

547.๘๙

ค' 831๗

จ. 3

การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมะเขือเทศโดยจุลินทรีย์
ที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

18 S.A. 2539

ปริญญานิพนธ์
ของ
สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกเคมีชีวภาพ

พฤษภาคม 2539

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

๒. ๕2๓๙๗

MESOPHILIC AND THERMOPHILIC BIOGAS PRODUCTION
FROM TOMATO SOLID WASTE

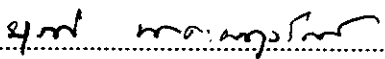
AN ABSTRACT
BY
SUPAT PHAOPHONGTHAI

Presented in partial fulfillment of requirements for the
Master of Science degree in Biological Chemistry
at Srinakharinwirot University

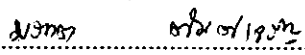
May 1996

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกเคมีชีวภาพของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

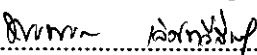
คณะกรรมการควบคุม

..........ประธาน

(ดร.ยุวดี นาคะผดุงรัตน์)

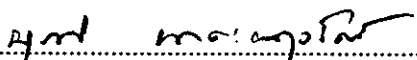
..........กรรมการ

(รศ.ดร.มรกต ตันติเจริญ)

..........กรรมการ

(ผศ.พรพรรณ เลิศทวีสินธุ์)

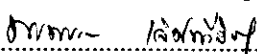
คณะกรรมการสอบ

..........ประธาน

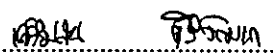
(ดร.ยุวดี นาคะผดุงรัตน์)

..........กรรมการ

(รศ.ดร.มรกต ตันติเจริญ)

..........กรรมการ

(ผศ.พรพรรณ เลิศทวีสินธุ์)

..........กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ดร.เสริมสิน ศิริวัฒนา)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกเคมีชีวภาพ ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..........คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 10 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2537

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.ยุวดี นาคะผดุงรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรพรรณ เลิศทวีสินธุ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร รองศาสตราจารย์ ดร. มรกต ตันติเจริญ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำสนับสนุน ตลอดจนได้สละเวลา ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงลงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ โครงการอาหารหลวงสำเร็จรูป ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณคุณประนอม ขาวเมฆ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณจงกล พูนทวี สถาบันฝึกอบรมและพัฒนาโรงงานต้นแบบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คุณศิวาพร ลงยันต์ ผู้ช่วยวิจัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร - วิโรฒประสานมิตร ที่ช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ตลอดจนทุกคนในครอบครัวที่มีส่วนเกี่ยวข้องช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ และให้กำลังใจตลอดมา

สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย

พฤษภาคม 2539

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
คำนำ.....	1
ก๊าซชีวภาพ.....	3
การเกิดก๊าซชีวภาพ.....	3
ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย.....	4
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักแบบอัดอากาศ.....	9
ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม.....	11
สภาวะและสารที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย.....	17
ปัจจัยในการปฏิบัติงาน.....	19
สาเหตุที่ทำให้ระบบการหมักล้มเหลว.....	20
คำจำกัดความของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย.....	20
จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ.....	21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	34
ประโยชน์ของงานวิจัย.....	34
2 วิธีการวิจัย.....	35
แผนการวิจัย.....	35
แหล่งของจุลินทรีย์ ถังปฏิกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์	
และก๊าซชีวภาพ.....	36
วิธีดำเนินการทดลอง.....	38
การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์.....	38
การเตรียมถังปฏิกรณ์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์.....	38
การเตรียมถังปฏิกรณ์สำหรับผลิตก๊าซมีเทน.....	39
การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน.....	40

บทที่	หน้า
3 ผลการวิจัย.....	46
ผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์.....	46
ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์.....	64
ผลของอุณหภูมิต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกักกากต่างๆ.....	85
ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	103
การศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้ซับสเตรตต่างๆเพื่อการผลิตก๊าซมีเทน	110
4 สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	116
สรุปอภิปรายผล.....	116
ข้อเสนอแนะ.....	124
บรรณานุกรม.....	125
ภาคผนวก.....	131
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	221

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยในการปฏิบัติงาน	9
2 ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้อากาศ.....	15
3 ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อระบบบำบัดได้โดยตรง.....	16
4 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาที่บักกาก 3 วัน อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	52
5 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาที่บักกาก 5 วัน อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	53
6 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาที่บักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	54
7 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาที่บักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	55

8 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สารชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	56
9 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	57
10 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิห้อง (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	58
11 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิห้อง (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	59
12 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	60

13 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	61
14 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	62
15 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	63
16 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สารกรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรอุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	73
17 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตรอุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	74

- 18 ผลของระยะเวลาที่ปลูกตากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง
การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต
กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น
สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 75
- 19 ผลของระยะเวลาที่ปลูกตากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง
การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต
กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น
สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 76
- 20 ผลของระยะเวลาที่ปลูกตากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง
การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต
กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น
สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 77
- 21 ผลของระยะเวลาที่ปลูกตากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง
การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต
กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น
สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 78

22 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	79
23 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	80
24 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	81
25 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	82
26 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	83

27 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในขั้นตอนการผลิต กรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีความเข้มข้น สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	84
28 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และใช้สารแขวนลอย กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	89
29 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และใช้สารแขวนลอย กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	90
30 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 5 วัน และใช้สารแขวนลอย กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	91
31 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 5 วัน และใช้สารแขวนลอย กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	92

- 32 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ
การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ
แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และใช้สารแขวนลอย
กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 93
- 33 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ
การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ
แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 5 วัน และใช้สารแขวนลอย
กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 94
- 34 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ
การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ
แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และใช้สารแขวนลอย
กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 95
- 35 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ
การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ
แบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 5 วัน และใช้สารแขวนลอย
กากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 96
- 36 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย
pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 97
- 37 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย
pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)..... 100

38 ผลของระยะเวลากักเก็บและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ(น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ไม่เติม แคลเซียมคาร์บอเนต).....	108
39 ผลของระยะเวลากักเก็บและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์เติม แคลเซียมคาร์บอเนต).....	109
40 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนเมื่อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้ขับสเตรท ต่าง ๆ กัน(น้ำหมักกรดอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	114
41 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนเมื่อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้ขับสเตรท ต่างๆ กัน (น้ำหมักกรดอินทรีย์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	115
42 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	132
43 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	133
44 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศา- เซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	134
45 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลากักเก็บ 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศา- เซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	135

[illegible]

53 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	143
54 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีอัตราการผลิตอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง).....	144
55 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีอัตราการผลิตอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส).....	146
56 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีอัตราการผลิตอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	148
57 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีอัตราการผลิตอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง).....	150

58	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีอัตราการใช้สารอินทรีย์ 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอน การผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส).....	152
59	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีอัตราการใช้สารอินทรีย์ 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร (ถึงปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้น ตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	154
60	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีอัตราการใช้สารอินทรีย์ 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร (น้ำหมักจากขบวนการกรดอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิห้อง).....	156
61	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีอัตราการใช้สารอินทรีย์ 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร (น้ำหมักจากขบวนการกรดอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส).....	158
62	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่มีอัตราการใช้สารอินทรีย์ 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร (น้ำหมักจากขบวนการกรดอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	160

[illegible]

[illegible]

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศในขั้นตอน Hydrolysis.....	4
2 การย่อยสลายกลูโคสในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์.....	9
3 แสดงชุดการทดลองการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอน.....	37
4 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิห้อง).....	188
5 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิห้อง).....	189
6 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส).....	190
7 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส).....	191
8 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	192
9 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนตอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	193
10 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิห้อง).....	194

หน้า

[illegible]

20	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากขี้สเตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลาที่บัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอดีต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	204
21	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากขี้สเตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลาที่บัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอดีต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส).....	205
22	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	206
23	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เปปโตนเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	207
24	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กรดอะซิติกเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	208
25	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	209
26	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้น ร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	210
27	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	211
28	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เปปโตนเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	212

29	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กรดอะซิติก เข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	213
30	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคส เข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	214
31	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคส เข้มข้น ร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	215
32	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เอทานอล เข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	216
33	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เปปโตเนเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	217
34	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กรดอะซิติกเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	218
35	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคส เข้มข้น ร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	219
36	แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคส เข้มข้น ร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาที่บัก และ อัตราการป้อนอินทรีย์สารต่าง ๆ กัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต).....	220

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

เมื่อประชากรเพิ่มจำนวนมากขึ้นในขณะที่แหล่งพลังงานกลับน้อยลงไปหรือไม่สมบูรณ์เพียงพอ ก่อให้เกิดปัญหาต่อประเทศที่กำลังพัฒนา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้ ทั้งนี้เพื่อความอยู่รอดของประชากรเป็นสำคัญ พลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนคือพลังงานจากก๊าซชีวภาพซึ่งเกิดจากการหมักของเสียต่าง ๆ ทางเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิดแต่มักประสบปัญหาราคาของผลผลิตต่ำ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของราคาผลผลิตทางการเกษตร ผลผลิตทางการเกษตรบางชนิดยังมีข้อจำกัด เพราะไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์สดไว้ได้นาน รัฐบาลจึงได้ส่งเสริมให้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมทางการเกษตรมากขึ้น เพื่อที่จะเปลี่ยนผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าเดิมซึ่งมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ทำให้มีรายได้เข้าประเทศมากขึ้นมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น อุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีการขยายตัวมาก ได้แก่ อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร การบรรจุอาหาร จากการขยายตัวของอุตสาหกรรมเกษตรทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งมักเกิดในระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น จากการตัดแต่งกากหรือส่วนเปลือกที่ต้องกำจัดทิ้งเป็นจำนวนมาก การคัดผลผลิตที่มีตำหนิเน่าเสียทิ้งไป และยังมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้หากก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้บางอย่างได้ถูกนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์เช่นใช้เป็นเชื้อเพลิง ปุ๋ย อาหารสัตว์ หรือเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมประเภทอื่น (Lane, 1984) แต่ก็ยังมีวัสดุเหลือทิ้งบางส่วนที่ยังถูกปล่อยทิ้งให้สูญเปล่า ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงได้มีการศึกษาเพื่อกำจัดของเสียเหล่านี้ให้เหมาะสมและนำเอาวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์มากขึ้นโดยอาศัยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งการแปรรูปมะเขือเทศเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมเกษตรที่ทำให้มีของเสียเหลือทิ้งได้แก่ ผลเน่าเสีย ผลมีรอยตำหนิที่คัดทิ้งและส่วนกากคือเปลือกและเมล็ดที่ถูกแยกออกจากน้ำและเนื้อหลังจากผ่านการบดด้วยเครื่องโม่แล้ว (เกษม พิสิท, 2531) ของเสียเหล่านี้จะมีปริมาณร้อยละ 9 ของปริมาณมะเขือเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (Hill and Dykstra, 1980)

จากรายงานการวิจัยพบองค์ประกอบของมะเขือเทศโดยคิดเป็นร้อยละของของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ดังนี้คือประกอบด้วยของแข็งระเหย (volatile Solid) ร้อยละ 95.45 เซมิเซลล์ลูไลต์ ร้อยละ 39.3 โปรตีนร้อยละ 23.3 เซลลูโลสร้อยละ 8.0 ลิกลินร้อยละ 6.0 และ Ether extract ร้อยละ 17.0 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.22 โซเดียมร้อยละ 0.151 โพแทสเซียมร้อยละ 0.954 แคลเซียม ร้อยละ 0.028 ไนโตรเจนร้อยละ 3.73 อัตราส่วนของธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 13:4 (Sarada and Nand. 1989) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกากมะเขือเทศจึงน่าจะนำกากมะเขือเทศ เหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ต่อไปได้ เช่นนำมาใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์ หรือใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 40-80 ค่าความร้อนประมาณ 13,700 -27,500 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (มรกต ดันติเจริญ และคนอื่นๆ. 2534) โดยอาศัยกระบวนการหมักแบบอับอากาศ ซึ่งทำได้ทั้งแบบขั้นตอนเดียว (single stage fermentation) และแบบสองขั้นตอน (two-stage fermentation) เป็นการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยอาศัยจุลินทรีย์สองกลุ่มคือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอินทรีย์ (acidogenic bacteria) และจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอินทรีย์ จะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางถึงเป็นกรด คือประมาณ 5.5 หรือต่ำกว่า (TATA, Energy Research Institute. 1985) จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะย่อยสลายอินทรีย์ สารพวกเซลลูโลส ไขมัน โปรตีนให้เป็นโมเลกุลเล็กลงละลายน้ำได้ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวอิก กรดแลกติก กรดบิวทิริก และเอทานอล เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อได้เปรียบในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน (Donald. 1987) และจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซมีเทน จะทำงานได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย คือ pH อยู่ระหว่าง 6.5 -7.5 และถ้า pH สูงกว่า 8.0 จุลินทรีย์จะหยุดทำงาน (Sprott, Brid and McDonald. 1985) กระบวนการหมักแบบอับอากาศ ขั้นตอนเดียวเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก แต่ระบบมักล้มเหลวได้ง่าย เพราะมีการสะสมของกรดไพรูวอิก (Verrier, Fay and Albagmac. 1987) ในการศึกษาผลของกรดไพรูวอิกที่ความเข้มข้น 0-200 มิลลิโมลาร์ ต่อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน พบว่าความเข้มข้นของกรดไพรูวอิกสูงกว่า 20 มิลลิโมลาร์ สามารถยับยั้งการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนและยับยั้งการผลิตก๊าซมีเทน (Barredo and Evison. 1991) กระบวนการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอนนี้ ได้แยกขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ออกจากขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน จะทำให้สามารถศึกษา และควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอนได้

จากการศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนจากกรดอินทรีย์ พบว่าก๊าซมีเทนได้มาจากการเปลี่ยนแปลงของกรดอะซิติกร้อยละ 72 และได้มาจากการคิโพรพอนิก และกรดอินทรีย์ระยะเหยอื่น ๆ ร้อยละ 28 (McCarty and Jesis. 1984) ชนิดและปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นก๊าซมีเทนที่แตกต่างกัน (เกษแก้ว ปะนะมณฑา. 2534)

ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพหมายถึง ก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นพืชและสัตว์ ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลาย ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาวะของกระบวนการหมัก โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทนร้อยละ	55-56	54-70
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ	35-45	27-45
ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ	0-8	2.6-5
ก๊าซออกซิเจนร้อยละ	0-1	0-1
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ	0-1	0-1

ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้จะต้องมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (Updated guidebook on biogas development. 1984)

