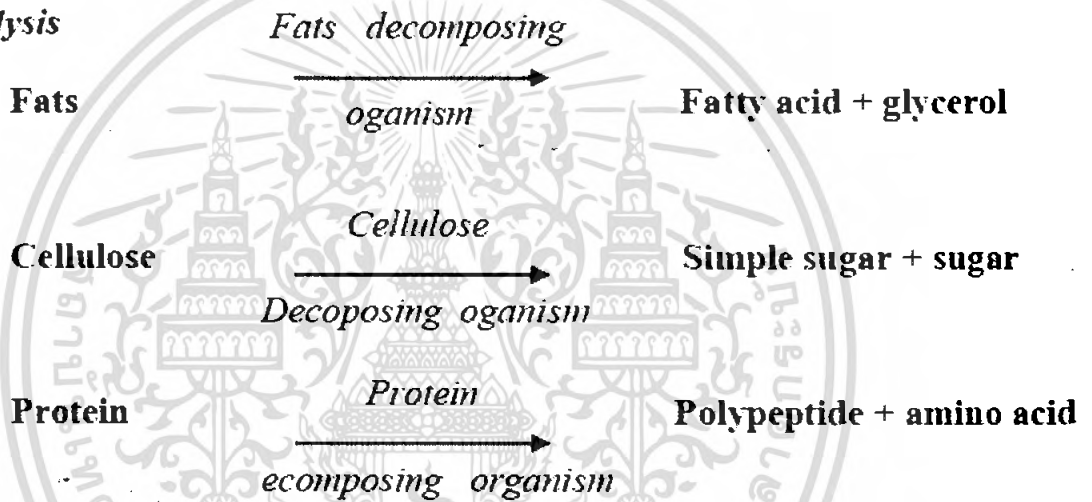
ภาพที่ 2.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ ( Hydrolysis )

สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและขนาดโมเลกุลใหญ่ ( Polymer ) ทั้งที่สามารถละลายน้ำ และไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ถูกทำให้ละลายน้ำโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งใช้เอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ( Extracellular enzyme ) ของแบคทีเรียจำพวก hydrolytic bacteria เช่น proteolytic enzyme , cellulolytic enzyme และ lipolytic enzyme เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน โมเลกุลเดี่ยว ( Monomer ) ที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล

### Hydrolysis



การหมักกรดอินทรีย์ระเหย และการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นกรดอะซิติก(

### Acidogenesis and Acetogenesis )

ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเดี่ยวในขั้นตอนแรก จะถูกแบคทีเรียพวกสร้างกรด ( acidogenic bacteria ) ดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ ซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานโดยกระบวนการหมัก( fermentation ) ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น acitic acid , formic acid , butyric acid , propionic acid , isobutyric acid , valeric acid , isovaleric acid เป็นต้นนอกจากนี้ยังได้แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จะถูกเปลี่ยนโดย acitogenic bacteria ให้กลายเป็นอะซิเตท ( acetate ) ฟอร์เมท (formate) ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย และ ไฮโดรเจนในปริมาณที่สูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนได้

กรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในถังหมักกรด ได้แก่ กรดอะซิติก ( acitic acid ) และมี Propionic acid , butyric acid , isovaleric acid เพียงเล็กน้อย ซึ่งเท่ากับ 52 , 14 , 27 , 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 2.2 การสร้างก๊าซมีเทน ( Methanogenesis )

ในขั้นตอนนี้ อะซิเตท ฟอร์เมท ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทน ( mathanogenic bacteria ) ย่อยสลาย โดยนำสารเหล่านี้ไปใช้เป็นสารอาหาร และแหล่งพลังงาน แล้วเปลี่ยนให้เป็นก๊าซต่างๆ ซึ่งก๊าซสำคัญ ได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น 2 ใน 3 มาจากการใช้อะซิเตท นอกจากนี้จะเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบางส่วนอาจเกิดจากฟอร์เมท ( formate ) เมทานอล ( methanol ) และเมทิลลามีน ( methylamine ) ( Balch et. al., 1979 )

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้ไม่ละลายน้ำ จึงสามารถที่จะเก็บแล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะออกไปในรูปของก๊าซ และบางส่วนก็ละลายน้ำแล้วทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน ( OH<sup>-</sup> ) ในระบบเกิดเป็นไบคาร์บอเนตไอออน ( HCO<sub>3</sub> ) ผลของการหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์นี้ทำให้เกิดผลต่อองค์ประกอบต่างๆ ในระบบ เช่น pH ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหาร เป็นต้น อัตราการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซมีเทน จะเป็นตัวกำหนดการเพิ่มอัตราการป้อนสารอินทรีย์ เนื่องจากว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยจะทำให้ pH ลดต่ำลง และเกิดการล้มเหลวของระบบได้ แต่การควบคุมก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะรักษาความสมดุลในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ไปเป็นก๊าซมีเทน

## 2.3 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ( Environmental factor )

### 2.3.1. อุณหภูมิ ( Temperature )

การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ อุณหภูมิระหว่าง 30 – 40 °C ( Mesophilic temperature ) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้ เรียกว่า Mesophilic bacteria และอุณหภูมิระหว่าง 50 – 60 °C ( Thermophilic temperature ) จุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วงนี้เรียกว่า Thermophilic bacteria ( Kim *et al.*, 2002 ) ในช่วง Thermophilic temperature อัตราเร็วของปฏิกิริยา และประสิทธิภาพของระบบจะมากกว่า ในช่วง Mesophilic temperature ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์สั้นลง และลดปริมาณถังหมักลง ( Pagilla *et al.*, 2000 ; Zupancic and Ros , 2003 ) แต่ระบบการหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสีย คือ Thermophilic bacteria ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า Mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวสูง และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของระบบอีกด้วย ซึ่งเมื่อคำนึงถึงจุดนี้แล้ว ระบบการหมักที่อุณหภูมิต่ำน่าจะเหมาะสมต่อประเทศไทยมากกว่า เพราะสภาพอากาศของประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงนี้

### 2.3.2 .ความเป็นกรดต่าง ( pH )

pH เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญของระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนที่ต้องรักษาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ประมาณ 6.5 – 7.5 ( Acher and Kirsop , 1991 ) ถ้า pH มีค่าต่ำ หรือสูงกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง และถ้า pH ของระบบมีค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะที่สภาวะนี้จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้ใช้กรดอินทรีย์ระเหยไม่ทัน ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหย pH จึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว และถ้า pH ลดต่ำลงถึง 4.5 – 5.0 จะทำให้ Methanogenic bacteria หยุดการเจริญเติบโต ซึ่งสามารถป้องกันโดยการเติมสารเคมีพวกต่าง ๆ ลงไป เช่น ปูนขาว ( CaO ) โซเดียมไบคาร์บอเนต ( NaHCO<sub>3</sub> ) โซดาไฟ ( NaOH ) และ โซเดียมคาร์บอเนต ( Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ) เป็นต้น หรืออาจจะลดสารอินทรีย์ที่เข้าระบบลง ในการใช้ต่าง แก่ หรือคาร์บอเนตในการปรับสภาพ จะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเกิดสมดุลชั่วคราว เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถูกดึงเข้าไปทดแทน

คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ เพื่อสร้างด่างไบคาร์บอเนต ทำให้ pH เพิ่มขึ้น แต่เมื่อแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาแทนที่ จะทำให้จุดสมดุลเคลื่อนไปจนกระทั่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำสมดุลกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