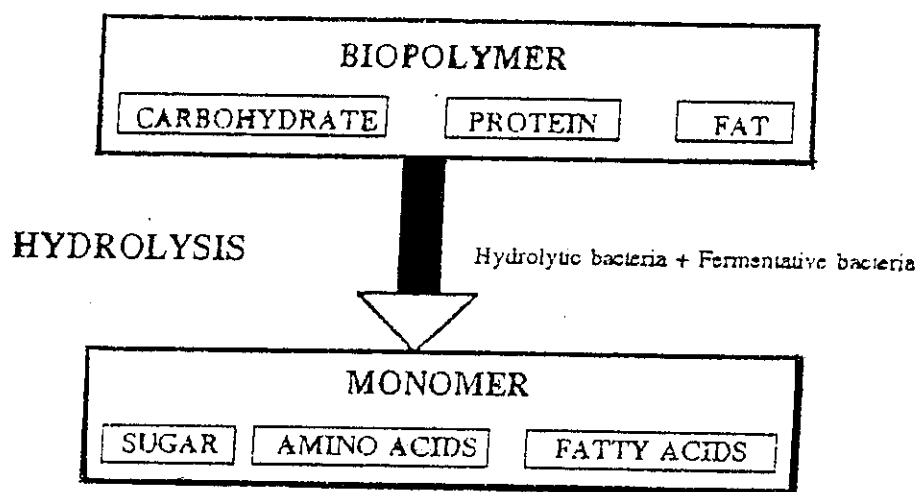
การผลิตก๊าซชีวภาพ

กระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ กระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจัดเป็นกระบวนการที่มีการหมุนเวียนคาร์บอน และธาตุอื่น ๆ เนื่องจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศของสารอินทรีย์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดปลอดภัย ง่ายในการทำให้งบรสุทธีคือ CO_2 และ CH_4 โดยมีการเจริญเติบโตของเซลล์น้อย (McCarty. 1964)

ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย สามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ (acid production) และขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน (methane production)

ขั้นที่ 1 ขั้นตอนไฮโดรไลซิส

ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์เชิงซ้อน (complex organic compound) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถละลายน้ำได้เช่นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ (extracellular enzyme) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้เป็นพวก hydrolytic bacteria และ fermentative bacteria ทำให้สารอินทรีย์แตกตัวมีขนาดเล็กและสามารถละลายน้ำได้และเคลื่อนย้ายเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้เป็นอะไรขึ้นอยู่กับชนิดสารตั้งต้นเช่นถ้าสารตั้งต้นเป็นคาร์โบไฮเดรต จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (simple sugar) โปรตีนเปลี่ยนไปเป็นเปปไทด์หรือกรดอะมิโน ไขมันจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล นอกเหนือจากการย่อยที่เกิดจาก hydrolytic bacteria แล้วยังอาจมีปฏิกิริยาที่เกิดจากพวก fermentative bacteria ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ พวกสารประกอบแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ ไฮโดรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์รวมอยู่ด้วย ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในถังหมักจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ (ภาพประกอบ 1)



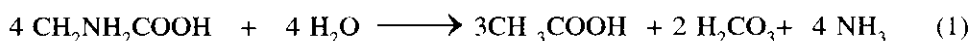
ภาพประกอบ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศในขั้นตอนไฮโดรไลซิส

(Westerman, 1989) 710-211

การย่อยสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต

สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตพบว่ามีส่วนมากเป็นพวก α -glycoside เช่น starch sucrose glycogen และ amylose จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ amylase ซึ่งถูกขับออกมาจากจุลินทรีย์ สารประกอบประเภทเพคติน ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ pectinase และ amylase ส่วนพวกเซลลูโลสมีลักษณะคล้ายแป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส (D-glucose) เชื่อมต่อกันด้วย β -(1,4) เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืชถูกย่อยสลายได้ยากแต่ก็มีโปรโตซัวบางชนิดและแบคทีเรียบางสายพันธุ์เช่น *Clostridium* sp. ซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลสเป็นเซลโลไบโอส ซึ่งถูกย่อยสลายต่อไปได้ในกระบวนการไร้อากาศ อัตราการย่อยสลายถูกจำกัดโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ ส่วนสารพวกลิกนินเป็นสารประกอบที่มีความอยู่ตัวสูงและเป็นอนุพันธ์ของ phenylpropane ซึ่งประกอบด้วย aromatic alcohol กับ side chain ที่มีคาร์บอน 3 ตัว ลิกนินถูกย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นถ้าสารประกอบใดมีลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ทำให้การย่อยสลายลดลงถึงร้อยละ 30

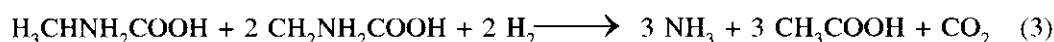
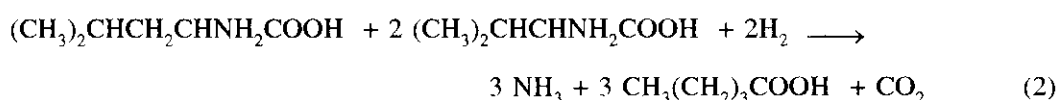
การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน สารประกอบไนโตรเจน เช่น โปรตีน ยูเรีย เพียวรีน (purine) และ ไพริมิดีน (pyrimidine) มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสได้กรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนบางชนิดจะถูกย่อยสลายให้ผลผลิตเป็นไพรวูเวท ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนและจุลินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีนในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่พวก *Clostridium* โปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดเชื่อมกันด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งการย่อยสลายถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ protease และ peptidase เอนไซม์เหล่านี้อยู่ที่ผนังของเซลล์หรืออยู่อย่างอิสระและมีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งของกรดอะมิโนในสายเปปไทด์ การย่อยสลายโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกรดอะมิโน และกรดอะมิโนที่ได้จะถูกย่อยสลายต่อไปเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน หรือถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ได้โดยตรง แต่ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ามีการสร้างเซลล์น้อยคืออาจมีเพียงร้อยละ 15 เท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนบางชนิดที่เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยได้ โดยไม่ต้องผ่านการเป็นกรดไพรวูเวค เช่น ถ้ากรดอะมิโนเป็นไกลซีนเมื่อย่อยสลายโดย *Clostridium histolyticum* จะเป็นอะซิเตท ดังสมการ (1)



ถ้ากรดอะมิโนเป็น ธีรีโอนีน เมื่อถูกย่อยสลายโดย *Clostridium histolyticum* จะได้เป็น

อะซิเตท แต่เมื่อถูกย่อยสลายโดย *Clostridium sporosphaerifera* จะได้เป็นโพรพionate และถ้าถูกย่อยโดย *Clostridium propionicum* จะได้โพรพionate กับ บิวทีเรท

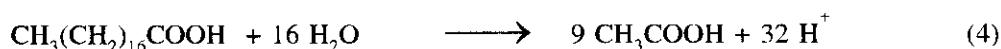
นอกจากนี้ มีกระบวนการย่อยสลายกรดอะมิโนโดยปฏิกิริยาควบคู่ระหว่าง Oxidation และ reduction deamination ของกรดอะมิโน 2 โมเลกุลนั้น เกิดขึ้นโดยโมเลกุลหนึ่งเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอน และอีกโมเลกุลเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Stickland (Nagase and Matsuo. 1982) ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยา Oxidation-Reduction ของ ลูซีน กับเวอรีนได้กรดไอโซเวอรีน ถ้าเป็นปฏิกิริยา Oxidation-Reduction ของ อะลานีนและไกลซีน ได้กรดอะซิติก ดังสมการ (2) และ (3)



นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนพวกเพียวรีน สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่ม non-methanogenic bacteria ผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับแบคทีเรียที่ใช้ในการย่อยสลาย เช่น uracil ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย *Clostridium uracilium* จะได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย แต่ถ้าเป็นแบคทีเรียพวก *Clostridium acidurici* จะได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย (Hobson, Bousfield and Sommer. 1974)

ไขมัน เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์เช่นเอสเตอร์ เมทานอล ไขมันเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์พวก *Clostridium* sp. บางชนิดสร้างเอนไซม์ lipase ออกมาเพื่อย่อยสลาย ไขมัน ไขมันจะถูกย่อยสลายให้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก กรดโอเลอิกและกรดพาล์มดิก กรดไขมันจะถูกย่อยสลายในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการ β -oxidation กลีเซอรอล จะถูกย่อยสลายต่อ ตามกระบวนการ glycolysis ให้ผลผลิตเป็นกรดไพรูวิกซึ่งต่อไปจะถูกย่อยสลายไปในลักษณะเช่นเดียวกับการย่อยสลายสารพวกคาร์โบไฮเดรต ส่วนกรดไขมันเช่นสเตียริกจะถูกออกซิไดส์ด้วยปฏิกิริยา β -oxidation ให้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังสมการ (4)

β -oxidation



ต่อมาได้มีการศึกษาและยอมรับว่ากระบวนการ β -oxidation ก็สามารถเกิดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายกรดไขมันสายยาวไปเป็น

กรดอะซิติกได้ การย่อยสลายกรดไขมันสายยาวโดยกระบวนการ β -oxidation เกิดได้ดีทั้งในที่มีหรือไม่มีออกซิเจน ได้สารตัวกลางคือ โพรพิออน และ บิวทีเรต ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตตและไฮโดรเจน

ขั้นที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์

ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนไฮโดรไลซิส เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และใช้เป็นพลังงาน พลังงานที่ได้จากจุลินทรีย์นำไปใช้ในวัตถุประสงค์ 3 อย่างคือ

2.1 Biosynthesis คือการสร้างสารประกอบของเซลล์จากแอมโมเนียมฟอสเฟต และแหล่งของคาร์บอน ซึ่งมีขั้นตอนมากมายและต้องการพลังงานในการสร้างสารประกอบต่าง ๆ

2.2 Active transport จุลินทรีย์มีการเลือกสารประกอบจากสารอาหารที่ต้องการนำเข้าสู่เซลล์ โดยต้องต้านกับระดับความเข้มข้นของสารภายในและภายนอกเซลล์ ซึ่งถ้าเซลล์มีพลังงานสะสมที่เพียงพอจะทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดเร็วขึ้น

2.3 Motility เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดมีแฟลกเจลลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จึงต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของแฟลกเจลลา

อินทรีย์สารโมเลกุลเล็กจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียพวก facultative และ obligate anaerobe ซึ่งเป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน เจริญเติบโตในช่วง pH 6.5-7.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูงแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะใช้อินทรีย์สารเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานเกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งผลของปฏิกิริยาทำให้ได้สารที่อยู่ในรูปออกซิไดส์และรีดิวส์พวกที่อยู่ในรูปออกซิไดส์ ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดแวลริก (valeric acid) เป็นต้น แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในช่วงนี้คือแบคทีเรียที่สร้างกรด หรือ non-methanogenic bacteria พวกที่อยู่ในรูปรีดิวส์มีอยู่หลายอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย และตัวรับอิเล็กตรอน ตัวอย่างเช่นแบคทีเรียที่สร้างกรดบางชนิดใช้ไฮโดรเจน-ไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดไฮโดรเจนโมเลกุลขึ้นมา แต่ผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์ตัวอื่น ๆ เช่น แอลกอฮอล์ ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก ถ้าหากไม่มีการสร้างไฮโดรเจนโมเลกุลขึ้นมาแบคทีเรียที่สร้างกรดเหล่านี้จะใช้อินทรีย์สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์ชนิดอื่น เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล หรือกรดแลกติก นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดยังสามารถสร้างกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก

หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนโมเลกุล และ acetyl-CoA จากกรดอินทรีย์ระเหยที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่โดย pathway ของ ปฏิกิริยา pyruvate lyase และ หรือ pyruvate-formate lyase ซึ่งเกิดในช่วง pH ที่เป็นกรดโดยเอ็นไซม์ formate hydrogen lyase หรือผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวซ์อื่น ๆ ที่เกิดในปฏิกิริยาช่วงแรก ตัวอย่างของปฏิกิริยาประเภทนี้คือการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไพรูเวทและแลกเตท (ภาพประกอบ 2) ✓

จากตัวอย่างที่กล่าวมา เป็นขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งให้ผลผลิตเป็นสารพวกกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเช่นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และพวกแอลกอฮอล์ เช่นเมทานอล ซึ่งจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic bacteria เพื่อเกิดเป็นก๊าซมีเทนต่อไป

ขั้นที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน

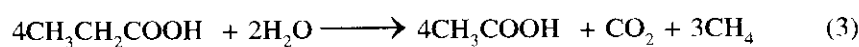
กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สองเป็นสารประกอบอย่างง่ายส่วนใหญ่ได้แก่กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มนี้เรียกว่า methanogenic bacteria จัดอยู่ในพวก obligate anaerobic bacteria จะดำรงชีวิตอยู่ได้แต่ในสภาวะไร้ออกซิเจนเท่านั้น เจริญได้ดีทั้งในช่วงอุณหภูมิปานกลาง 35-40 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิสูง 55-60 องศาเซลเซียส pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ต้องการแอมโมเนีย และซัลไฟด์ หรือ ซีสเทอีน (cysteine) เป็นแหล่งไนโตรเจนและซัลเฟอร์

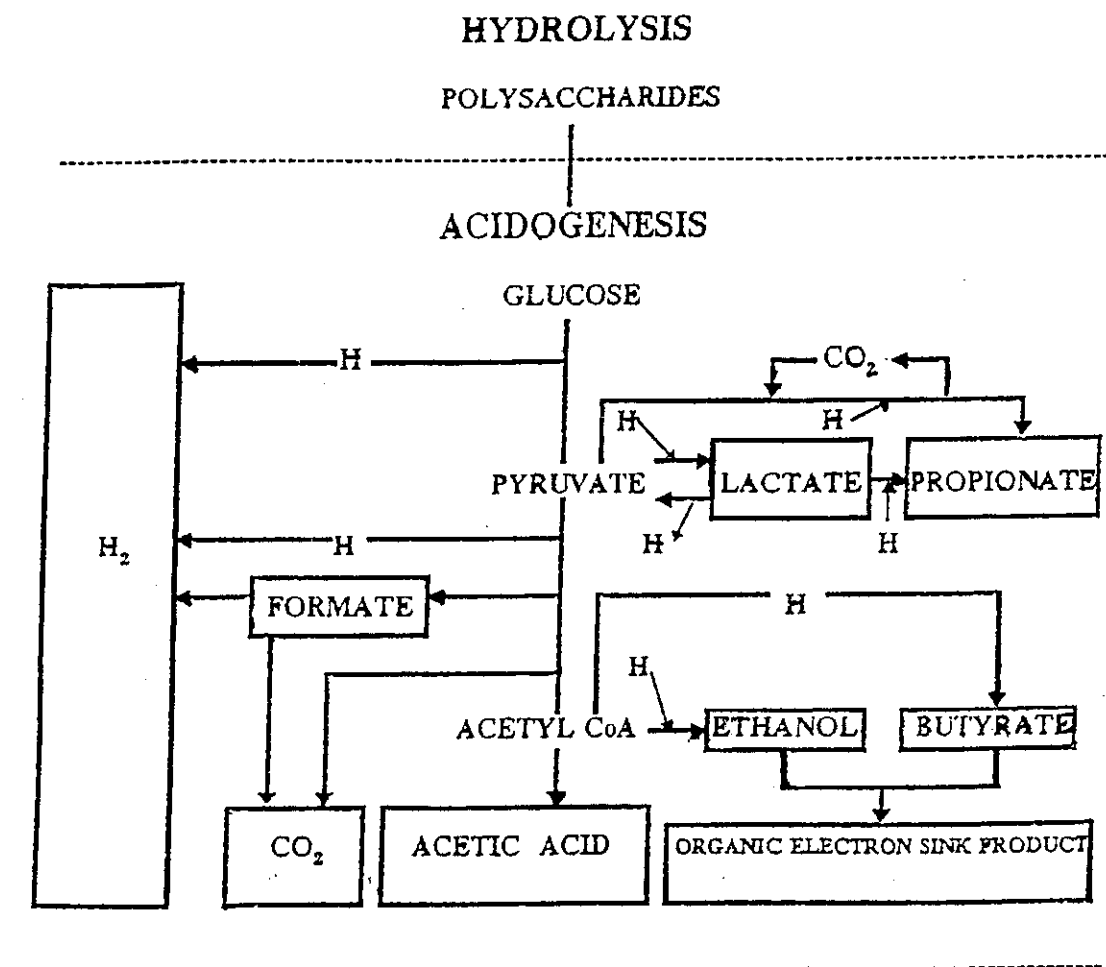
ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้ จากปฏิกิริยาการดีคาร์บอกซิเลชันของกรดอะซิติก (acetate decarboxylation) โดยจุลินทรีย์พวก acetoclastic methanogenic ดังสมการ (1) และการรีดักชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดโดยจุลินทรีย์พวก O_2 -reducing methanogenic bacteria ดังสมการ (2) และปฏิกิริยาของโพรพิโอนิก ดังสมการ (3) โดยจุลินทรีย์พวก *Methanobacterium propionicum*