### 2.3.3. กรดอินทรีย์ระเหย ( Volatile fatty acid , VFA )

กรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกที่สร้างกรด ซึ่งถูกแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหาร และแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะมีส่วนสำคัญต่อค่า pH ของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้น pH จะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่าย ไม่ควรเกิน 4,000 mg/L ( สรพล. 2530 ) Buswell and Mueller ( 1952 ) กล่าวว่า กรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2,000 mg/L ถ้ามีค่าเกินกว่านี้ จะมีผลทำให้ปริมาณก๊าซลดลง และอาจจะยับยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน โดยไม่คำนึงถึง pH เลย และการเติมด่างก็ไม่ช่วยให้ดีขึ้น

### 2.3.4. ความเป็นด่าง ( Alkalinity )

เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงปริมาณ Buffering capacity ของระบบ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยภายในระบบสูงขึ้น ความเป็นไบคาร์บอเนตก็จะถูกทำลายไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่า pH ลดลง สำหรับค่าไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้มีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์อย่างเพียงพอ อยู่ในช่วงระหว่าง 2,500 – 5,000 mg/L ( Graef and Andrews, 1974 )

### 2.3.5. สารอาหาร ( Nutrient )

สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก ( Macronutrient ) ได้แก่ คาร์บอน ( C ) ไนโตรเจน ( N ) ฟอสฟอรัส ( P ) และกำมะถัน ( S ) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนในการสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ( McCarty and McKinney . 1961 ; Gosh *et. al.* , 1978 ) ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 และค่า C : N ประมาณ 20 – 30 : 1 ส่วนสารอาหารรองได้แก่ แคลเซียม ( Ca )

แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และ นิกเกิล (Ni)

### 2.3.6. สารพิษ (Toxic substrate)

สารบางอย่างถ้ามีมากเกินไป จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารพิษ

## 2.4 ปัจจัยทางด้านการทำงาน (Operational factor)

### 2.4.1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic loading rate, OLR)

เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน การปรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ให้มีค่าแตกต่างกัน ทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่ไหลผ่านถังหมัก หรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็ง หรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปในระบบ ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนสารอินทรีย์จะมีผลกระทบต่อระยะเวลาเก็บกักด้วย

### 2.4.2 ระยะเวลาเก็บกัก (Hydraulic retention time, HRT)

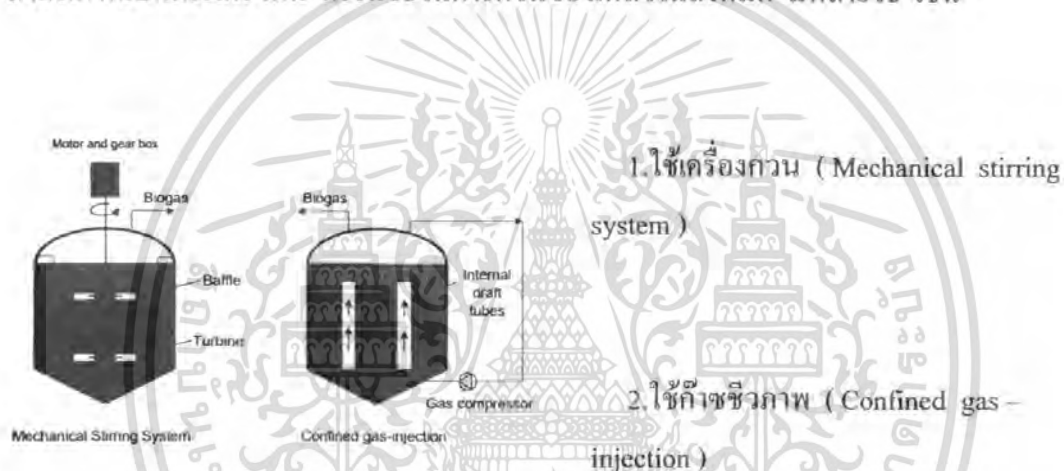
เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเก็บกักสารอินทรีย์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบ (wash out) ในอัตราที่เร็วกว่าจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้น (Yilmazer and Yenigun, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากระบบได้โดยการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานมากขึ้น นอกจากนี้ระยะเวลาจะเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือ ระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก

ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในระบบ (Solid retention time, SRT) หมายถึง มวลของของแข็งภายในระบบ หาคด้วยมวลของของแข็งที่ปล่อยออกจากระบบต่อวัน ในถังหมักแบบธรรมดาที่ไม่มีการหมุนเวียนตะกอน ระยะเวลาที่จุลินทรีย์อยู่ในถังหมักจะเท่ากับระยะเวลาเก็บกัก

เก็บน้ำเสีย (  $SRT = HRT$  ) แต่ถ้าในถังมีการหมุนเวียนตะกอน จะทำให้จุลินทรีย์อยู่ในระบบมากกว่าระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (  $SRT > HRT$  )

### 2.4.3 การกวน ( Mixing )

การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่าง อาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่างๆ ของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก มีหลายวิธี เช่น



ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีในการกวนของเหลว

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (Gas Purification) ก่อนการนำไปใช้งานมีข้อที่ควรพิจารณา ดังนี้

#### 1. การดักน้ำในท่อส่งก๊าซชีวภาพ

ปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมี ความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัว เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านท่อส่งก๊าซที่ฝังอยู่ในดินที่มีอุณหภูมิต่ำมักจะทำให้ความชื้น(ไอน้ำ) ในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซไปตามท่อได้ ดังนั้นต้องมีการติดตั้งชุดดักน้ำก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

#### 2. ปรบัลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

การปรับลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากก๊าซชีวภาพนี้จะปฏิบัติก็ต่อเมื่อมีความจำเป็น เช่น ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพที่ได้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ต่ำมากจนอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับที่จุดไฟติดยาก คือประมาณเปอร์เซ็นต์  $\text{CH}_4$  น้อยกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ แต่ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกรนั้น ไม่มีปัญหาในเรื่องนี้ ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จึงไม่จำเป็น

### 3. การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )

การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษและเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอกรดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้ประโยชน์นั้นจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปและจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ใช้ก๊าซด้วย

#### ประโยชน์ของบ่อแก๊สชีวภาพ

1. ด้านพลังงาน เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจแล้ว การลงทุนผลิตแก๊สชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้า แก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

1. ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเดือดได้
2. ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60-100 วัตต์ ลูกใหม่ได้ 5-6 ชั่วโมง
3. ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์
4. ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง
5. ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

#### 2. ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

โดยการนำมูลสัตว์ และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อแก๊สชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยงทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลงและผลจากการหมักมูลสัตว์ ในบ่อแก๊สชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาต์ และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไป ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

## ด้านการเกษตร

1. การทำเป็นปุ๋ย ปากที่ได้จากการหมักแก๊สชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่า มูลสัตว์สด ๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบ ไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้ง แล้วนำไปผสม เป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้ก็มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อ ส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิต อีกด้วย

### 2.5 การใช้แก๊สชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้า

ก่อนที่เราจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้า เราจำเป็นต้องรู้ก่อนว่าขนาดบ่อหมักบรรจุแก๊สได้ กี่ลูกบาศก์เมตร และจำนวนที่ใช้กระแสไฟฟ้าในฟาร์ม จากนั้นจึงคำนวณหาอุปกรณ์ที่จะใช้ ดัง กรณีตัวอย่างบ่อแก๊สชีวภาพแบบปลั๊ก โพล์ว ขนาดบ่อหมักซึ่งมีปริมาตร 170 ลูกบาศก์เมตร ซึ่ง ชุดของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 เครื่องยนต์ ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ (เครื่องยนต์ใช้แล้ว) ความจุ กระบอกสูบ เท่ากับ 198 ลูกบาศก์เซนติเมตร สัดส่วนการอัดอากาศต่อแก๊สชีวภาพ 8.2:1 มีกำลัง 91 แรงม้า ที่ 4,800 รอบ/วินาที แรงบิดสูงสุด เท่ากับ 160 นิวตันเมตร ที่ 3,200 รอบ/นาที

2.5.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 13 กิโลวัตต์ ใช้ไฟ 3 สาย แรง ขับเคลื่อนไฟฟ้า 380 โวลต์ ปริมาณไฟฟ้า 30 แอมแปร์

2.5.3 เครื่องควบคุมวงจรไฟฟ้า วัตถุประสงค์ที่ติดตั้งเพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าตกหรือสูง เกิน ไปหรือในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ หรือสูงไม่เป็นไปตามปกติ

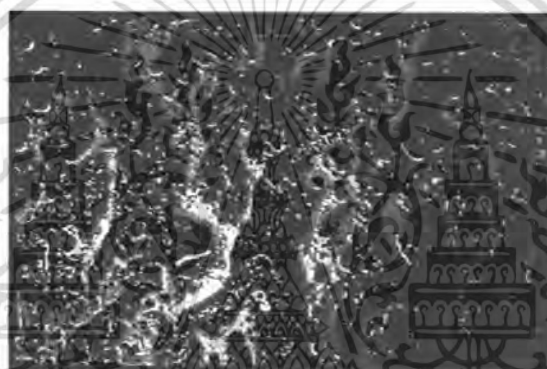
ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดนี้ได้ออกแบบมาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 30-50% ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องการใช้โดยผลิตได้ 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อแก๊ส 1 ลูกบาศก์เมตร กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องสูบน้ำขนาด 15 แรงม้า เครื่องผสมอาหาร 5 แรงม้า เครื่องบดอาหารขนาด 20 แรงม้า ซึ่งโดยปกติจะทำงาน ไม่พร้อมกัน

## บทที่ 3

### ขั้นตอน และวิธีการทดลอง

#### 3.1 แหล่งจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง คือ จุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ (Sludge) ของเชื้อผสม จากบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน บริษัท มาลีสามพราน จำกัด (มหาชน) ตำบลยายชา อำเภอ สามพราน จังหวัด นครปฐม



ภาพที่ 3.1 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2 สารละลายน้ำถั่วเหลือง สารละลาย น้ำขนมจีน และน้ำไขมัน

3.2.1 สารละลายน้ำถั่วเหลืองเตรียมได้จากการนำเอาถั่วเหลืองมาแช่ไว้ในน้ำประปา 9 ลิตรทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน และนำน้ำที่ได้มากรองกากของถั่วเหลืองออก นำไปวัดค่า pH เริ่มต้น และ เก็บสารละลายน้ำถั่วเหลืองไว้ทดลอง

3.2.2 สารละลายน้ำขนมจีน เตรียมได้จาก ใช้เส้นขนมจีน 1 กิโลกรัม แช่ในน้ำ 9 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำน้ำสารละลายขนมจีนกรองเอาเส้นขนมจีนออก นำไปวัดค่า pH เริ่มต้นและ เก็บสารละลายน้ำขนมจีนไว้ทดลอง

3.2.3 สารละลายน้ำไขมัน เตรียมจากการซื้อน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วจากร้านอาหาร และ นำมาผสมกับน้ำประปา 4 ลิตร เขย่าให้เข้ากัน และเก็บไว้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้สารละลายชนิดต่างๆมาแล้ว นำ สารละลายมาปรับ pH โดยใช้  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ปรับที่ระดับ pH ต่างกัน โดยสารละลายถั่วเหลือง (โพรตีน) ปรับ pH เป็น 7.80 , 6.60 , 5.80 , 5.02 ตามลำดับ และสารละลายขมจีน (คาร์โบไฮเดรต) ปรับ pH เป็น 7.69 , 5.88 , 4.27 , 3.36 ตามลำดับ และ นำสารละลายทั้ง 2 ชนิดมาทำการเจือจาง ด้วยน้ำประปาอัตราส่วน 1:1 , 1:2 , 1:3 , 1:4 นำสารละลายที่ได้ทั้งหมด เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อทดลอง



ภาพที่ 3.2 สารละลายถั่วเหลืองและสารละลายขมจีน ที่ปรับ pH และ เจือจางแล้ว

หมายเหตุ ไม่ได้นำน้ำมันที่ผ่านการ ใช้แล้วมาทำการปรับ pH และ เจือจางเพราะ การทำการทดลองขั้นต้นแล้วไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจาก น้ำมันไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้

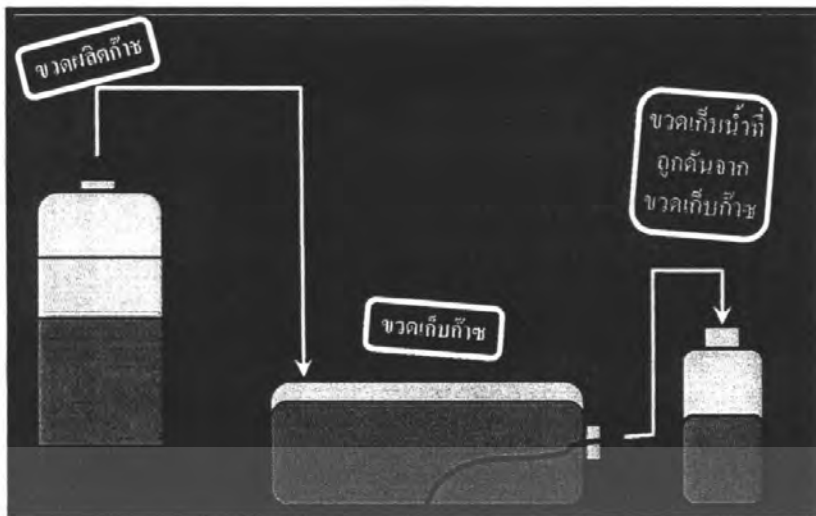
### 3.3 ระบบถังหมัก

ถังหมักที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดเป็นแบบห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) ระบบทั้งที่ใช้คือระบบถังหมักแบบอัตราต่ำ ( Low rate digester ) แสดงดังรูปประกอบด้วย



ภาพที่ 3.3 ระบบหมักแบบอัตราต่ำ ( Low rate digester )

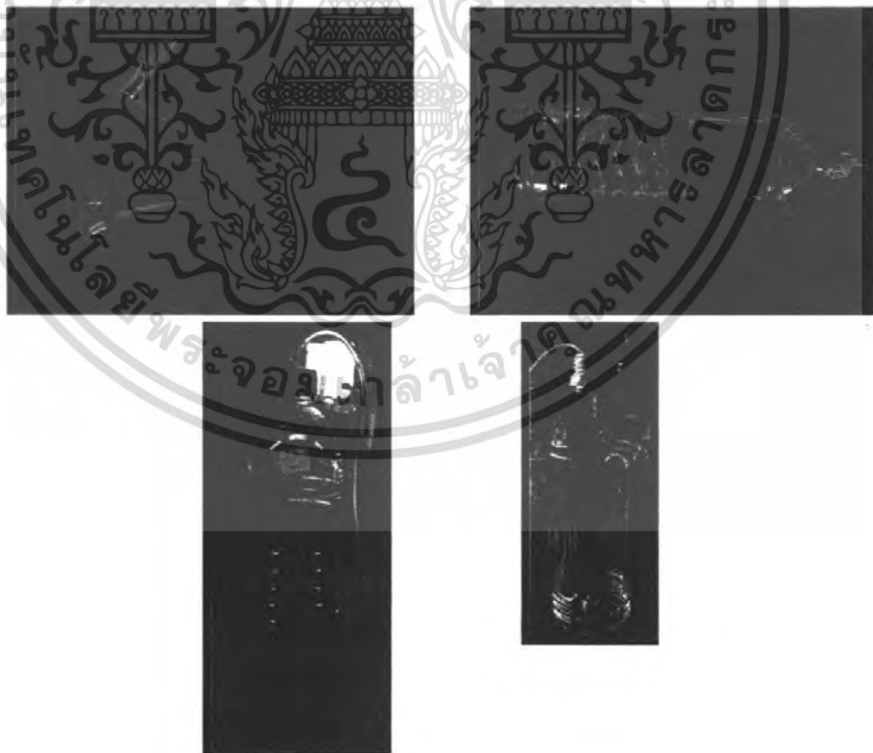
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แผนภาพระบบหมักแบบอัตราต่ำ ( Low rate digester )