1. การเปลี่ยนแปลงของกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน



2. การเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซมีเทน





ภาพประกอบ 2 การย่อยสลายกลูโคสในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์

(Breure. 1987)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักแบบอับอากาศ

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างดียิ่ง กระบวนการหมักแบบอับอากาศมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่างที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยได้แก่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (organic loading rate) องค์ประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) อุณหภูมิ ระยะเวลาเก็บกัก (hydraulic retention time, HRT) และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) เป็นต้น (ปรีดา แฉ่มเจริญวงศ์, 2534) ปัจจัยต่างๆ สามารถจำแนกออกเป็นปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยในการปฏิบัติงาน

ตาราง 1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยในการปฏิบัติงาน

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (environmental factor)	ปัจจัยในการปฏิบัติงาน (operational factor)
pH	ระยะเวลาเก็บกัก
ความเป็นด่าง (alkalinity)	อัตราการป้อนอินทรีย์สาร
อุณหภูมิ (temperature)	องค์ประกอบของวัตถุดิบ
ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acid concentration)	การกวนผสม
สารพิษ (toxic materials)	ปริมาณความร้อน (heating)
อาหารเสริม (nutrients)	

ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

pH แบคทีเรียที่สร้างกรดสามารถทน pH ได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ย่อยและก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ ดังนั้นจึงคงทนต่อสภาพ pH ที่เป็นกรดได้ดี สำหรับการเปลี่ยนแปลง pH ภายในถังปฏิกรณ์นั้นเกิดเนื่องจากปริมาณของอินทรีย์สารที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ถ้ามีการป้อนอินทรีย์สารเข้าสู่ระบบมากแบคทีเรียที่สร้างกรดจะทำการย่อยสลายอินทรีย์สารเหล่านี้ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจึงเกิดการสะสมของกรดทำให้ pH ของระบบลดลงจนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้ได้ทัน จึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ ส่วนแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน pH ที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนคือ 6.5-7.5 แต่ถ้า pH ลดต่ำลงจนถึง 5.0 จะเป็นอันตรายอย่างรุนแรงต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทนเนื่องจากการทำงานของระบบจะล้มเหลวเพราะไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่ง H^+ จัดเป็นพวก toxic cation ชนิดหนึ่ง การแก้ไขสาเหตุการยับยั้งที่เกิดจาก pH ลดลงอย่างมากคือ การทำให้ H^+ เป็นกลางด้วยการเติมด่างเข้าไปควบคุมให้ pH อยู่ระหว่าง 7.0-7.5

ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) เป็นค่าที่แสดงความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตรของ $CaCO_3$ ค่าความเป็นด่างนี้เป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของระบบ ถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างสูงแสดงว่าระบบมี buffering capacity สูงสามารถรักษาค่า pH ของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน ไม่เกิดการแปรปรวนของค่า pH ได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มปริมาณกรดในระบบ ในทางตรงกันข้ามถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างต่ำเมื่อเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในระบบค่อนข้างสูง pH ของระบบมีค่าลดลงอย่างมาก ดังนั้นในการควบคุมระบบให้ทำงานปกติจำเป็นต้องรักษาค่าความเป็นด่างไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับระบบการบำบัดน้ำเสียมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1,000-3,000 มิลลิกรัม/ลิตรของ $CaCO_3$

กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid ; VFA) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย หรือ VFA นี้เป็นผลิตภัณฑ์สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ในระบบที่มีการสะสมของ VFA จะทำให้ pH ของระบบลดต่ำลง และถ้า pH มีค่าลดลงต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หากไม่แก้ไขจน pH มีค่าลดลงถึง 4.5-5.0 มีผลทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างขั้นตอนการผลิตกรดและขั้นตอนการผลิตมีเทน ซึ่งสามารถสังเกตได้ คือมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบต่ำมาก (ในสภาวะปกติก๊าซชีวภาพที่ได้มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 70) ดังนั้นในการติดตามควบคุมการทำงานของถังปฏิกรณ์จำเป็นต้อง

วิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและวัดค่า pH ควบคู่กันไปด้วยเสมอ เมื่อตรวจพบว่าการทำงานของระบบมีแนวโน้มจะเสถียรสมดุล กล่าวคือมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงมาก ค่าความเป็นด่างต่ำและค่า pH ต่ำกว่า 6.5 จำเป็นต้องมีการแก้ไขระบบให้คืนสู่สภาพสมดุล ดังนี้

ก. ปรับ pH ให้เป็นกลางโดยการเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้แก่ระบบ (ถึงปฏิกิริยา) วิธีนี้เป็นการแก้ไขที่ได้ผลอย่างรวดเร็วแต่เสียค่าใช้จ่ายสูงและมีข้อเสียที่สำคัญคือ ก่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ เช่น ในกรณีใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ปรับ pH มักเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตในระบบ

ข. ลดปริมาณการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้น้อยลง เป็นวิธีการที่ให้ผลดีมากกว่า ไม่เปลี่ยนค่าใช้จ่ายและไม่เกิดผลแทรกซ้อนเกี่ยวกับตะกอนในภายหลัง โดยทั่วไปกรดอินทรีย์ที่พบในถังปฏิกรณ์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก (ส่วนมากเป็นกรดอะซิติก) ในสถานะที่ pH เป็นกลาง กรดเหล่านี้อยู่ในรูปอะซิเตท บิวทิเรท และโพรพิโอเนท ที่มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนต่ำกว่าที่อยู่ในรูป free acid form ในสถานะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในบางกรณีอาจพบได้ถึง 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก

๗ อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพของถังปฏิกรณ์เนื่องจากการทำงานของถังปฏิกรณ์ต้องอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มที่สามารถเจริญเติบโต และเกิดเมตาบอลิซึมได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ (Ingraham. 1962)

ก. Psychrophilic range เป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 °ซ.

ข. Mesophilic range เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45 °ซ.

ค. Thermophilic range เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 °ซ.

อุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญเติบโตเป็นอุณหภูมิที่มีผลต่อองค์ประกอบของเซลล์ (Brown. 1957) กิจกรรมของเอนไซม์ในเซลล์ (Buswell. 1957) และสถานะโภชนาการของแบคทีเรีย (Brown. 1957) อาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่แบคทีเรียเจริญอยู่มีผลต่อชนิดและจำนวนของแบคทีเรียที่ปรากฏ ดังนั้น อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยภายนอกที่สำคัญในการกำหนดชนิดของแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ ได้มีรายงานว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะไร้อากาศเป็นก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0-55 ° ซ. แต่เพื่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ถังปฏิกรณ์ควรใช้งานในช่วง mesophilic และ thermophilic เท่านั้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2534) ตัวอย่างเช่น

ในกรณีของประเทศไทยซึ่งมีสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่อยู่ในเขตร้อน อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 30 °ซ. ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับช่วงอุณหภูมิ mesophilic มาก และอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยทั่วไปจึงไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้กับถังปฏิกรณ์ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการควบคุมลงไปได้มาก

โดยทั่วไปการดำเนินระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 °ซ. มีประสิทธิภาพสูงกว่าการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 35 °ซ. ถึง 1.9 เท่า (Bryant, 1979) อย่างไรก็ตามการดำเนินระบบที่ช่วงอุณหภูมิสูงมีข้อเสียที่ thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่ากับ mesophilic bacteria จึงมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวของระบบสูงและยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ให้เท่ากับ 55 °ซ.

อาหารเสริม (nutrients) นอกจากสารอินทรีย์ในระบบที่แบคทีเรียใช้เป็นสารอาหารโดยตรงแล้วแบคทีเรียยังต้องการธาตุอาหารอื่นในการสร้างเซลล์ใหม่ด้วย ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมากได้แก่ ไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) ธาตุอาหารที่จำเป็นดังกล่าวควรมีอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ ควรมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 100 : 22 : 0.4 หรือ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ถ้ามีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดต่ำลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย หรือเปลี่ยนสภาพแบคทีเรียได้ เช่น ทำให้ตะกอนของแบคทีเรียมีน้ำหนักเบา ถังปฏิกรณ์มีโอกาสสูญเสียชีวมวลได้มากขึ้น ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่มีความจำเป็นนอกเหนือไปจากสองธาตุดังกล่าวแล้วได้แก่แคลเซียม แมกนีเซียม โมลิบดีนัม โคบอลต์ และเหล็ก เป็นต้น ซึ่งแบคทีเรียต้องการธาตุเหล่านี้ในปริมาณน้อยมาก และโดยทั่วไปในน้ำทิ้งมีธาตุเหล่านี้ในปริมาณที่เพียงพออยู่แล้วดังนั้นในทางปฏิบัติจึงคำนึงถึงเพียงธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้น

สารพิษ (toxic substances) ภายในถังปฏิกรณ์ถ้ามีสารบางอย่างสะสมอยู่ในปริมาณมากเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียได้ซึ่งระดับความเป็นพิษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารนั้น ๆ ส่วนมากแล้วธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอ็อกซิเจนที่ valency สูงกว่าจะมีความเป็นพิษสูงกว่าธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมและอ็อกซิเจนที่ valency ต่ำกว่า นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพวก benzene ring แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ ถ้ามีอยู่ในระบบมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียด้วย ระดับความเข้มข้นของสารพิษที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบการย่อยสลายสาร

อินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศแสดงไว้ในตาราง 2 ส่วนระดับความเข้มข้นของอออนและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อระบบโดยตรงแสดงไว้ในตาราง 3

โดยทั่วไปในน้ำทิ้งมักมีสารพิษหลายชนิดปะปนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณสูงแต่กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ยังคงดำเนินต่อไปได้เนื่องจากสารพิษเหล่านั้นสามารถลดระดับความเป็นพิษของซึ่งกันและกันให้อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม (antagonism) ตัวอย่างเช่น ในกรณีพิษที่เกิดจากการมี Na^+ สูงถึง 3,500 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถทำให้หมดไปได้ ถ้าในระบบมี Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 50-1,000 มิลลิกรัม/ลิตรในทางตรงกันข้ามแคทอออนบางตัวกลับไปเพิ่มความเป็นพิษของแคทอออนหนึ่งเมื่ออยู่ร่วมกัน (synergism) (ธงชัยพรณสวัสดิ์. 2525)

สำหรับพิษที่เกิดจากโลหะหนักสามารถทำให้ลดลงได้ด้วยสารประกอบซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบหรือจากสารที่เติมลงในระบบแล้วสลายตัวให้ซัลไฟด์ทั้งนี้เนื่องจากซัลไฟด์ไปจับกับโลหะหนักต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของโลหะซัลไฟด์ซึ่งตกตะกอนและไม่ละลายน้ำ จึงสามารถลดความเป็นพิษจากโลหะหนักได้

ตาราง 2 ระดับความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในกระบวนการย่อย
สลายสารอินทรีย์ในสถานะไร้อากาศ (ชงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525)

สารพิษ	ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย (มิลลิกรัม/ลิตร)
Cu	1.0
Zn	5.0
Cr ⁶⁺	5.0
Cr ³⁺	2,000.0
Total Chromium	5.0
Ni	2.0
Cd	0.02
S ⁻	100.0
SO ₄ ²⁻	500.0
Ammonia	1,500.0
Na ⁺	3,500.0
K ⁺	2,500.0
Ca ²⁺	2,500.0
Mg ²⁺	1,000.0
Acetonitrite	5.0
Benzene	50.0
CCl ₄	10.0
Chloroform	0.1
Pentachlorophenol	0.4
cyanide	1.0

ตาราง 3 ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อระบบบำบัดได้โดยตรง
(ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525)

อิออนและโลหะ หนักที่เป็นพิษ	ความเข้มข้น		ผลที่มีต่อระบบ
	โมล/ลบ.คม.	มก./ลบ.คม.	
Na ⁺	0.2	4,600	เริ่มมีผลยับยั้งการทำงาน
	0.4	9,200	หยุดการทำงาน
K ⁺	0.05-0.10	1,900-3,900	ไม่มีผลยับยั้ง
	>0.1	>3,900	เริ่มมีผลยับยั้งการทำงาน
Mg ²⁺	0.35	13,650	หยุดการทำงาน
	>0.05	1,200	เริ่มมีผลยับยั้งการทำงาน
Ca ²⁺	0.2	4,800	หยุดการทำงาน
	0.075	3,000	เริ่มมีผลยับยั้งการทำงาน
S ²⁻	>0.2	>8,000	หยุดการทำงาน
	-	150 - 250	เริ่มมีผลยับยั้งการทำงาน
Cu	-	800	หยุดการทำงาน
	-	397	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 24 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
Zn	-	>500	หยุดการเกิดก๊าซ
	-	350 - 400	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
Ni	-	1,000	แบคทีเรียถูกทำลายจนหมด
	-	200	แบคทีเรียเริ่มถูกทำลาย
Cr	-	367	ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 23 ของเกณฑ์ที่ควบคุม
	-	500-1,000	แบคทีเรียถูกทำลายอย่างรุนแรง
	-	>1,000	แบคทีเรียถูกทำลายจนหมด
	-	200	แบคทีเรียเริ่มถูกทำลาย
	-	2,000	แบคทีเรียถูกทำลาย

สถานะและสารที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

เพื่อเป็นการป้องกันความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้นกับระบบของถังปฏิกรณ์สำหรับบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพในการดำเนินระบบจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญต่อปัจจัยที่มีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในระบบ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนซึ่งมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะแวดล้อมน้อยกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ โดยทั่วไปตัวแปรที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดการยับยั้งขึ้นในระบบคือการลดลงของผลผลิตก๊าซมีเทนการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ความล้มเหลวในการกำจัดค่าซีโอดีความล้มเหลวในการควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพต่อการรับภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น (overload)

สาเหตุที่ทำให้เกิดการยับยั้งในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จนได้ก๊าซมีเทนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สาเหตุ คือ การดำเนินการของระบบอย่างไม่มีประสิทธิภาพจนเกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียภายในระบบ และการปรากฏอยู่ของสารประกอบหรือธาตุที่เป็นพิษในของเหลวภายในระบบ

✓ การดำเนินการของระบบอย่างไม่มีประสิทธิภาพเกิดจากตัวแปรหลัก 2 ประการคือ pH และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย โดยทั่วไปแล้วกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตมีเทนจะถูกยับยั้ง เมื่อระบบมีค่า pH ต่ำกว่า 6.5 หรือสูงกว่า 8.2 แต่การมี pH ต่ำนี้ไม่มีผลรุนแรงจนเกิดการทำลายแบคทีเรียได้ มีผลเพียงแต่ยับยั้งการสร้างมีเทนเท่านั้น จากการศึกษาของ คีเฟอร์ และ เออเตส (Keefer and Urtes, 1962) พบว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สถานะที่มี pH ต่ำกว่า 5 ได้นานถึง 5 เดือน และแบคทีเรียดังกล่าวนี้อาจฟื้นสภาพได้ทันที เมื่อถึงการปรับ pH ให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสม หลังจากอาศัยอยู่ในสถานะที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 หรือสูงกว่า 8.2 ไม่เกิน 12 ชั่วโมง แต่ถ้าอยู่ในสถานะที่เกินไปกว่านี้ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งสำหรับการปรับตัวก่อนคืนสภาพปกติ

ในกรณีน้ำทิ้งดิบจากอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และการหมักดอง ที่มีสภาพความเป็นกรดสูง ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำทิ้งแต่เนื่องจากกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้นถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นกรดอินทรีย์ดังกล่าวนี้จึงไม่ใช่สาเหตุที่ทำให้เกิดสภาพ pH ในถังปฏิกรณ์ต่ำ และนอกจากนี้ในน้ำทิ้งดังกล่าวยังมีองค์ประกอบพวกไบคาร์บอเนต ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์ของระบบอีกด้วย แต่ถ้าในน้ำทิ้งดิบมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในปริมาณต่ำ (COD : N น้อยกว่า 100 : 2) จะไม่สามารถให้แอมโมเนียมคาร์บอเนตที่ทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์หลักแก่ระบบอย่าง

เพียงพอ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดสภาพการขาดแคลนอาหารเสริมต่อแบคทีเรียสร้างมีเทนทำให้เกิดสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นก๊าซมีเทนเนื่องจากการใช้ในโตรเจนที่มีอยู่จนหมดในระหว่างที่มีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายผลที่ตามมาคือมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นจำนวนมาก pH ของระบบลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศคือการมีสารประกอบหรือธาตุที่เป็นพิษในระบบ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

Alkali and Alkaline-Earth Cation Inhibition

โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักมีธาตุกลุ่ม alkali และ alkaline-earth อาทิเช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นส่วนประกอบเสมอ ธาตุเหล่านี้ถ้ามีอยู่ในระบบที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ จะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินระดับค่าที่กำหนดจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย จากการศึกษาของ Kugelman และ McCarty (Kugelman and McCarty, 1965) พบว่าธาตุกลุ่ม alkali และ alkaline-earth เป็นสาเหตุให้เกิดการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เมื่อธาตุใดธาตุหนึ่งในสองกลุ่มนี้มีค่าความเข้มข้นสูงเกินกว่า ระดับค่าที่กำหนด จะมีผลในการยับยั้งแบคทีเรียและการยับยั้งดังกล่าวจะลดลงอย่างมากเมื่อธาตุตัวอื่นๆในสองกลุ่มนี้ที่มีความเข้มข้นในระดับที่กำหนดเกิดปฏิกิริยาร่วมกันและมีผลในการลดการยับยั้งจากความเข้มข้นที่สูงเกินกว่าระดับที่กำหนดของธาตุนั้นต่อแบคทีเรีย ค่าความเข้มข้นในระดับที่กำหนดของธาตุเหล่านี้คือ 0.01 โมลาร์ สำหรับ Na^+ และ K^+ 0.005 โมลาร์ สำหรับ Ca^{++} และ Mg^{++}

การยับยั้งเนื่องจากโลหะหนัก (heavy metal inhibition)

โลหะหนักถูกพิจารณาเป็นธาตุที่มีผลต่อการยับยั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศมานานแล้วเนื่องจากโลหะหนักมีคุณสมบัติในการตกตะกอนได้ ดังนั้นระดับปริมาณที่ก่อให้เกิดการยับยั้งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการศึกษาของแต่ละบุคคล นอกจากนี้อาจเกิดจากการดำเนินระบบของถังปฏิกรณ์ในสถานะที่แตกต่างกันเช่น pH และช่วงอุณหภูมิที่ดำเนินการ ความเข้มข้นของน้ำทิ้งดิบ ลักษณะการป้อนสารอาหาร เวลาในการกักเก็บของเหลวภายในระบบ เป็นต้น ในบางกรณีค่าที่เปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากการเสริมฤทธิ์ หรือลดฤทธิ์ซึ่งกันและกัน และการปรับตัวของระบบต่อปริมาณโลหะหนัก

ศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าความเป็นพิษของ $\text{Zn} = \text{Cu} = \text{Cd} > \text{Cr(VI)} = \text{Cr(III)} > \text{Fe}$ ส่วนการควบคุม

ไม่ให้โลหะหนักยับยั้งกระบวนการย่อยสลายทำได้โดยการเติมซัลไฟด์ หรือ sulphide precursors (Kugelman. 1965) จากผลการทดลองของลอว์เรนและแมคคาร์ที (Lawrence and McCarty. 1965) พบว่าโลหะหนัก เช่น ทองแดง สังกะสี นิเกิล และเหล็ก ที่มีปริมาณสูง ๆ ไม่ก่อให้เกิดสภาพที่เป็นพิษต่อระบบ ถ้าระบบนั้นมีซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสมมูลย์ (equivalent) กับความเข้มข้นของโลหะหนักยกเว้นโครเมียมที่ยังมีความเป็นพิษได้เนื่องจากมันไม่สามารถรวมตัวกับซัลไฟด์เกิดเป็นเกลือของซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำได้ (Moscy and Huges. 1975)

การยับยั้งเนื่องจากซัลไฟด์ (sulphide inhibition)

ถึงแม้ว่าซัลไฟด์สามารถใช้เป็นตัวควบคุมโลหะหนักที่เป็นตัวยับยั้งในขั้นตอนการสร้างมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์แม้จะมีส่วนช่วยในการสร้างมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแต่ก็มีขีดจำกัดในเรื่องของปริมาณความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อระบบ จากการศึกษานี้ของ แอนเดอร์สัน (Anderson and others. 1982) สรุปได้ว่าสารประกอบซัลไฟด์ที่ละลายน้ำจะมีผลยับยั้งการสร้างมีเทนเมื่อในถังปฏิกรณ์มีปริมาณของซัลไฟด์มากกว่า 165 มิลลิกรัม/ลิตรขึ้นไป และเมื่อในระบบมีซัลไฟด์เท่ากับ 300 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีผลต่อการสร้างกรดอินทรีย์น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าสารประกอบซัลไฟด์มีผลเสียต่อการสร้างมีเทนมากกว่าการสร้างกรดอินทรีย์เพราะว่าการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลกระทบกระเทือนการสร้างมีเทนถึง 2 ประการ คือ ประการแรกการสร้างมีเทนถูกยับยั้งเนื่องจากไฮโดรเจนที่ใช้ในการสร้างมีเทนถูกแบคทีเรีย sulphate-reducing แย่งจับ ประการที่สอง เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง กว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร จะไปมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน

ปัจจัยในการปฏิบัติงาน

⊗ ระยะเวลาเก็บกัก เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารในกระบวนการหมักแบบอับอากาศจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งต่อจากนั้นก็ลดลง แต่ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้อยเกินไปจะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก จนกระทั่งอาจทำให้แบคทีเรียถูกล้างออกจากระบบในอัตราที่เร็วกว่าที่แบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลว นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บกักจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก สามารถหาได้โดยการหารปริมาณถึงหมักด้วยปริมาณของของเสียที่เติมลงในถังหมักต่อหน่วยเวลา

อัตราการป้อนอินทรีย์สาร เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดที่กำหนดความสามารถในการบำบัดของเสียการปรับอัตราการป้อนอินทรีย์สารให้มีค่าแตกต่างกันทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่ไหลผ่านถังหมัก หรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็ง หรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะมีผลต่อระยะเก็บกัก

การกวน การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบอับอากาศเนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่างๆของถังปฏิกรณ์และทำให้ของเหลวภายในมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังปฏิกรณ์มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป (ชาญชัย คุณวานากิจ. 2529)

สาเหตุที่ทำให้ระบบการหมักล้มเหลว

จากการศึกษาถึงปัจจัยของสิ่งแวดล้อมและปัจจัยในการทำงานเพื่อให้ได้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น สามารถสรุปสาเหตุของการล้มเหลวในการควบคุมระบบกำจัดของเสียโดยวิธีการย่อยสลายแบบอับอากาศดังนี้คือ (Graef and Andrews. 1974)

ก) การให้ของเหลวเข้าสู่ระบบมากเกินไป (hydraulic overloading) จะทำให้ระยะเวลาเก็บกักจุลินทรีย์ให้อยู่ในระบบ (residence time) ลดลงจนถึงจุดซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถที่จะเพิ่มจำนวน (reproduced) ได้ทัน ก่อนที่จะถูกล้างออกจากระบบ

ข) การให้ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป (organic overloading) จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน

ค) การให้ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ระบบมากเกินไป (toxic overloading) เมื่อสารพิษ เช่น โลหะหนัก สารเคมี แอมโมเนีย และออลอนลบเข้าสู่ระบบมากเกินไปจะไปทำลายแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนซึ่งสาเหตุของการตายเกิดจากการสะสมของสารพิษที่ความเข้มข้นสูง

คำจำกัดความของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย (Khan, Miller and Murray. 1983)

1) ระยะเวลาเก็บกัก คือระยะเวลาในการหมักซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการออกแบบการกำจัดของเสียตามทฤษฎีระยะเวลาเก็บกัก จะแทนเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก และหาได้โดยการหารปริมาตรของถังหมักด้วยปริมาตรของของเสียที่ไหลผ่านถังหมักต่อหน่วยเวลา ถ้าของเสียเดิมในถังหมักเป็นของแข็ง จะเรียกว่าระยะเวลาเก็บกักภาค (solid retention time, SRT)

2) ของแข็งทั้งหมด แสดงถึงปริมาณสิ่งเจือปนทั้งหมดในน้ำว่ามีมากน้อยเพียงใด เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่น พวกกรดอินทรีย์ และกรดต่าง ๆ ที่ละลายน้ำโดยสิ่งเจือปนที่เหลือนี้นี้เป็นของแข็งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งที่ละลายและไม่ละลายในน้ำ

3) ของแข็งระเหย (volatile solids) คือปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย จากคุณสมบัติของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเผาในอากาศที่มีอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และระเหยไปแต่สารอนินทรีย์จะคงอยู่ ดังนั้นจะบอกให้ทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ในวัตถุคิอย่างคร่าว ๆ

4) กรดอินทรีย์ระเหย (volatile acids) เป็นผลิตภัณฑ์ตัวกลางในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพอับอากาศได้แก่กรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 1 ถึง 5 อะตอมเป็นส่วนใหญ่

5) สภาพความเป็นด่างรวม (total alkalinity) เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงความเป็นบัฟเฟอร์ของระบบ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่า pH ซึ่งเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบ

6) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) คือค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำได้โดยวิธีการทางเคมี โดยค่าซีโอดีจะแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสียหรือน้ำทิ้ง ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาวิจัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะอับอากาศภายในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายประเภท เช่น แบคทีเรีย ฟังไจ และโปรโตซัว เป็นต้น พบว่าแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่หลักในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพส่วนจุลินทรีย์อื่นอาจมีส่วนช่วยเหลือทางด้านระบบนิเวศของถังปฏิกรณ์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของก๊าซชีวภาพตามขั้นตอนต่าง ๆ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ non-methanogenic bacteria และ methanogenic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (non-methanogenic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้ที่พบส่วนใหญ่เป็น facultative bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสาร

อินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ CO_2/H_2 แอมโมเนีย และ ซัลไฟด์ เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม (Novaes, 1986) ดังนี้

1. Hydrolytic/Fermentative bacteria

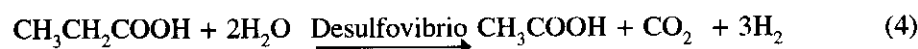
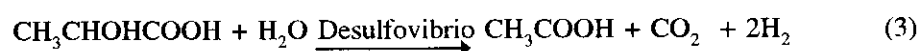
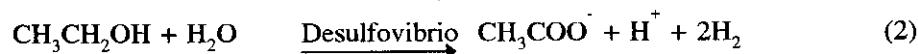
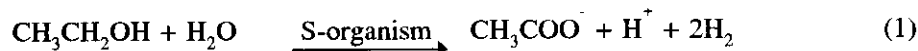
แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสถานะอับอากาศ โดยผลิตเอ็นไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ แล้วเปลี่ยนเป็นสารอื่น ๆ เช่น แอลกอฮอล์ อะซิเตท และโพรพิโอเนท เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ จุลินทรีย์ที่อยู่ใน Family Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Lactobacillaceae และ Streptococaceae

2. Acetogenic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วให้กรดอะซิติกเป็นผลผลิต แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

2.1. Hydrogen producing acetogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัวได้ กรดอะซิติกและไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียที่ทำกรย่อยสลาย ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้



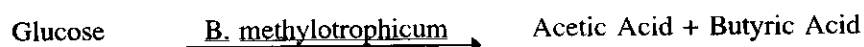
แบคทีเรียในกลุ่มนี้โดยรวมแล้วเรียกว่า S-organism เป็นแบคทีเรียที่สามารถออกซิไดส์ เอทานอลเป็นกรดอะซิติกได้ดังสมการที่ 1 นอกจากนี้แบคทีเรียที่อยู่ใน Genus Desulfovibrio ก็จัดอยู่ในแบคทีเรียกลุ่มนี้เช่นกัน ในสถานะที่ขาดแคลนซัลเฟต แบคทีเรีย Desulfovibrio สามารถออกซิไดส์ เอทานอล และแลกเตทไปเป็นอะซิเตทได้ ดังสมการที่ 2 - 4 ในสภาวะปกติแบคทีเรียกลุ่มนี้มักอาศัยอยู่ร่วมกับ Hydrogen-consuming methanogenic bacteria แบบ Symbiosis ในระหว่างการย่อยสลายแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ดึงออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบไปใช้ทำให้ปริมาณออกซิเจนใน

ระบบลดลง เกิดสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย methanogenic bacteria ซึ่งทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ทำให้ระบบมีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำเหมาะสมต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์ที่เป็นอะซิเตท ตัวอย่างเช่นในกรณีปฏิกิริยาการเปลี่ยนโพรพิโอเนทเป็นอะซิเตท ที่มักจะเกิดขึ้นในระบบที่มีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ ถ้าค่าความดันย่อยของไฮโดรเจนสูงกว่า 10^{-4} atm พลังงานอิสระของการเกิดปฏิกิริยามีค่าเป็นบวก ปฏิกิริยาดังกล่าวก็จะเกิดได้ยากขึ้นตามไปด้วย ทำให้มีการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบมากขึ้น ค่า pH ของระบบลดลง เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อ methanogenic bacteria

2.2 Homoacetogenic bacteria

แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นทั้งพวก autotroph และ heterotroph ขึ้นอยู่กับการใช้สารอาหารในกรณีพวก autotroph ได้แก่แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม (H_2/CO_2) ในการเจริญเติบโต ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นอะซิเตท ส่วนพวก heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดแลกติก และ ไพรูเวท ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งบิวทีเรทและอะซิเตท ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่พบมากและมีคุณสมบัติเหมาะสมในกลุ่มแบคทีเรียนี้ ตัวอย่างเช่น *Acetobacterium woodii* , *Clostridium thermoaceticum* นอกจากนี้ยังมีพวก *Butyribacterium methylotrophicum* ซึ่งสามารถดำรงชีวิตได้ทั้งแบบ autotroph และ heterotroph



แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียในกลุ่มนี้ถูกจัดให้อยู่ในพวก Archaeobacteria เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างจาก eubacteria และ eucaryote อย่างเด่นชัดคือ ผนังเซลล์ของ archaeobacteria ไม่มี murein เป็นองค์ประกอบ และใน rRNA พบว่ามี pseudouridine หรือ 1-methylpseudouridine เป็นองค์ประกอบแทนที่ ribothymidine นอกจากนี้ยังมีการเรียงลำดับของกรดนิวคลีโอไทด์ ใน 5S 16S และ 23S rRNA ที่แตกต่างไปจาก eubacteria และ eucaryote

แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก Obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่า pH อยู่ในช่วง 7.0-7.8 ทำให้มีความ

ทนทานต่อการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมได้น้อยและมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน โดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วันในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า เมื่อพิจารณาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมพบว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนี้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากแบคทีเรียอื่น ๆ หลายอย่าง เช่น มี coenzyme M , F₄₂₀ , F₄₃₀ , methanopterin และ methanofuran นอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียกลุ่มนี้ยังประกอบด้วย ether-linked isoprenoids เป็นหลักมากกว่า ester-linked phospholipid

จากการศึกษาด้วยการย้อม gram-stain พบว่า แบคทีเรียที่สร้างมีเทนใน order เดียวกันมีทั้งชนิดที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบขึ้นอยู่กับชนิดของ cell envelop ในแบคทีเรียชนิดแกรมบวกจะมี pseudomurein, methanochondroitin และ heteropolysaccharide ในผนังเซลล์ ส่วนเซลล์แบคทีเรียชนิดแกรมลบนั้นมีชั้นผิวเป็น glycoprotein สำหรับรูปร่างของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนี้มีลักษณะที่ต่างจากกันเช่น spherical, lobed, spiral, plate หรือ rod และอาจอยู่ในรูปเซลล์เดี่ยว ๆ หรือต่อกันเป็นสายยาว หรือมีการเกาะกลุ่มอาศัยอยู่รวมกัน เซลล์แบคทีเรียมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1 - 15 µm. ความยาวของสายอาจยาวถึง 220 µm. การขยายพันธุ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น binary fission, budding constriction และ fragmentation เป็นต้น การแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน สามารถแบ่งโดยใช้หลักต่าง ๆ ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะรูปร่างของเซลล์ ได้ 3 กลุ่ม

ก. Methanobacterium มีรูปร่างเป็นแท่ง

ข. Methanosarcina มีรูปร่างกลม และอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

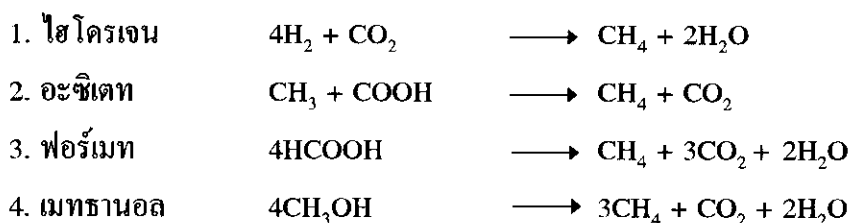
ค. Methanococcus มีรูปร่างกลม

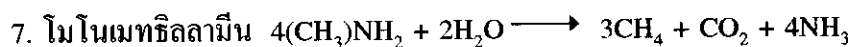
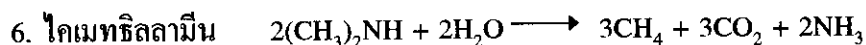
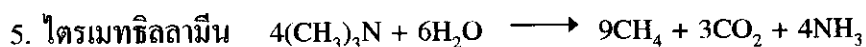
2. แบ่งตามชนิดของสารอาหารตั้งต้นที่ใช้ได้เป็น 2 กลุ่ม

ก. Methylotrophic ใช้อะซิเตท เมทธานอล methylamine

ข. Non-methylotrophic ใช้ไฮโดรเจน/คาร์บอนไดออกไซด์ และ ในบางครั้งสามารถใช้

ฟอร์เมทได้ด้วยเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนใช้สารอาหารได้เพียงไม่กี่ชนิดและไม่สามารถสร้างอะซิเตทหรือไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์หลักจึงต้องอาศัยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ปฏิบัติการย่อยสลายสารตั้งต้นต่าง ๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนมีดังนี้





การดำรงชีวิตอยู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนขึ้นอยู่กับกร่อยสลายสารอาหารต่าง ๆ โดยจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นสารอาหารสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเอง

จากการย่อยสลายกรดไขมันเช่น บิวทีเรตไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยอาศัยจุลินทรีย์พวก H_2 -producing acetogen ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดไขมันสายยาวไปเป็นไฮโดรเจน อะซิเตท และโพรพิโอเนท และไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลยับยั้งการทำงานของ เอ็นไซม์ ดีไฮโดรจีเนสของจุลินทรีย์เหล่านี้ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนหรือจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนอื่น (Interspecies H_2 transfer) จะเข้ามามีบทบาทในการกำจัดไฮโดรเจน แสดงให้เห็นถึงการอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นแบบพึ่งพาอาศัยกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิทยาศาสตร์พยายามศึกษาหาวิธีการในการกำจัดของเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เหมาะสม วิธีการหนึ่งคือการนำกากเหลือทิ้งทางการเกษตรมาหมักแบบอับอากาศ และสามารถผลิตพลังงานคือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ การหมักแบบอับอากาศนี้ได้มีการพัฒนาวิธีการและระบบเรื่อยมา โดยทั้งระบบขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์สองกลุ่ม คือ กลุ่มที่ผลิตกรดอินทรีย์และกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน และอีกระบบหนึ่งคือแบบสองขั้นตอนโดยแยกขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์และขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนออกจากกัน และมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอนในการผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพ เช่น การเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ อัตราการป้อนอินทรีย์สาร ระยะเวลาเก็บกัก และลักษณะของวัตถุดิบเป็นต้น (Ghosh. 1983)

สภาวะต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการย่อยสลายอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของกระบวนการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอน จากการทดลองหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอนในการผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำตาลกลูโคสใน Continuous Flow Stirred Tank Reactor แบบอับอากาศ พบว่าเมื่อมีอัตราการป้อนน้ำตาลกลูโคสจาก 2.5 กรัมต่อลิตรต่อวันจนถึง 75 กรัมต่อลิตรต่อวัน ที่ pH 6.0 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะให้ผลผลิตพวกกรดบิวทีริก กรดอะซิติกและกรดแลคติกเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณเอทานอลและโพรพานอลไม่เปลี่ยนแปลง (Zoetemeyer and others. 1982 a) นอกจากนี้การหมักแบบอับอากาศของน้ำตาลกลูโคสใน Fluidized-Bed Bioreactor พบว่า

เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารจาก 2.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน จนถึง 7.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน พบว่าปริมาณ กรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ส่วนกรดบิวทีริกและกรดโพรพิโอนิกจะคงที่ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารไปจนถึง 21.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน พบว่าปริมาณของกรดบิวทีริกจะเพิ่มขึ้นมาก กรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนกรดโพรพิโอนิก ค่อนข้างคงที่ (Sreekrishnan, Ramachandran and Ghosh. 1991) และในการศึกษาการหมักแบบอับอากาศของน้ำตาลกลูโคสใน Upflow Reactor ที่ pH 5.9 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน จะได้กรดแลกติกเป็นผลิตภัณฑ์หลัก รองลงมาคือ บิวทีริก อะซิติกและวาเลอริกตามลำดับ และที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน จะได้กรดบิวทีริกเป็นผลิตภัณฑ์หลัก รองลงมาคืออะซิติก และโพรพิโอนิก ส่วนแลกติกจะได้ปริมาณน้อยที่สุด (Zoetemeyer and others. 1982) จากการศึกษาการสะสมชีวมวลในถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรอง ที่ป้อนด้วยสารอาหารชนิดต่างๆ คือ น้ำตาลกลูโคส อะซิเตท และ egg albumin ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ การศึกษามีการแบ่งกลุ่มชีวมวลในถังปฏิกรณ์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ ชีวมวลที่อยู่บนวัสดุรองรับระดับบน ชีวมวลที่อยู่บนวัสดุรองรับระดับล่าง และชีวมวลที่อยู่อย่างอิสระไม่เกาะติดอยู่กับวัสดุรองรับ ผลการศึกษาพบว่าในทุกถังปฏิกรณ์ ชีวมวลที่อยู่บนวัสดุรองรับระดับล่างมีปริมาณมากกว่าชีวมวลที่อยู่อย่างอิสระและชีวมวลที่อยู่บนวัสดุรองรับระดับบนตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก methanogenic bacteria พบว่า ชีวมวลที่อยู่บนวัสดุรองรับระดับบนมีกิจกรรมของ methanogen มากกว่าชีวมวลในส่วนอื่นๆ (Hanaki and others. 1994)

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองที่มีการป้อนสารอาหารทางด้านล่าง กับถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มที่มีทิศทางการป้อนสารอาหารทางด้านบน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตปลาห่านกระป๋อง ผลการศึกษาพบว่า ถังปฏิกรณ์ทั้งสองสามารถบำบัดน้ำเสียดังกล่าวซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูงได้ดี ถึงแม้ว่าชีวมวลในถังปฏิกรณ์ทั้งสองมีกิจกรรมของ methanogen เหมือนกัน แต่ถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองสามารถกำจัดซีโอดี และผลิตก๊าซมีเทนได้ดีกว่าถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์ม เนื่องจากถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองสามารถเก็บจุลินทรีย์ไว้ได้มากกว่า (Veiga and others. 1994)

จากการศึกษาอัตราการไหลของน้ำเสียซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์ (OLR) ระยะเวลาการกักเก็บของเหลว (HRT) และระยะการกักเก็บของแข็ง(SRT) ภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งในระบบที่ดีควรมี อัตราการรับภาระสารอินทรีย์ (OLR) ระยะเวลาการกักเก็บของเหลว

(HRT) และระยะการกักเก็บของแข็ง (SRT) ที่เหมาะสมเพื่อให้ น้ำเสียไหลผ่านวัสดุรองรับอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวถังปฏิกรณ์ สารอาหารมีโอกาสสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงโดยไม่ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่เป็นแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนถูกพัดพาออกจากถังปฏิกรณ์ได้มากขึ้น ถ้าดำเนินระบบด้วย HRT สั้น ๆ จุลินทรีย์ที่แขวนลอยภายในของเหลวจะถูกพัดพาออกไปพร้อมกับ effluent มากขึ้น ในกรณีนี้การกำจัดค่าซีโอดีส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นโดยการทำงานของจุลินทรีย์บนวัสดุรองรับ แต่เนื่องจากวัสดุรองรับมีข้อจำกัดในการกักเก็บจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์เองก็ไม่สามารถเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนได้ทัน ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบจึงขึ้นอยู่กับอัตราการรับภาระสารอินทรีย์เป็นหลักและถ้าระบบมี HRT ที่นานขึ้น จะสามารถกำจัดอินทรีย์สารได้มากขึ้น (Hmandes and Cordoba. 1994)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ลูกผสมระหว่างถัง UASB กับถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์ม ในการบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรที่ผ่านการกรองแล้ว จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ถังปฏิกรณ์ลูกผสม ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 57 และให้ผลผลิตมีเทนประมาณ 0.7 ลิตรต่อวัน เมื่อมีอัตราการป้อนอินทรีย์สารในระดับปานกลาง โดยไม่มีการเติม granular sludge ลงไปในระหว่างเริ่มต้นระบบ ถึงแม้จะมีการสูญเสีย sludge ไประหว่างการทำงานของระบบ แต่อัตราการผลิตมีเทนกลับเพิ่มขึ้นพร้อมกับมีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นส่วนประกอบของ effluent ในระดับที่ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มชีวมวลบนเส้นเชือกที่ใช้เป็นวัสดุตัวกลางมีบทบาทสำคัญในการรักษาการทำงานและการผลิตมีเทนของระบบให้คงที่ (Lo and others. 1994)

จากการศึกษาสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรเป็นวัตถุดิบในการหมัก ในถังหมักขนาด 1.5 ลิตร โดยการป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง ระยะเวลาเก็บกักนาน 3 วัน ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 30 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า การหมักกากมะเขือเทศในขั้นตอนแรกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงเท่ากับ 1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 45 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 971 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 915 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สารตัวกลางที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกของการหมักกากมะเขือเทศนี้คือ เอทานอล กรดบิวทีริก กรดโพรพิโอนิก กรดแวลีริกและกรดอะซิติก และพบว่าเมื่ออุณหภูมิของการหมักสูงขึ้น ปริมาณของเอทานอล กรดบิวทีริกและกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของกรดโพรพิโอนิกและกรดแวลีริกลดลง (เครือวัลย์ เคลื่อนสูงเนิน. 2537)

จากการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตชีส โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิด UASB ขนาด 4 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการทดลองเป็นระยะเวลานานกว่า 1 ปี พบว่าที่ภาระการรับอินทรีย์สาร 31 กรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารร้อยละ 90 โดยทำการทดลองที่ภาระการรับอินทรีย์สารสูงสุดที่ 45 กรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน ประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารร้อยละ 70 ถึง 80 (Rico Gutierrez and others. 1991)

จากการศึกษาการผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Contact ขนาด 25 ลิตร และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง การเติมน้ำทิ้งเป็นแบบต่อเนื่อง จุลินทรีย์ที่ออกจากถังปฏิกรณ์จะถูกตกตะกอน แล้วสูบกลับเข้าถังปฏิกรณ์ใหม่ โดยการทดลองนี้ใช้น้ำทิ้งที่มีค่า COD สูง 22,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและเติมอาหารเสริมคือ ฟอสฟอรัส ซึ่งมีความเหมาะสมกว่าในน้ำทิ้งที่มีค่า COD ต่ำเพียง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เติมอาหารเสริม สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอินทรีย์นี้คือควบคุมที่ HRT 1 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร ประมาณ 22 กิโลกรัม COD ต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน ซึ่งให้ประสิทธิภาพและอัตราการผลิตกรดอินทรีย์สูง แต่ประสิทธิภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 21.39 กิโลกรัม COD ต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน HRT 1 วัน ไม่จำเป็นต้องควบคุม pH ในถังปฏิกรณ์ให้เป็นกลาง เมื่อไม่มีการควบคุม pH ระบบหมักผลิตกรดอินทรีย์มีความเข้มข้นสูงถึง 5,800 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการผลิตกรดอินทรีย์สูงถึง 4.67 กิโลกรัม ในรูปกรดน้ำส้มต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์สูงถึง 0.4 กิโลกรัม ต่อกิโลกรัมสารอินทรีย์ที่ถูกทำลาย กรดอินทรีย์ที่ผลิตได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปหมักต่อเป็นก๊าซมีเทนหรือเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยไม่ต้องเติมสารอาหารเสริมและปรับ pH เลย (สุเมธ ขวเดช และคนอื่นๆ. 2530)

การผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำบีบเปลือกสับปะรด พบว่า pH มีผลต่อความเข้มข้นและชนิดของกรดอินทรีย์ที่ระบบผลิตได้ เช่นที่ pH 6.0 ซึ่งเป็นค่า pH สูงสุด ในการทดลอง ระบบจะให้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงสุดโดยเฉพาะกรดอะซิติก ทั้งนี้เนื่องจาก pH 6.0 เป็น pH ที่เหมาะต่อการทำงานของจุลินทรีย์พวก acid forming bacteria, butyric acid bacteria, และ lactic acid bacteria แต่เมื่อ pH ของระบบผลิตกรดอินทรีย์ต่ำลง (pH 4.5 และไม่ควบคุม pH) พบว่าความเข้มข้นของกรดที่ผลิตได้จะต่ำลงและชนิดของกรดอินทรีย์เปลี่ยนไป เนื่องจากที่ pH ต่ำกว่า 6.0 จะมีผลต่อการทำงานของ acid

forming bacteria และ butyric acid bacteria ทำให้ความเข้มข้นของ กรดอินทรีย์ที่ผลิตได้น้อยลง และ มีการสะสมของกรดบิวทีริกและกรดแลกติกมากขึ้น (วิเชียร พันธุ์ . 2534)