### 3.3.1 ขวดผลิตก๊าซ และ ขวดเก็บก๊าซ

ใช้ขวดน้ำพลาสติกที่มีความจุ 1.5 ลิตรเจาะฝาปิดของขวดและต่อสายยางเพื่อใช้เป็นทางออกของก๊าซ และ ขวดเก็บก๊าซจะมีการเจาะทั้ง 2 ที่ คือด้านบนฝาขวด และด้านก้นขวดเพื่อใช้เป็นทางเข้าของก๊าซและทางออกของน้ำที่อยู่ในขวด



ภาพที่ 3.5 ลักษณะขวดที่ใช้ผลิตก๊าซและเก็บก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เครื่องปั่น (blender)
4. ขวดน้ำเหลือใช้ขนาด 1.5 ลิตร
5. ตะแกรง
6. สายยางขนาดเล็ก
7. ข้อต่อสี่เหลี่ยม (ต่อตรง)
8. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

### 3.5 การดำเนินงานการศึกษา

#### การทดลองที่ 1

##### 3.5.1 การเตรียมขวดหมักก๊าซ

นำขวดที่ได้เตรียมไว้แล้วใส่เชื้อจุลินทรีย์ ลงไป ปริมาตร 200 ml ใส่อาหาร 150 ml ใส่น้ำประปา 900 ml แล้วปิดฝาเขย่าให้เข้ากันรอต่อระบบต่อไป

##### 3.5.2 การเตรียมขวดเก็บก๊าซ

ใส่น้ำในขวดน้ำที่เจาะรูไว้ทั้งด้านบนฝาขวดและด้านล่างของขวด โดยใส่ปริมาตร 1.35 ml และต่อเข้ากับขวดหมักก๊าซที่เตรียมเอาไว้ โดยใช้ข้อต่อสี่เหลี่ยม และ ด้านปลายของขวด ต่อเข้ากับขวดเก็บน้ำ เพื่อเอาน้ำไปวัดปริมาตรการเกิดก๊าซ

#### การทดลองที่ 2

##### 3.5.3 การเตรียมขวดหมักก๊าซ

นำขวดที่ได้เตรียมไว้แล้วใส่เชื้อจุลินทรีย์ ลงไป ปริมาตร 200 ml ใส่อาหาร 300 ml ใส่น้ำประปา 750 ml แล้วปิดฝาเขย่าให้เข้ากัน โดยทำการทดลอง 2 ชั่วโมงโดยอาหารที่นำมาใช้นั้นเป็นอาหารที่มีการปรับ pH และอาหารที่มีการเจือจางที่เตรียมไว้แล้ว

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 3.5.4 การเตรียมขวดเก็บก๊าซ

ใส่น้ำในขวดน้ำที่เจาะรูไว้ทั้งด้านบนฝาขวดและด้านล่างของขวด โดยใส่ปริมาตร 1.35 ml และต่อเข้ากับขวดหมักก๊าซที่เตรียมเอาไว้ โดยใช้ข้อต่อสีเขียว และ ด้านปลายของขวด ต่อเข้ากับขวดเก็บน้ำ เพื่อเอาน้ำไปวัดปริมาตรการเกิดก๊าซ

### 3.6 เก็บข้อมูล และ การวิเคราะห์

การบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในรูปของปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (total biogas) จากระบบเก็บก๊าซ โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร ต่อ วันมีการเก็บผลทุกๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน



## บทที่ 4

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของอาหารทั้ง 3 ชนิด ( ถั่วเหลือง , แป้ง , ไขมัน )

	ถั่วเหลือง(โปรตีน)				แป้ง(คาร์โบไฮเดรต)				ไขมัน			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม
12	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0
24	21	29	25	25	21	4	12.5	13.5	0	0	0	0
36	35	42	38.5	63.5	90	67	78.5	92	0	0	0	0
48	62	61	61.5	61.5	84	87	85.5	177.5	0	0	0	0
60	42	90	66	191	60	54	57	234.5	0	0	0	0
72	43	65	54	245	52	46	49	283.5	0	0	0	0
84	40	74	57	302	56	34	45	328.5	0	0	0	0
96	35	75	55	357	60	32	46	374.5	0	0	0	0
108	42	65	53.5	410.5	45	36	40.5	415	0	0	0	0
120	37	42	39.5	450	54	37	45.5	460.5	0	0	0	0
รวม	357	543	450	450	524	397	460.5	460.5	0	0	0	0

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของถั่วเหลืองที่ pH ต่างกัน

	ถั่วเหลือง(โปรตีน)															
	pH 5.02				pH 5.80				pH 6.60				pH 7.80			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย สะสม
12	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	10	10	15	9	12	12
24	0	0	0	0	0	0	0	0	64	58	61	71	51	0	25.5	37.5
36	0	4	2	2	0	9	4.5	4.5	72	76	74	145	72	49	60.5	98
48	0	0	0	2	0	0	0	4.5	95	87	91	236	0	81	40.5	138.5
60	10	0	5	7	5	0	2.5	7	81	42	61.5	297.5	89	86	87.5	226
72	0	9	4.5	11.5	0	0	0	7	89	84	86.5	384	88	76	82	308
84	8	0	4	15.5	0	2	1	8	84	76	80	464	72	64	68	376
96	0	0	0	15.5	0	0	0	8	79	80	79.5	543.5	80	55	67.5	443.5
108	0	0	0	15.5	0	0	0	8	78	62	70	613.5	64	52	58	501.5
120	0	0	0	15.5	0	0	0	8	42	67	54.5	668	42	47	44.5	546
รวม	18	13	15.5	15.5	5	11	8	8	692	644	668	668	573	519	546	546

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่างกัน

	ถั่วเหลือง(โปรตีน)															
	อัตราส่วน 1:1				อัตราส่วน 1:2				อัตราส่วน 1:3				อัตราส่วน 1:4			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	6	0	0	0	0
24	40	10	25	25	42	50	46	46	42	51	46.5	52.5	12	7	9.5	9.5
36	42	46	44	69	76	82	79	125	67	97	82	134.5	16	14	15	24.5
48	36	57	46.5	115.5	66	67	66.5	191.5	97	82	89.5	224	6	19	12.5	37
60	34	42	38	153.5	60	59	59.5	251	76	74	75	299	12	7	9.5	46.5
72	21	24	22.5	176	57	42	49.5	300.5	80	76	78	377	6	12	9	55.5
84	26	20	23	199	47	39	43	343.5	73	69	71	448	7	0	3.5	59
96	27	19	23	222	37	42	39.5	383	63	57	60	508	0	0	0	59
108	16	21	18.5	240.5	35	39	37	420	42	51	46.5	554.5	0	16	8	67
120	19	22	20.5	261	31	24	27.5	447.5	36	43	39.5	594	0	0	0	67
รวม	261	261	261	261	451	444	447.5	447.5	576	612	594	594	59	75	67	67