จากการศึกษาการผลิตกรดอินทรีย์จากมะเขือเทศเมื่อมีการหมักแบบครั้งคราว (batch) โดยทำการหมักในถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส และ 32 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง พบว่า หลังจากทำการหมักไปได้ 41 ชั่วโมง pH ของทั้งสองถังลดลงเหลือ 4.2 และเมื่อการหมักสิ้นสุดลงในถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มี pH เป็น 3.6 และถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส มี pH เป็น 3.4 ขณะที่ทำการหมักไปได้ 41 ชั่วโมงแล้วนั้นความเข้มข้นของกรดบิวทีริกในถังปฏิกรณ์ไม่เพิ่มขึ้นอีกเลย แสดงว่าจุลินทรีย์พวกที่สร้างกรดบิวทีริกไม่สามารถเจริญได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.2 ในขณะที่ความเข้มข้นของกรดแลกติกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักซึ่งใช้เวลา 250 ชั่วโมง ดังนั้นจุลินทรีย์พวกที่สร้างกรดแลกติกจึงสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูงได้ดีกว่าจุลินทรีย์พวกที่สร้างกรดบิวทีริก (Koster. 1984)

จากการวิจัยเกี่ยวกับผลของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าโดยทั่วไปอัตราการย่อยสลายในช่วงเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นยกเว้นในกรณีของกรดอะซิติกมีอัตราการย่อยสลายสูงสุดที่ความเข้มข้นตั้งต้นของกรด 30 มิลลิโมลาร์ และลดลงที่ความเข้มข้นสูงกว่า 40 มิลลิโมลาร์ ที่ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เท่ากัน พบว่ากรดบิวทีริกถูกใช้ได้รวดเร็วที่สุดตามด้วยกรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก และในการย่อยสลายกรดบิวทีริกและกรดโพรพิโอนิกให้กรดอะซิติกเป็นสารตัวกลางความเข้มข้นของกรดอะซิติก ในช่วง 30 มิลลิโมลาร์ไม่มีผลต่อการย่อยสลายกรดบิวทีริก แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3.3 มิลลิโมลาร์ ขยับยังการย่อยสลายกรดโพรพิโอนิก นอกจากนี้กรดโพรพิโอนิกมีผลยับยั้งการใช้กรดบิวทีริก ดังนั้นเมื่อกรดอะซิติกยับยั้งการใช้กรดโพรพิโอนิกส่งผลยับยั้งการใช้กรดบิวทีริกด้วย (จกมล พูนทวี. 2537)

การหมักโปรตีนแบบอับอากาศขั้นตอนเดียว (Single Batch) โดยย่อยสลายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส 30 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการย่อยสลายอินทรีย์สารสูงขึ้นเป็นร้อยละ 46.0 49.4 และ 50.3 ตามลำดับ (Maly and Radrus. 1971) การหมัก Slopwaste ซึ่งเตรียมได้โดยการหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล (molasses) กับยีสต์ ของเสียที่ได้หลังจากการกลั่นระเหยเอทานอลแล้วเรียกว่า Slopwaste Slopwaste จะประกอบด้วยปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 11.50 ของแข็งระเหยร้อยละ 9.76 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 3.45 ไนโตรเจนร้อยละ 0.16 ฟอสฟอรัสร้อยละ 2.01 และซัลเฟตร้อยละ 0.20 และหมัก Slopwaste แบบอับอากาศโดยการ

ป้อนแบบกึ่งต่อเนื่องที่อุณหภูมิปานกลาง 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะให้กรดอะซิติกและโพรพิออนิกสูงกว่าการหมักที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แต่จะให้กรดบิวทีริกต่ำกว่า (Permpong, Gaysorn and Susumu. 1985) และในการศึกษาสารตัวกลางในกระบวนการย่อยสลายเปลือกสับปะรด แบบอับอากาศสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยมีการป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าการหมักที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกสูงกว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แต่พบกรดโพรพิออนิก เฉพาะที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เท่านั้น (หัตยา ทิพยะวัฒน์. 2531) นอกจากนี้การศึกษาการหมักแบบต่อเนื่องใน Continuously Stirred Tank Reactor โดยใช้ของเสียจากการชำแหละเนื้อ (meat waste) และเมทธานอลเป็นอาหารของจุลินทรีย์ มีระยะเวลาเก็บกัก 3.4 วัน 6.8 วัน และ 13.5 วัน พบว่า มีปริมาณอินทรีย์ระเหยทั้งหมดเป็น 1,751 1,996 และ 2,070 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ลิตรโดยมีกรดอะซิติกเป็น 960 1,085 และ 1,135 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ลิตรและกรดโพรพิออนิก เป็น 301 319 335 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ลิตรตามลำดับคือเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานจะมีกรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก กรดแวนิลิกสูงขึ้นแต่มีกรดไอโซบิวทีริกลดต่ำลง (Dinopoulau and lester. 1989)

การศึกษาผลของปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นแบบผสม (heterogeneous mixed culture) ในระบบการหมักที่ผลิตกรดอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่เป็น up-flow system ทำการหมักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และควบคุม pH ในถังปฏิกรณ์โดยใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1.0 นอร์มัล และอาหารเลี้ยงจุลินทรีย์ประกอบด้วย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 7.5 กรัมต่อลิตร KH_2PO_4 6.5 กรัมต่อลิตร MgSO_4 1.5 กรัมต่อลิตร NaCl 0.5 กรัมต่อลิตร Cerelese (monohydrate glucose) 50 กรัมต่อลิตร จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ผ่านการเตรียมโดยการทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 g เป็นเวลา 15 นาที ล้างตะกอนจุลินทรีย์ด้วยน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 9 กรัมต่อลิตร แล้วนำไปตกตะกอนโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง แล้วทำการทดลองโดยใช้ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นเป็น 0.4 2.5 3.6 6.5 กรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่าที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นต่ำ จุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญและเพิ่มจำนวนได้ต่ำ ที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นสูงขึ้น จะมีอัตราการเจริญรวดเร็วและสามารถใช้อาหารได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีช่วงที่เป็น lag phase นาน เมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดงว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการหมักเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น ที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นต่ำจะสร้างกรดแลกติกได้ปริมาณสูงสุดเมื่อทำการหมักไป 60 ชั่วโมง เมื่อปริมาณ

จุลินทรีย์เริ่มต้นสูงขึ้นมีการสร้างกรดบิวทีริกมากกว่ากรดแลกติก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นมีผลต่อสัดส่วนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นต่ำ กรดแลกติกจะถูกสร้างขึ้นก่อนในอันดับแรก ต่อจากนั้นจึงมีการสร้างกรดอะซิติกและกรดบิวทีริก รวมทั้งเอทานอลด้วยในปริมาณหนึ่ง แต่เมื่อใช้ปริมาณของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูง กรดอะซิติกจะถูกสร้างในอันดับแรก ตามด้วยการสร้างกรดบิวทีริกและไม่พบกรดแลกติกเลย (Gomez and Goma. 1986)

นอกจากปริมาณของจุลินทรีย์เริ่มต้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก ยังพบว่า pH มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในการผลิตกรดอินทรีย์ด้วย นั่นคือที่ pH 5.8 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดอินทรีย์จากขยะและอุจจาระของคน (Verstraete and others. 1981) และ pH 6.0 เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกรดอินทรีย์จากกลูโคส (Zoetemeyer and others. 1982)

จากรายงานการวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพของโรงงานสุราอยุธยาแบบ Anaerobic Contact Process มีน้ำกากส่าที่ต้องบำบัดวันละ 900 ลูกบาศก์เมตร ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียในรูป บีโอดี และ ซีโอดี ประมาณ 35,000 และ 100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพในการลดซีโอดีร้อยละ 55 ได้ก๊าซชีวภาพที่มี มีเทนร้อยละ 50-55 วันละ 28,000- 30,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2538)

จากการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจาก Silage effluent โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองที่ใช้หินปูนก้อนเล็กๆ บรรจุภายในถังปฏิกรณ์ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 ถึง 33 องศาเซลเซียส ภาระการเติมอินทรีย์สาร 7.8 ถึง 14.2 กิโลกรัม COD ต่อลูกบาศก์เมตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการใช้สารอินทรีย์อยู่ระหว่าง ร้อยละ 86 ถึง 89 และได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 81 ถึง 88 (Barry and Colleran. 1984)

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบระหว่างการหมักแบบอับอากาศชั้นตอนเดียวและ สองชั้นตอนโดยใช้กากเหลือทิ้งและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำอัดลมซึ่งมีค่าซีโอดีสูง ผลการทดลองพบว่าการหมักแบบอับอากาศชั้นตอนเดียวโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบที่มีการกวนธรรมดา รับภาระการเติมปริมาณอินทรีย์สารได้น้อยและใช้ระยะเวลาเก็บกักนาน แต่กระบวนการหมักแบบอับอากาศสองชั้นตอนสามารถรับภาระการเติมอินทรีย์สารได้สูงถึง 12 กิโลกรัม ซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรถังปฏิกรณ์ต่อวัน ลดระยะเวลาเก็บกักได้ต่ำถึง 13 ชั่วโมง ทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดเล็กซึ่งจะลดต้นทุนในการสร้างถังปฏิกรณ์และต้นทุนในการดำเนินงาน (Ombregt and Pipyn. 1985) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาหา กระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบต่าง ๆ กันเช่น การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผัก (vegetable solid wastes) โดยเปรียบเทียบระหว่าง

กระบวนการหมักแบบอับอากาศชั้นตอนเดียวและสองชั้นตอน โดยทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส กระบวนการหมักแบบชั้นตอนเดียวใช้ถังปฏิกรณ์แบบมีการกวน ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 16 ลิตร ป้อนอินทรีย์สารวันละครั้ง การทดลองแบบสองชั้นตอนนั้น ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์แบบมีการกวน ปริมาตรถังปฏิกรณ์ 7 ลิตร ป้อนอินทรีย์สารที่เป็นของแข็งวันละครั้งในขั้นตอนนี้มีการควบคุม pH โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วย และในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนนั้นมีการป้อนอินทรีย์สารอย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองพบว่ากระบวนการหมักแบบชั้นตอนเดียวสามารถรับภาระการเติมปริมาณอินทรีย์สารได้ 3.6 กรัมของของแข็งทั้งหมดต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน ได้ก๊าซมีเทน 0.371 ลิตรต่อกรัมของของแข็งระเหยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระบวนการหมักแบบสองชั้นตอน พบว่าสามารถรับภาระการเติมปริมาณอินทรีย์สารได้ 5.65 กรัมของของแข็งทั้งหมดต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน ให้ก๊าซมีเทนได้สูงถึง 0.42 ลิตร ต่อกรัมของของแข็งระเหยได้ (Verrier and others, 1987)

จากการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำที่บิบจากกากเหลือทิ้งจากการทำกาแฟ พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบวนการหมักแบบชั้นตอนเดียวถึงถังปฏิกรณ์สามารถรับปริมาณการเติมของแข็งระเหยได้ 0.5 - 3 กรัมต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวันที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน อัตราการเติมของแข็งระเหย 0.97 กรัมต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.55 ลิตรต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน โดยมีองค์ประกอบเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 79 แต่เมื่อใช้กระบวนการหมักแบบสองชั้นตอน พบว่าสถานะที่เหมาะสมทำให้ระบบอยู่ตัวคือ ขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ใช้ระยะเวลาเก็บกัก 0.5 วัน ที่ภาระการเติมของแข็งระเหยได้ 5.6 กรัมต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวันและในขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทนมีระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน ที่ภาระการเติมของแข็งที่ระเหยได้ 1.8 กรัมต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 1.9 ลิตร ต่อลิตรถึงถังปฏิกรณ์ต่อวัน (Calzada, 1984)

จากการศึกษาถึงผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบอับอากาศในถังหมักที่บรรจุตัวกรองทำด้วยโลหะรูปอานม้าโดยใช้น้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นวัตถุดิบ มีกลูโคส และน้ำแช่ข้าวโพด (corn steep liquor) เป็นองค์ประกอบและศึกษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ กันคือ ให้มีอัตราการป้อนอินทรีย์สารอยู่ในช่วง 1 ถึง 13 กิโลกรัม ซีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกักระหว่าง 12 ถึง 24 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาเก็บกักต่ำสุดที่ทำให้ระบบอยู่ตัวที่สุดคือ 12 ชั่วโมง สามารถขจัดอินทรีย์สารในรูปของซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 90 ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 11 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน (Minyang and others, 1992)

จากการศึกษาการย่อยสลายของเหลือทิ้งจากตลาดในเมือง Barcelona ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน 12 วัน 14 วัน และ 20 วัน ในถังปฏิกรณ์ขนาด 3 ลิตร โดยของเหลือทิ้งเป็น สารละลายที่มี ปริมาณของแข็งร้อยละ 3.96 พบว่ามีการสร้างก๊าซมีเทนได้ปริมาณสูงสุดที่ 0.478 ลูกบาศก์เมตรต่อ กิโลกรัมของแข็งทั้งหมด (Mata and others. 1992)

จากการศึกษาการจัดของเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปของผัก และผลไม้ซึ่งเกิด จากผักและผลไม้หลายชนิด เช่น มะม่วง สับปะรด มะเขือเทศ กะหล่ำ และส้ม เมื่อทำการทดลองที่ ระยะเวลาเก็บกักและปริมาณการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน พบว่าที่ปริมาณการป้อนอินทรีย์สาร 40 กิโลกรัมของของแข็งทั้งหมดต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน ปริมาณ ก๊าซสูงสุดคือ 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งทั้งหมด โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 51 ถึง 53 (Viswanath and others. 1992)

การวิจัยเกี่ยวกับน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัด ราชบุรีซึ่งมีค่าซีโอคืออยู่ในช่วง 1,950-45,200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทดลองใส่ในถังปฏิกรณ์แบบมีตัว กรอง และแบบครึ่งฟิล์มขนาดความจุ 50 ลิตร พบว่าสามารถลดปริมาณอินทรีย์สารได้ถึงร้อยละ 80 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นประมาณ 2.9 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของถังหมักต่อวัน มีก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 60 - 70 (มรกต ดันดิเจริญ. 2534)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกัก โดยทดลองหมักมูลวัวในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร ที่ ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ คือ 0.9 วัน 1.5 วัน 2.1 วัน 6 วันและ 8 วัน พบว่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจะ ทำให้การขจัดอินทรีย์สารสูงขึ้น การลดระยะเวลาเก็บกักไม่มีผลในการยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซ ชีวภาพ และระยะเวลาเก็บกัก จะไม่มีผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพด้วย (Sanchez. 1992)