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเกิดก๊าซชีวภาพของเส้นขนมจิ้งที่ pH ต่างกัน

	เส้นขนมจิ้ง ( คาร์โบไฮเดรต )											
	pH 3.36				pH 4.27				pH 7.69			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม
12	12	9	10.5	10.5	0	0	0	0	6	0	3	3
24	45	90	67.5	78	16	27	21.5	21.5	90	37	63.5	66.5
36	96	89	92.5	170.5	42	12	27	48.5	86	76	81	147.5
48	87	69	78	248.5	49	37	43	91.5	43	32	37.5	185
60	68	42	55	303.5	16	20	18	109.5	51	49	50	235
72	49	46	47.5	351	31	21	26	135.5	52	42	47	282
84	30	24	27	378	19	6	12.5	148	39	9	24	306
96	12	9	10.5	388.5	9	26	17.5	165.5	27	21	24	330
108	7	0	3.5	392	16	19	17.5	183	16	12	14	344
120	4	4	4	396	7	11	9	192	9	0	4.5	348.5
รวม	410	382	396	396	205	179	192	192	419	278	348.5	348.5

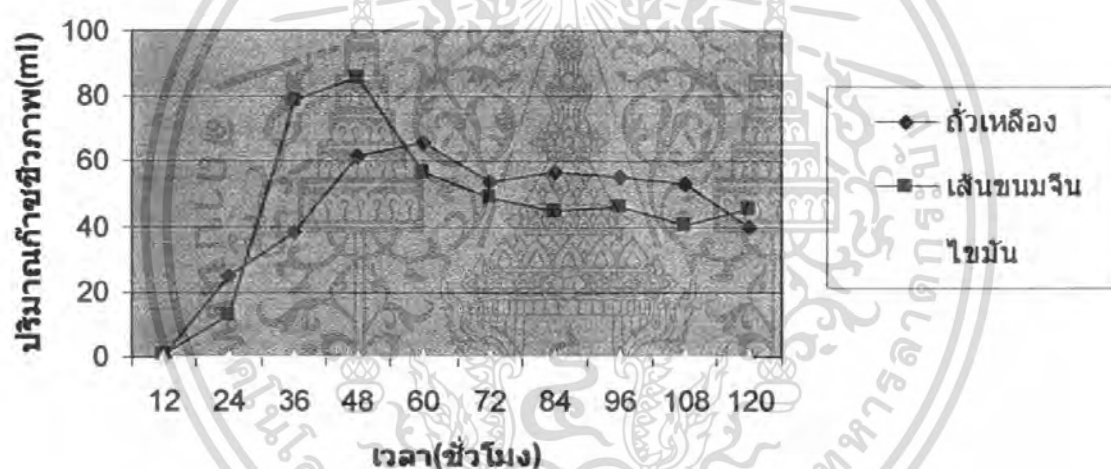
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเกิดก๊าซมีเทนของเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นต่างกัน

	แป้ง(คาร์โบไฮเดรต)															
	อัตราส่วน 1:1				อัตราส่วน 1:2				อัตราส่วน 1:3				อัตราส่วน 1:4			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย สะสม	ค่าเฉลี่ย สะสม
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3.5	3.5	7	0	3.5	3.5
24	14	6	10	10	0	9	4.5	4.5	43	32	37.5	41	62	39	50.5	54
36	32	27	29.5	39.5	7	12	9.5	14	67	69	68	109	86	76	81	135
48	17	19	18	57.5	55	36	45.5	59.5	82	49	65.5	174.5	73	85	79	214
60	0	9	4.5	62	19	9	14	73.5	68	16	42	216.5	46	46	46	260
72	10	0	5	67	13	16	14.5	88	42	29	35.5	252	65	39	52	312
84	9	8	8.5	75.5	0	8	4	92	32	9	20.5	272.5	46	52	49	361
96	16	0	8	83.5	9	4	6.5	98.5	9	16	12.5	285	27	32	29.5	390.5
108	0	0	0	83.5	0	0	0	98.5	17	9	13	298	31	29	30	420.5
120	12	0	6	89.5	5	0	2.5	101	11	4	7.5	305.5	26	34	30	450.5
รวม	110	69	89.5	89.5	108	94	101	101	371	240	305.5	305.5	469	432	450.5	450.5

#### 4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

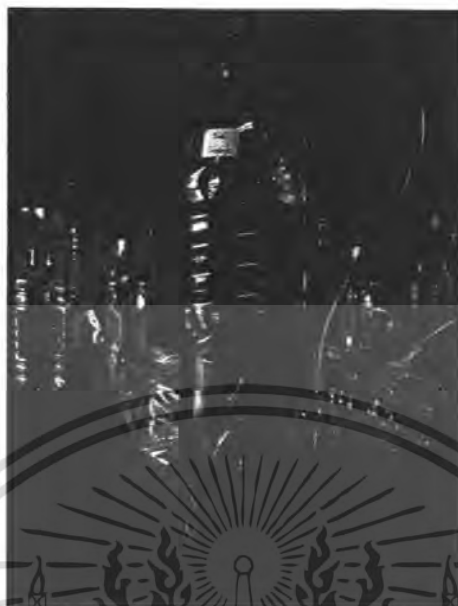
จากการทดลองขั้นที่ 1 ซึ่งเป็นการทดสอบอาหารทั้ง 3 ชนิด คือ ถั่วเหลือง (โปรตีน) เส้นขนมจีน (คาร์โบไฮเดรต) และน้ำมันเก่า (ไขมัน) นำค่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเขียนกราฟความสัมพันธ์กับเวลา (ชั่วโมง)

ภาพที่ 4.1 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมง ของถั่วเหลือง, เส้นขนมจีน, ไขมัน



จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าอาหารทั้ง 3 ชนิดจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกันซึ่งไขมันไม่สามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้เนื่องจากไขมันเกิดการแยกชั้นกันจนเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



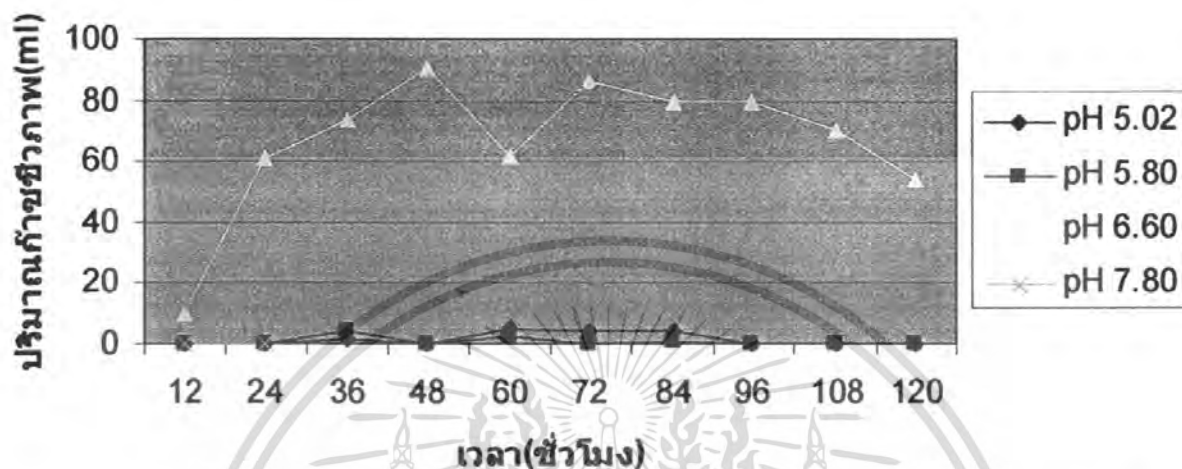
ภาพที่ 4.2 ระบบดันทันท์อัตราดำของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพของไขมัน

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นขนมจีนและถั่วเหลืองจะสังเกตเห็นว่ากราฟของเส้นขนมจีนจะมีจุดสูงสุดของกราฟสูงกว่าของเส้นถั่วเหลืองและกราฟจะลดลงอย่างรวดเร็วต่างกับของถั่วเหลือง ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างช้าๆนั้นหมายถึง เส้นขนมจีนนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าของถั่วเหลืองทำให้สารอาหารในนั้นหมดลงอย่างรวดเร็วจึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นลดลงอย่างรวดเร็ว

ในการทดลองขั้นที่ 2 เป็นการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของอาหารทั้ง 2 ชนิด คือ เส้นขนมจีน และถั่วเหลือง (เพราะเนื่องจากไขมันไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาก๊าซชีวภาพได้ เพราะฉะนั้นจึงไม่ได้นำมาทดลองต่อ) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา(ชั่วโมง)กับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นของอาหารแต่ละค่า pH และความเข้มข้นของสารอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 ถึง 120 ชั่วโมง ของถั่วเหลืองที่ pH 5.02, 5.80, 6.60 และ 7.80



จากกราฟจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ pH 5.02 และ 5.80 นั้น ไม่สามารถทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นมีจำนวนน้อยมาก แต่สำหรับถั่วเหลืองที่ pH 6.60 และ 7.80 นั้น สามารถทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเกิดก๊าซชีวภาพได้มาก ซึ่งทำให้รู้ว่าจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซชีวภาพสามารถทำงานได้ดีที่ pH 6.60 และ 7.80 จากนั้นนำค่าก๊าซรวมในตารางที่ 4.2 ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างจากตาราง Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

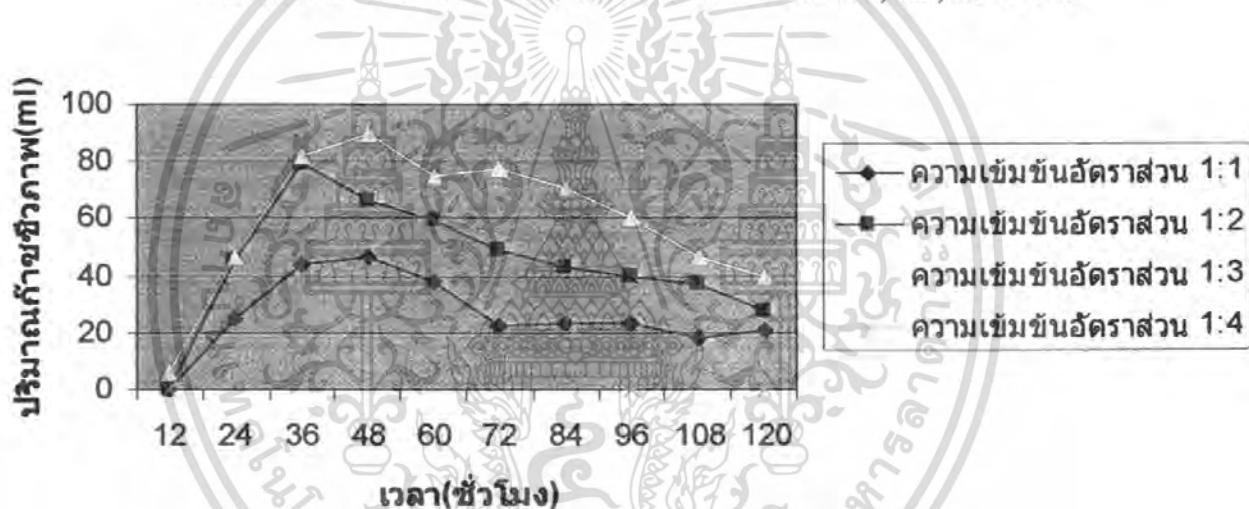
ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ pH 5.02, 5.80, 6.60 และ 7.80

pH	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน 120 ชั่วโมง (ml)
5.02	$15.5 \pm 3.5^a$
5.80	$8.0 \pm 4.2^a$
6.60	$668.0 \pm 33.9^c$
7.80	$546.0 \pm 38.2^b$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่ pH 5.02, 5.80, 6.60 และ 7.80 ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า pH 5.80 และ 5.02 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้นหมายความว่า การใช้ถั่วเหลือง pH 5.80 และ 5.02 ทำให้ได้ผลก๊าซชีวภาพเท่ากัน ส่วนถั่วเหลืองที่ pH 7.80 และ 6.60 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหมายความว่า การใช้ถั่วเหลือง pH 7.80 และ 6.60 ทำให้ได้ผลก๊าซชีวภาพที่มีค่าต่างกันซึ่งที่ pH 6.60 ได้ค่าก๊าซรวมเท่ากับ 668 ml ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด

ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4



จากกราฟจะเห็นว่าถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:3 สามารถทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด รองลงมาคือ ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:2, 1:1 และ 1:4 ตามลำดับซึ่งจะสังเกตได้ว่า การป้อนอาหารให้เชื้อจุลินทรีย์จำนวนมากอาจจะไม่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ผลิตได้มากตามเห็นได้จากกราฟถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:4 สามารถผลิตได้ชีวภาพได้น้อยที่สุดหรือในอัตราส่วน 1:1 ก็ไม่สามารถผลิตได้เต็มกำลังเช่นกัน เนื่องจากสารอาหารน้อยเกินไปจากนั้นนำค่าก๊าซรวมในตารางที่ 4.3 ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างจากตาราง Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

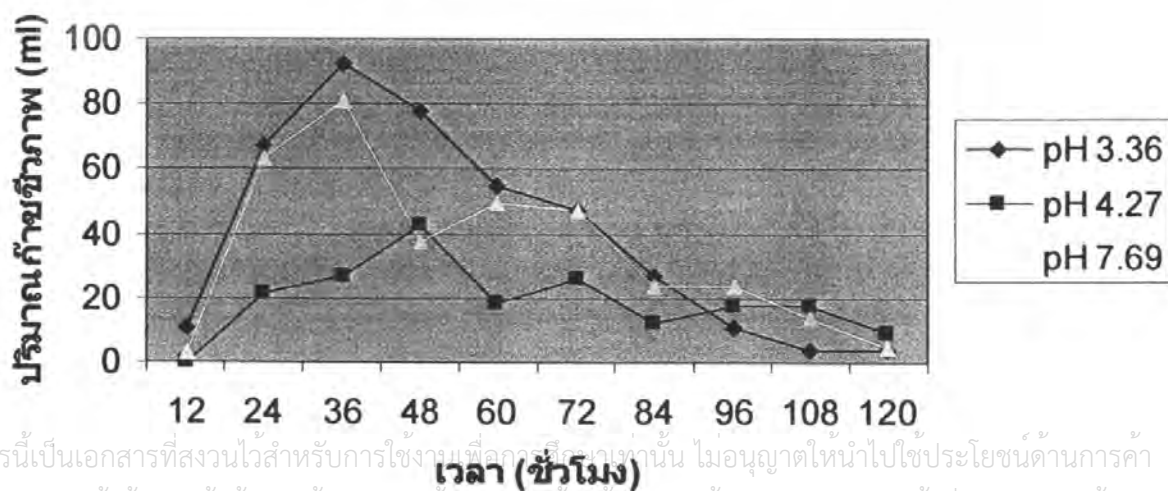
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4