การย่อยสลายกากมะเขือเทศแบบอับอากาศขั้นตอนเดียวในถังปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร โดย เตรียมกากมะเขือเทศให้มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ 1.3 2.4 3.2 12.7 และ 20 มิลลิเมตร มีอัตราการป้อน อินทรีย์สาร 3 กรัมของของแข็งระเหยต่อลิตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน ใช้ระยะเวลาเก็บกัก 18 วัน พบว่ากาก มะเขือเทศที่มีขนาด 1.3 มิลลิเมตรสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุด คือผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.81 ลิตรต่อ ลิตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน มีการขจัดของแข็งระเหยได้มากที่สุดคือร้อยละ 60.3 ของของแข็งทั้งหมด ใน ขณะที่กากมะเขือเทศที่มีขนาด 20 มิลลิเมตร ผลิตก๊าซได้เพียง 0.25 ลิตร ต่อถึงปฏิกรณ์ต่อวัน (Hill and Nakano. 1984)

จากการศึกษาเมื่อใช้น้ำหมักที่มีความเข้มข้นของอินทรีย์สารประมาณ 1.5 กรัม ซีโอดีต่อลิตร ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีระยะเวลาเก็บกักลดลงจาก 10 วันเป็น 5 วันและ 2 วัน

จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 0.06 ลิตรต่อลิตร 0.16 ลิตรต่อลิตรและ 0.27 ลิตรต่อลิตรตามลำดับ (วิบูลย์ นุชประมูล. 2535)

นอกจากนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเกิดก๊าซชีวภาพวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้คือการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่ใช้กรดอะซิติกให้มากขึ้นซึ่งอาจทำได้โดยในช่วง start up ค่อย ๆ เพิ่มปริมาณการป้อนสารอาหาร อีกวิธีคือการแยกขั้นตอนการหมักออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนการเกิดกรดอาจควบคุมไม่ให้เกิดกรดไพรูวอนิกที่ย่อยสลายได้ยากโดยอาศัย HRT ที่นานกว่า 2.5 วัน pH ประมาณ 6.0 ซึ่งอาจจะให้ปริมาณกรดอะซิติกและกรดบิวทีริกมากแต่ให้กรดไพรูวอนิกน้อย (จงกลพูนทวี. 2537)

จากรายงานการวิจัยต่างๆสรุปได้ว่าปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการป้อนอินทรีย์สาร ระยะเวลาเก็บกัก อุณหภูมิ ลักษณะวัตถุดิบ จะมีผลต่อปริมาณและชนิดของกรดอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดอินทรีย์สารในกากเหลือทิ้งและการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอนเป็นวิธีการหมักที่ให้ผลในการจัดอินทรีย์สารและการเกิดก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าการหมักแบบขั้นตอนเดียว ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาผลของการป้อนอินทรีย์สารและระยะเวลาเก็บกักต่อปริมาณของสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์สารที่อุณหภูมิปานกลางเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิสูงและอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ระยะเวลาเก็บกักที่มีผลต่อคุณภาพก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบและความเข้มข้นของอินทรีย์สารที่เกิดจากการย่อยสลายกากมะเขือเทศในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง โดยกระบวนการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกากมะเขือเทศที่ได้มาจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์โดยศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนในเชิงปริมาณและคุณภาพก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ประโยชน์ของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการกำจัดกากอุตสาหกรรมการเกษตรที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง
2. ใช้เป็นข้อมูลในการแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และที่คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมีแผนการวิจัยดังนี้

แผนการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน

ขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ โดยนำกากมะเขือเทศผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์โดยศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างถึงปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ระยะเวลาเก็บกัก อุณหภูมิต่างกัน การทดลองในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์มี 2 ชุดการทดลองดังนี้คือ

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาผลของการป้อนอินทรีย์สารที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศเป็น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ คือ 3 วัน และ 5 วัน

การทดลองที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันและ 5 วัน และความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร โดยใช้อุณหภูมิต่างกันคือที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส

ในขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ นำน้ำหมักที่ได้จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์มากรองแล้วป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพที่มีระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ กันเมื่อป้อนอินทรีย์สารคงที่ และที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สารที่ระดับต่าง ๆ กันเมื่อระยะเวลาเก็บกักคงที่โดยมีชุดการทดลอง 2 ชุดการทดลองดังนี้คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สาร โดยนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส มาเป็นวัตถุดิบสำหรับป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพมีระยะเวลาในขั้นตอนการผลิตก๊าซ

ชีวภาพนาน 3 วันและ 5 วันปรับให้มีอัตราการป้อนอินทรีย์สารเป็น 0.5 และ 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน การทดลองที่ 2 ศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพในการใช้สารอาหารต่างๆ

ศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนในชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งมี 5 สภาวะ อาหารที่ใช้ในการศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ คือ

1. กรดอะซิติกมีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร
2. เอทานอลมีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยปริมาตรต่อปริมาตร
3. เปปโตนมีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
4. กลูโคสมีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
5. กลูโคสมีความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

แหล่งของจุลินทรีย์ ถังปฏิกรณ์ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพ

1. แหล่งของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์นำมาจากหัวเชื้อซีโอดีหมักกับน้ำความเข้มข้นร้อยละ 5 หมักเป็นเวลา 10 วัน นำมารองเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตกรดอินทรีย์

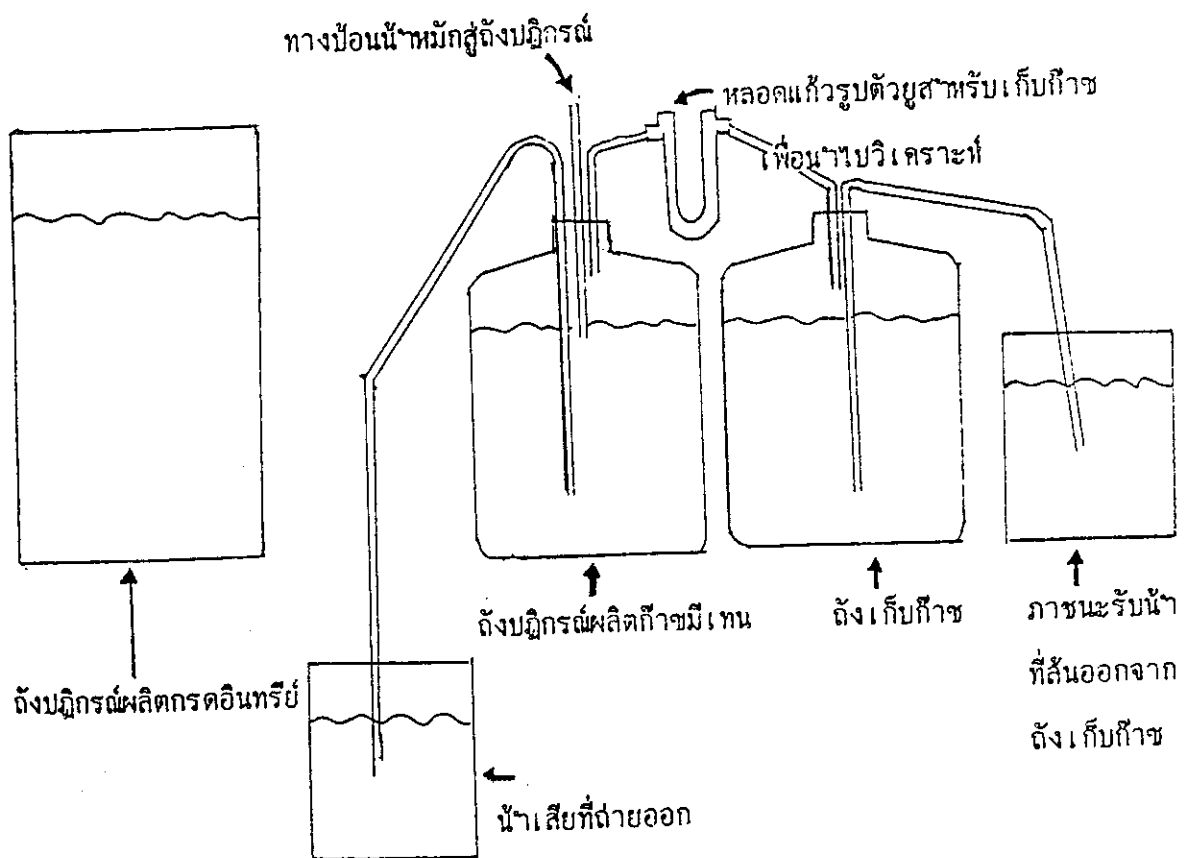
จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนได้มาจากน้ำเสียจากการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้สารแขวนลอยกากซอสถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร จากห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

2. ถังปฏิกรณ์

2.1 ถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ใช้ขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 2.5 ลิตร โดยมีปริมาตรการใช้งาน 1.5 ลิตร

2.2 ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเป็นขวดแก้วเกลลอนขนาดความจุ 4 ลิตร ปริมาตรของเหลวที่ใช้ในการหมักเท่ากับ 3.5 ลิตร ฝาจุขวดเป็นยางที่สอดหลอดแก้ว 3 แท่ง ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรขนาดยาว 8 เซนติเมตร สำหรับเป็นท่อนำก๊าซ ยาว 15 เซนติเมตร สำหรับเป็นท่อนำน้ำเสียออกและยาว 25 เซนติเมตรสำหรับเป็นทางป้อนน้ำหมักเข้าสู่ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนนี้จะต่อกับถังก๊าซและอุปกรณ์เก็บก๊าซตัวอย่างดังภาพประกอบ 3 โดยที่ถังเก็บก๊าซเป็นขวดแก้วขนาดความจุ 4 ลิตร เก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำและอุปกรณ์เก็บก๊าซตัวอย่าง เป็นหลอดแก้วรูปตัวยูสำหรับเก็บก๊าซนำไปตรวจวิเคราะห์



ภาพประกอบ 3 แสดงชุดการทดลองแบบอับอากาศสองขั้นตอน

8. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพ

กากมะเขือเทศแห้งเป็นกากเหลือทิ้งและได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการหลวงอาหารสำเร็จรูปบรรจุใส่ถุงพลาสติกปิดผนึกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4. วิธีดำเนินการทดลอง

1. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์

นำกากมะเขือเทศแห้งมาผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรหมักในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ การหมักในช่วงแรกเป็นแบบเก็บกัก (batch process) นานประมาณ 10 วัน น้ำหมักที่ได้นี้ใช้เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการหมักเพื่อให้ได้กรดอินทรีย์ต่อไป

2. การเตรียมถังปฏิกรณ์สำหรับการผลิตกรดอินทรีย์

นำกากมะเขือเทศแห้งผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ที่เตรียมไว้ตามข้อ 1 ให้มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยกากมะเขือเทศเป็น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัม ต่อลิตร แล้วหมักในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์นานประมาณ 7 วัน น้ำหมักที่ได้นี้ใช้เพื่อผลิตกรดอินทรีย์ต่อไป

3. ศึกษาผลของสภาวะต่าง ๆ ต่อการผลิตกรดอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ดังนี้

3.1 อัตราการป้อนอินทรีย์สารและระยะเวลาเก็บกักกาก

นำกากมะเขือเทศแห้งผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร แล้วป้อนเข้าถังหมักโดยจะป้อนแบบกึ่งต่อเนื่อง (semicontinuous) วันละครึ่ง โดยก่อนเติมกากมะเขือเทศผสมน้ำจะทำการกวาดถังปฏิกรณ์ประมาณ 1 นาที แล้วเติมน้ำหมักผสมกากมะเขือเทศออกเท่ากับจำนวนที่จะเติมเข้าไป และเมื่อเติมกากมะเขือเทศแห้งผสมน้ำแล้ว กวาดให้เข้ากันประมาณ 2 นาที ที่แต่ละอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะหมักโดยให้มีระยะเวลาเก็บกักกากเป็น 3 วันและ 5 วัน

3.2 อุณหภูมิ

ศึกษาการผลิตกรดอินทรีย์จากกากมะเขือเทศที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียส เริ่มปรับอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องเป็น 37 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียสโดยค่อย ๆ ปรับเพิ่มครั้งละประมาณ 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาแต่ละช่วงอุณหภูมิประมาณ 10 วันในการป้อนกากมะเขือเทศจะใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมกับน้ำที่ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับที่จะใช้ในการทดลองป้อนเข้าสู่ถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่องวันละครึ่ง และศึกษาโดยให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน

ในการศึกษาผลของสภาวะต่าง ๆ ต่อการผลิตกรดอินทรีย์นั้นจะหมักนานประมาณ

1 เดือน จึงเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์ผลิตรดอินทรีย์แต่ละถังปฏิกรณ์มากรอง แล้วนำน้ำหมักที่กรองได้ไปวิเคราะห์หา pH ซีโอดี Alkalinity ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย และปริมาณของแข็งคงตัว วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ และวัดปริมาณก๊าซแต่ละชนิดในก๊าซผสมสัปดาห์ละ 1 ถึง 2 ครั้ง และทำการเก็บข้อมูลต่ออีกประมาณ 1 เดือน

4. การเตรียมถังปฏิกรณ์สำหรับผลิตก๊าซมีเทน

นำ stock หัวเชื้อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักกากข้อสั่วเหลืองในห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีตะกอนเชื้อจุลินทรีย์อยู่ ใส่ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 2 ลิตร เติมน้ำลงไปประมาณ 1.5 ลิตร เพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยการเติมโซเดียมอะซิเตททุกวันเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารเป็นเวลา 20 วัน โดยให้ความเข้มข้นของโซเดียมอะซิเตทร้อยละ 0.1 หลังจากเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนด้วยโซเดียมอะซิเตทเป็นเวลา 20 วัน จึงเติมโซเดียมอะซิเตทผสมกับน้ำหมักกากมะเขือเทศที่ถ่ายออกจากถังปฏิกรณ์ผลิตรดอินทรีย์ ทุก ๆ สัปดาห์ โดยค่อย ๆ ลด ปริมาณของโซเดียมอะซิเตทแต่ละค่อย ๆ เพิ่มปริมาณของน้ำหมักกากมะเขือเทศ ตามอัตราส่วนของโซเดียมอะซิเตทต่อปริมาณน้ำหมักกากมะเขือเทศดังนี้คือ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และในที่สุดจะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ด้วยน้ำหมักกากมะเขือเทศเท่านั้น ระยะเวลาในการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตก๊าซมีเทนนี้ประมาณ 8 สัปดาห์ ระหว่างที่เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์นั้นจะทำการตรวจสอบปริมาณ และคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จนกระทั่งก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นมีปริมาณและคุณภาพค่อนข้างคงที่แล้วก็เริ่มทำการทดลอง

5. การหมักเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทน

นำน้ำหมักที่ถ่ายออกจากถังปฏิกรณ์ผลิตรดอินทรีย์ปรับ pH ให้เป็น 7.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีความเข้มข้น 1 นอร์มัล (N) ป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน ที่เตรียมไว้ตามข้อ 4 หมักแบบกึ่งต่อเนื่องให้ระยะเวลาเก็บกักนาน 3 และ 5 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อมีระยะเวลาเก็บกักต่างกันแต่ปริมาณการป้อนอินทรีย์สารในอัตราที่คงที่และเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนอินทรีย์สาร แต่ให้ระยะเวลาเก็บกักคงที่ โดยป้อนอินทรีย์สารวันละครั้ง และจะเก็บน้ำหมักที่ถ่ายออกจากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าซีโอดี กรดอินทรีย์ระเหย pH และ alkalinity

การบันทึกข้อมูล

วัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่น้ำ pH ในถังที่ผลิตรดอินทรีย์และถังที่ผลิตก๊าซมีเทนทุกวัน