ความเข้มข้นอัตราส่วน น้ำประปา:น้ำถั่วเหลือง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน 120 ชั่วโมง (ml)
1:1	261.0 ± 0.0 <sup>b</sup>
1:2	447.5 ± 4.9 <sup>c</sup>
1:3	594.0 ± 25.5 <sup>d</sup>
1:4	67.0 ± 11.3 <sup>a</sup>

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่ ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำถั่วเหลือง 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%พบว่า ถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้นหมายความว่า การใช้ถั่วเหลืองที่ความเข้มข้นต่างๆทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่มีค่าต่างกันซึ่งที่อัตราส่วน 1:3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด

ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมง ของเส้นขนมเงินที่ pH 3.36 , 4.27 และ 7.69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

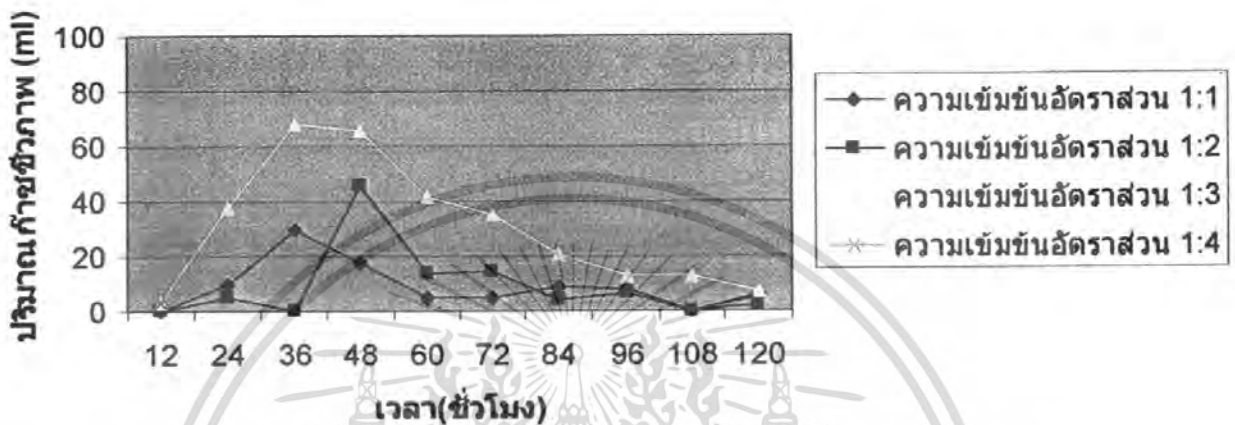
จากกราฟจะเห็นว่ากราฟเส้นขนมจีนที่ pH 3.36 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดเท่ากับ 396 ml และรองลงมาคือเส้นขนมจีนที่ pH 7.69 สามารถผลิตก๊าซได้เท่ากับ 348 ml และที่ผลิตได้น้อยคือเส้นขนมจีนที่ pH 4.27 จะสังเกตเห็นว่าเส้นขนมจีนที่ pH 3.36 และ 7.69 สามารถผลิตก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถทำงานได้ 2 สภาวะทั้งในสภาวะที่เป็นกรด และสภาวะที่เป็นกลาง จากนั้นนำค่าก๊าซรวมในตารางที่ 4.4 ไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างจากตาราง Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้นขนมจีนที่ pH 3.36 , 4.27 และ 7.69

pH	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน 120 ชั่วโมง (ml)
3.36	396.0 ± 19.8 <sup>b</sup>
4.27	192.0 ± 18.4 <sup>a</sup>
7.69	348.5 ± 99.7 <sup>ab</sup>

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่ pH 3.36, 4.27 และ 7.69 ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า เส้นขนมจีนที่ pH 3.36 และ 4.27 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหมายความว่าเส้นขนมจีนที่ pH 3.36 และ 4.27 ทำให้จุลินทรีย์สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ค่าไม่เท่ากันซึ่งที่ pH 3.36 สามารถผลิตได้มากกว่า

ภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เวลา 12 คือ 120 ชั่วโมงของเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำเส้นขนมจีน 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4



จากกราฟจะเห็นว่าเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำเส้นขนมจีน 1:4 สามารถทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดรองมาคือ เส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:3 , 1:2 และ 1:1 ตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราส่วน 1:4 ซึ่งมีสารอาหารมากที่สุดทำให้ผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด เนื่องจากเส้นขนมจีนนั้นสามารถทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว (อ้างอิงได้จากการทดลองที่ 1) จากนั้นนำค่าก๊าซรวมในตารางที่ 4.5 ไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วย โดยเปรียบเทียบความแตกต่างจากตาราง Duncan Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำเส้นขนมจีน 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4

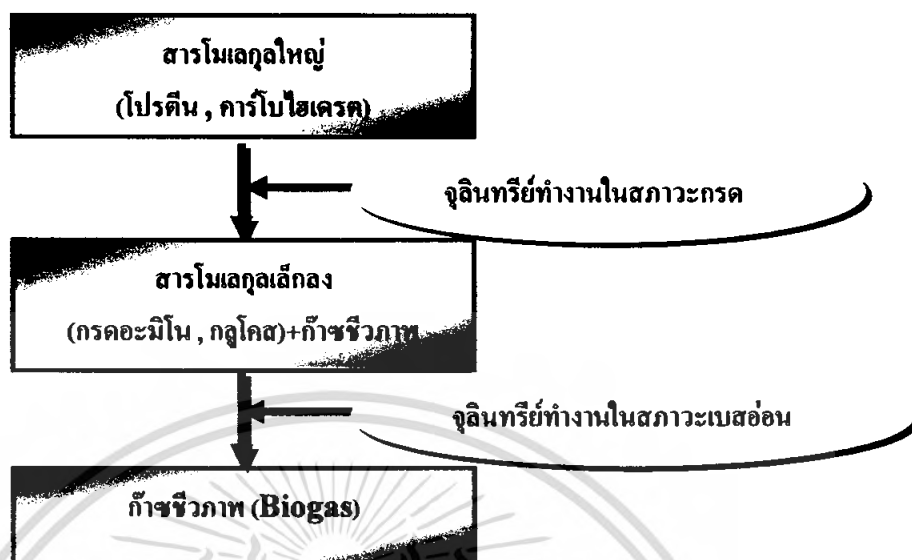
ความเข้มข้นอัตราส่วน น้ำประปา:น้ำเส้นขนมจีน	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใน 120 ชั่วโมง (ml)
1:1	89.5 ± 28.9 <sup>a</sup>
1:2	101.0 ± 9.9 <sup>a</sup>
1:3	305.5 ± 92.6 <sup>b</sup>
1:4	450.5 ± 26.2 <sup>c</sup>

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ที่ ความเข้มข้นอัตราส่วนน้ำประปา : น้ำเส้นขนมจีน 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 ด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%พบว่าเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:4 และ 1:3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหมายความว่า การป้อนอาหารเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:4 และ 1:3 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพให้ก๊าซชีวภาพได้ไม่เท่ากัน โดยที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:4 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:3 ส่วนเส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหมายความว่า เส้นขนมจีนที่ความเข้มข้นอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ทำให้จุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้ก๊าซชีวภาพมีค่าไม่ต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพในการทดลอง ขั้นที่ 1 พบว่า จุลินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพสามารถเกิดปฏิกิริยากับเส้นขนมจีนได้ดีกว่า ถั่วเหลือง กราฟของเส้นขนมจีนนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วคือเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารอาหารที่อยู่ในน้ำเสียนั้นถูกทำปฏิกิริยาให้เกิดก๊าซชีวภาพหมดไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งในเวลาทั้งหมด 5 วัน สามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด 460 ml ส่วนถั่วเหลืองนั้น ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพนั้นก๊าซจะค่อยๆเกิดและค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งในเวลาทั้งหมด 5 วัน สามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ทั้งหมด 450 ml และ ไขมันนั้นไม่สามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้ เนื่องจากไขมันเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมันส่วนเชื้อจุลินทรีย์นั้นตกตะกอนอยู่ก้นขวดจึงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับไขมันได้ ขั้นต่อมาในการทดลองเพื่อทดสอบสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทำการทดสอบค่า pH และปริมาณสารอาหารที่ให้กับเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก๊าซชีวภาพพบว่าในถั่วเหลืองนั้นค่า pH ที่เหมาะสมในเกิดก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 6.60 และ 7.80 ส่วนในเส้นขนมจีนนั้น pH ที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือ pH เท่ากับ 3.36 และ 7.69 สังเกตเห็นว่าจุลินทรีย์ที่ใช้การเกิดก๊าซชีวภาพนั้นสามารถเกิดได้ทั้งในสภาวะกรดและในสภาวะเบสอ่อน เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวจะทำงานเป็น 2 stage ดังนี้



ภาพที่ 5.1 การเข้าทำปฏิกิริยาของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาวะกรด และ เบสอ่อน

ส่วนความเข้มข้นของสารอาหารนั้นจะต้องใส่ให้พอเหมาะหากใส่มากหรือน้อยเกินไป กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจะไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ จากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าเส้นขนมจีนนั้นสารอาหารจะถูกนำไปใช้ในการเกิดก๊าซชีวภาพได้เร็วกว่าถั่วเหลือง เพราะฉะนั้นจึงสามารถใส่ความเข้มข้นของสารอาหารได้มากกว่าถั่วเหลือง ซึ่งหากถั่วเหลืองใส่มากเกินไปจะทำให้ระบบไม่สามารถสร้างก๊าซชีวภาพได้

#### ข้อเสนอแนะ

1. ไขมันควรใส่อีมีลซิฟายเออร์เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับอาหารได้เพื่อทดสอบดูว่าสามารถเกิดปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ได้หรือไม่
2. น้ำเสียที่ใช้ในการทดสอบควรนำมาจาก โรงงานจริงๆ
3. ค่าก๊าซรวมที่เกิดขึ้นหากมีความแตกต่างกันมากควรทำซ้ำเพิ่มขึ้น
4. ควรเพิ่มค่าความแตกต่างของ pH ให้มากขึ้นเพื่อหาช่วง pH ที่เหมาะสมที่ใช้ในการเกิดก๊าซชีวภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- ซัชชลัยย์ สมิทธิอินทร์. 2548. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับประรดโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน แบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง. 2548. ก๊าซชีวภาพ : พลังงานจากการแปรสภาพของเสียอินทรีย์. รายงานผลการวิจัยนครราชสีมา : สำนักวิศวกรรมศาสตร์ , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุรพล สายพานิช. 2530. กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทรกต์สเตปีไลเซชันแบบแอนแอโรบิก. รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .
- อวิศดา ฉลานวิวัฒน์. 2545. อิทธิพลของระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อาริยา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alexiou, I.E., G.K. Anderson and L.M. Evison. 1994. Design of pre-acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 29(9):199-204.
- Archer, D.B. and B.H. Krisop. 1991. The microbiology and control of anaerobic digestion, pp. 49-91. In A.W., ed. *Anaerobic Digestion : A water Treatment Technology*. Elsevier Applied Science Publisher , London.
- Banerjee, A., P. Elefsiniotis and D. Tuhtar. 1998. Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 38 (8-9): 417-423.
- Borja, R., E. Gonzalez, F. Raposo, F. Millan and A. Martin. 2001. Performavce evaluation of a mesophilic anaerobic fluidized-bed reactor treating wastewater derived from the

- production of proteins from extracted sunflower flour. **Bioresource Technology**. 76:45-52. Cited J. Iza. 1991. Fluidized-bed reactors for wastewater treatment. **Wat. Sci. Tech.** 15: 169-176.
- Bouallagui, H.,R.B. Cheikh,L. Marouani and M. Hamdi. 2002. Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. **Bioresource Technology**. 1 – 5.
- Buswell, A.M., and H.F.Mueller. 1952. Mechanisms of Methane Fermentation . **Ind. Eng. Chem.** 44(3) : 550-552.
- Grady , C.P.L.,JR.G.T. Daigger and H.C. Lim. 1999. **Biological Wastewater Treatment**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Graef, S.P. and J.F. Andrews.1974. Stability and control of Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 46(4): 666-683.
- Hayes, T.P. and T.L.Theis. 1978. The Distribution of heavy Metals in Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 50(1) : 307-313.
- Ince, O. 1998. Performance of a two-phase anaerobic digestion system when treating dairy wastewater. **Wat. Res.** 32 (9): 2707-2713.
- John, G.H., R.K. Noel, H.A.S. Peter, T.S. Jamas and T.W. Stanley. 1994. **Bergey's Mauual of Determinative Bacteriology**. Ninth ediyion. Williams and Wilkins, New York.
- Kim, M., Y.H. Ahn and R.E. Speece. 2002. Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion ; mesophilic vs. thermophilic. **Wat. Res.** 1-17.
- Komatsu, T.,K. Hanaki and T. Masayo. 1991. Prevention of lipid inhibition anaerobic process by introducing a two-phase system. **Wat. Sci. Tech.** 23 (7-9) : 1189-1200.
- Macleod, F.A., S.R. Guiot and J.W. Costeron. 1990. Layered structure and bacterial aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. **Appl. Environ. Microbiol.** 55 (6) : 1589-1607.
- Mahendra, K.J.,J.G.Zeikus and L. Bhatnagar. 1991. Methanogen, pp. 226-246. *In* P.N. Levett, ed. **Anaerobic Microbiology**. Oxford University, New York.

- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamental Part 1,2,3,4. Public Works. 95 (9) : 107-115.
- McCarty, P.L. and R.E. McKinney. 1961a. Salt Toxicity in Anaerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 33(4) : 399-415.
- McCarty, P.L. and R.E. McKinney. 1961b. Volatile Acid Toxicity in Aerobic Digestion. **J. Water Poll. Control Fed.** 33(3) : 223-235.
- Novaes, R.F.V. 1986. Microbiology of anaerobic digestion. **Wat. Sci. Tech.** 18 (12) : 1-14.
- Patel, H. and D. Madamwar. 2001. Single and multichamber fixed film anaerobic reactors for biomethanation of acidic petrochemical wastewater-systems performance. **Process Biochemistry.** 36 : 613-619.
- Price, E.C. and P.N. Cheremisinoff. 1981. **Biogas Production and Utilization.** Ann. Arbor. Sci Inc., Michigan.
- Rao, M.S., S.P. Singh, A.K. Singh and M.S. Sodha. 2000. Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW : assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal grabag. **Applied Energy.** 66:75-87.
- Yilmazer, G. and O. Yenigun. 1999. Two-phase anaerobic treatment of cheese whey. **Wat. Sci. Tech.** 40 (1) : 289-295.
- Zinder, S.H. and T. Anguish. 1992. Carbondioxide, hydrogen and formate metabolism during methanogenesis from acetate by thermophilic culture of *Methanosarcina* and *Methanotrix* strains. **Appl. Environ. Microbiol.** 58 ( 10 ) : 3323-3329.