วิเคราะห์ค่าซีไอดี ความเป็นด่างและกรดอินทรีย์ระเหยทุก ๆ 2 วัน

วิเคราะห์คุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเป็นการทดสอบความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอาหารต่าง ๆ โดยทำการทดลองในขวดซีรัมที่มีขนาดความจุ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้น้ำหมักที่ดึงออกมาจากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเป็นอาหารหลัก (basal media) เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการเตรียมสารอาหาร และเพื่อป้องกันการขาดสารอาหารบางตัวซึ่งอาจเป็นสิ่งที่ต้องการของเชื้อเหล่านี้ สำหรับน้ำหมักนี้ก่อนที่จะนำมาใช้เก็บไว้ในตู้หมักหมิ่นเป็นเวลาประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้สารอาหารที่มีเหลืออยู่เดิมหมดไป ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของน้ำทิ้งจะใสขึ้น หรือก่อนจะนำมาใช้อาจทดสอบหาแป้งหรือน้ำตาล ถ้าตรวจไม่พบจะนำน้ำหมักดังกล่าวมากรองด้วยกระดาษกรอง และเก็บน้ำหมักที่กรองได้ไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้เป็นสารอาหารหลักต่อไป ซึ่งมีวิธีการศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ดังนี้

1. เจือจางสารอาหารหลักที่เตรียมได้จากข้อ 6 ด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปฆ่าเชื้อ พร้อมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ด้วยหม้อนึ่งความดัน เป็นเวลา 15 นาที

2. เติม yeast extract ลงในสารอาหารที่ได้จากข้อ 1 จนมีความเข้มข้นร้อยละ 0.02

3. แบ่งอาหารออกเป็นส่วน ๆ เพื่อเติมกรดอะซิติก หรือ เอทานอล หรือเปปโตนลงในสารอาหารหลักที่เตรียมได้ในข้อ 2 ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และเติมกลูโคสลงในสารอาหารหลักให้มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 1.0

4. ปรับ pH ของสารอาหารทั้งหมดให้เป็น 7.2

5. นำสารอาหารหลักที่มีแหล่งคาร์บอนต่างกัน ไปฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสด้วยหม้อนึ่งความดันเป็นเวลา 15 นาที

6. นำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ต้องการศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์มาเติมลงในสารอาหารที่เตรียมไว้ในข้อ 5 ในปริมาณร้อยละ 10 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาใส่ในขวดซีรัมขวดละ 9.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดด้วยจุกยางโดยพยายามให้มีอากาศ อยู่ในขวดน้อยที่สุด

7. ใช้เข็มฉีดยาแทงทะลุจุกยางดูเอาอากาศออก

8. กรอบทับจุกยางด้วยฟลอปูนิเยมแล้วบีบให้แน่นนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็น

เวลา 1 วัน หลังจากนั้นติดตามการใช้สารอาหารของเชื้อโดยวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซทุกวัน

สำหรับกลุ่มควบคุม (control) ทำการทดลองเหมือนวิธีการข้างบน แต่ใช้น้ำกลั่นแทนน้ำหมักในข้อ 6

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการหาปริมาณอินทรีย์สารในน้ำหมักโดยวิธี open reflux (APHA. AWWA. WPCF. 1985) โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์อินทรีย์สารด้วยสารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดส์สูง (strong chemical oxidant) ในสารละลายที่เป็นกรด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525)

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์ (refluxing apparatus) ประกอบด้วย

1. ขวดกลมก้นแบน (flat bottom flask) ชนิดที่มีปากแบบกรวยจอยท์ (ground joint) ขนาดความจุ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เครื่องควบแน่น (condensor)
3. เตาแผ่นร้อน (hot plate)

วิธีวิเคราะห์

1. ใส่เมอคิวรี (II) ซัลเฟต (HgSO_4) ปริมาณ 0.4 กรัมลงในขวดรีฟลักซ์ เติมน้ำหมักหรือน้ำหมักที่ทำให้เจือจางแล้วลงไป 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่มีความเข้มข้น 0.0417 โมลาร์ จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตเจือปนอยู่ (ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 22 กรัมในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม) จำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลูกแก้ว 5-6 เม็ดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรง

2. นำขวดรีฟลักซ์ต่อกับเครื่องควบแน่น แล้วรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะถอดเครื่องควบแน่นออกจากขวดรีฟลักซ์

3. เจือจางส่วนผสมที่ได้ด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรประมาณ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินไปด้วยสารละลายมาตรฐานไอโรออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อถึงจุดสมมูลสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

4. ทำแบลนค์(blank) โดยใช้ น้ำกลั่น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรแทนน้ำหมัก และทำการวิเคราะห์พร้อมไปกับตัวอย่าง

การคำนวณ

ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) = $\frac{(a-b)M \times 8,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหมัก(ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$

a = ปริมาตรของไอโรออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งใช้ติเตรตกับแบลนค์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

b = ปริมาตรของไอโรออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งใช้ติเตรตกับน้ำหมัก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M = ความเข้มข้นของไอโรออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (โมลาร์)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย alkalinity โดยวิธีการติเตรต (direct titration) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525; Powell and Archer. 1989)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH-meter)
2. บิวเรตขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 อันพร้อมขาตั้ง
3. เตาแผ่นร้อน
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)
5. เครื่องกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
6. บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำหมักที่จะหาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย โดยวางทิ้งให้ตกตะกอนและรินเอาแต่ส่วนที่ใสหรือนำไปปั่นตกตะกอนที่ความเร็ว 1,000 g ประมาณ 5 นาที
2. นำน้ำหมักใส่ในบีกเกอร์ 2 ใบ ใบละ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร วัด pH ของน้ำหมักแล้วติเตรตน้ำหมักด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ เขย่าตลอดเวลาจนกระทั่ง pH เป็น 4 จดปริมาตรกรดที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเป็นด่างของน้ำหมักทั้งหมด (total alkalinity) แล้วติเตรตต่อจน pH อยู่ระหว่าง 3.3-3.5
3. ต้มสารตัวอย่างให้เดือดเบา ๆ ประมาณ 3 นาที แล้วทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องระหว่างนี้ให้ปรับเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ pH 4

4. ตีเตรตนํ้าหมักจากข้อ 3 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จน pH ขึ้นเป็น 4 ตีเตรตต่อจน pH ขึ้นเป็น 7 จดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการตีเตรตจาก pH 4 ถึง pH 7

การคำนวณ

1. คำนวณค่าความเป็นด่างของสารละลายตัวอย่างนํ้าหมัก

ความเป็นด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม CaCO_3 ต่อลิตร)

$$= \frac{\text{ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้จน pH เป็น 4 (ลบ.ซม.)} \times 0.1 \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรของนํ้าหมัก (50 ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

ปริมาตรของนํ้าหมัก (50 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$= \text{ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้จน pH เป็น 4 ลบ.ซม.} \times 100$$

ความเป็นด่างของกรดอินทรีย์ระเหย (มิลลิกรัม CaCO_3 ต่อลิตร)

$$= \frac{\text{ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เปลี่ยน pH 4 เป็น 7} \times 0.1 \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรของนํ้าหมัก (50 ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

ปริมาตรของนํ้าหมัก (50 ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$$= \text{ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เปลี่ยน pH 4 เป็น 7} \times 100$$

การคำนวณหาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย

1. ถ้าความเป็นด่างของกรดอินทรีย์ระเหยมากกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$(\text{ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหย}) = \text{ความเป็นด่างของกรดอินทรีย์ระเหย} \times 1.5$$

2. ถ้าความเป็นด่างของกรดอินทรีย์ระเหยน้อยกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$(\text{ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหย}) = \text{ความเป็นด่างของกรดอินทรีย์ระเหย} \times 1.0$$

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอินทรีย์ระเหย

อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอินทรีย์ระเหย

Shimadzu Gas Chromatography Model GC-14A

Flame Ionization Detector (FID)

อุณหภูมิคอลัมน์ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของ injector port 200 องศาเซลเซียส

ใช้ในโครเจนเป็น carrier gas ที่อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที

วิธีวิเคราะห์

เป็นการหาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี โดยนำตัวอย่างที่ได้มา 1 มิลลิลิตรผสมกับกรดออกซาลิกเข้มข้น 0.2 นอร์มัล(N) 200 ไมโครลิตรเข้าให้

เข้ากันแล้วนำไปปั่นที่ความเร็วรอบ 10,000 g ประมาณ 5 นาที ดูคเอาแต่เฉพาะของเหลวใส ใสในขวดแก้วที่ใช้กับเครื่อง autoinjector เป็นตัวดูดของเหลวใส 1 ไมโครลิตร ฉีดเข้าเครื่อง ก๊าซโครมาโตกราฟฟี โดยมีไนโตรเจนเป็น carrier gas และก๊าซที่แยกได้จะเคลื่อนออกจาก คอลัมน์ ผ่านเข้าไปใน detector และส่งสัญญาณไปยัง recorder บันทึกเป็น peak area โดย peak แรกเป็น เอทานอลต่อไปคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดแวนิลิก ตามลำดับ

การวิเคราะห์หาปริมาณของของแข็ง

ปริมาณของของแข็งทั้งหมด เป็นปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากการ ระเหยน้ำออกจากร้าน้ำหนักทั้งหมด โดยนำน้ำหนักปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในถ้วย ระเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นใน เดสิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น เทียบหาปริมาณของของแข็งทั้งหมด ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย จานที่ใช้ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนัก

2. เลือกใช้ปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม โดยปกติใช้ 50 หรือ 100

ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. ค่อย ๆ รินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณของของแข็งทั้งหมดลงในถ้วยระเหยที่ ตั้งบนเครื่องอังไอน้ำ เมื่อไอน้ำระเหยออกหมด นำจานระเหยอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิเคเตอร์

4. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของสาร ทั้งหมดซึ่งคำนวณเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของของแข็งทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารทั้งหมด(มก.)} \times 1,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหมักตัวอย่าง(ลบ.ซม.)}}$$

ปริมาณของของแข็งระเหย เป็นปริมาณของสารที่สลายได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม่สลายไปเรียกว่าปริมาณสารคงตัว ส่วน ใหญ่เป็นสารอนินทรีย์

วิธีวิเคราะห์

1. นำจานระเหยที่วิเคราะห์หาปริมาณของของแข็งทั้งหมดแล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที) ปล่อยให้เย็นในเคสเคเตอร์
2. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จะได้น้ำหนักสารคงตัวที่เหลืออยู่ ซึ่งจะนำไปคำนวณหาปริมาณของของแข็งระเหย

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารคงตัว(มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= \frac{\text{น้ำหนักสารคงตัว(มก.)} \times 1,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหมักตัวอย่าง(ลบ.ซม.)}} \\ \text{ปริมาณสารระเหยทั้งหมด(มิลลิกรัมต่อลิตร)} &= \text{ปริมาณสารทั้งหมด} - \text{ปริมาณสารคงตัว} \\ &\quad (\text{มก./ล.}) \quad (\text{มก./ล.}) \end{aligned}$$

การวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ

โดยการวัดปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาเมื่อถูกแทนที่ด้วยก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพของก๊าซชีวภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์

Shimadzu Gas Chromatography Model GC-9A

Thermal Conductivity Detector (TCD)

80/100 mesh Porapak N.Column

อุณหภูมิคอลัมน์ 70 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของ injector port 100 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

เป็นการหาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ โดยจะเก็บก๊าซจากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน โดยใช้หลอดแก้วรูปตัวยูต่อเข้าระหว่างถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนกับขวดเก็บก๊าซแล้วนำก๊าซที่เก็บได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนโดยวิธีทางเคมีด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ใช้ syringe ดูดเอาก๊าซตัวอย่างจากหลอดแก้วรูปตัวยูฉีดเข้าไปยัง injector port ก๊าซตัวอย่างจะถูกส่งผ่านเข้าไปในคอลัมน์ซึ่งสามารถแยกก๊าซออกจากกันโดยวิธีฮีเลียม (He) เป็น carrier gas และก๊าซที่แยกได้จะเคลื่อนออกจากคอลัมน์ผ่านเข้าไปใน detector และส่งสัญญาณไปยัง recorder บันทึกเป็น peak ของโครมาโตแกรมและบอกค่าก๊าซที่แยกได้เป็นร้อยละของก๊าซทั้งหมด โดย peak แรกเป็นอากาศ ต่อไปคือก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามลำดับ

บทที่ 3

ผลการวิจัย

1. ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์สาร

หมักกากมะเขือเทศเพื่อให้ได้กรดอินทรีย์ ตามวิธีการวิจัยบทที่ 2 โดยใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน 5 วัน ทำการทดลองนานประมาณ 2 เดือนนำน้ำหมักที่ได้มากรองและวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าในถึงปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิห้องไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 616 และ 905 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 113 และ 156 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.47 และ 4.36 ความเป็นด่างเท่ากับ 172 และ 184 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 37.52 และ 67.04 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 62.48 และ 32.96 ของของแข็งระเหยตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดไพรูอิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรจะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 0.53 และ 0.76 มิลลิโมลาร์ กรดไพรูอิกเท่ากับ 0.25 และ 0.41 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.13 และ 0.20 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.25 และ 0.42 มิลลิโมลาร์ กรดแวลริกเท่ากับ 0.29 และ 0.25 มิลลิโมลาร์ และเอทานอลเท่ากับ 0 และ 0.71 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันอุณหภูมิห้องไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 699 และ 963 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 130 และ 157 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.36 และ 4.32 ความเป็นด่างเท่ากับ 183 และ 194 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 38.34 และ 33.12 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 61.66 และ 66.82 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดไพรูอิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรด

อะซิติกเท่ากับ 0.62 และ 0.87 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.29 และ 0.35 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.18 และ 0.18 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.32 และ 0.38 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก เท่ากับ 2.7 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ และเอทานอลเท่ากับ 0 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 5

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 648 และ 645 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย เท่ากับ 139 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.50 และ 4.50 ความเป็นด่างเท่ากับ 221 และ 219 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 41.05 และ 61.64 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 58.95 และ 38.36 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวนิลิก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 0.62 และ 0.19 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.28 และ 0.76 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.23 และ 0.35 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.26 และ 0.21 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก เท่ากับ 0.36 และ 0.43 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล เท่ากับ 0 และ 0.22 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 6

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 796 และ 789 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย เท่ากับ 169 และ 151 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.50 และ 4.52 ความเป็นด่างเท่ากับ 235 และ 227 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 38.34 และ 33.12 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 61.66 และ 66.88 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวนิลิก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 0.99 และ 0.67 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.39 และ 0.34 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.23 และ 0.28 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.26 และ 0.34 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก เท่ากับ 0.36 และ 0.30 มิลลิโมลาร์ และเอทานอลเท่ากับ 0 และ 0.09 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 7

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 564 และ 895 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 48 และ 114 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.53 และ 4.27 ความเป็นด่างเท่ากับ 138 และ 131 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 57.35 และ 55.71 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 42.67 และ 44.28 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้ ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรคือ กรดอะซิติก 0.50 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.21 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.89 มิลลิโมลาร์ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้ ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริกและเอทานอล ในปริมาณ 0.62 0.36 0.23 0.34 และ 0.76 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 8

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 625 และ 943 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 148 และ 143 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.45 และ 4.33 ความเป็นด่างเท่ากับ 139 และ 144 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 65.89 และ 65.59 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 34.11 และ 33.91 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 0.58 และ 0.65 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.50 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.25 และ 0.37 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.38 และ 0.25 มิลลิโมลาร์ กรดแวลริกเท่ากับ 0.18 และ 0.27 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.90 และ 0.75 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับดังแสดงในตาราง 9

จากผลการทดลองในตาราง 4 ถึง 9 จะเห็นว่าในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์สาร pH และปริมาณกรดอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำหมักค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงได้ปรับสภาพของความเป็นด่างในน้ำหมักของถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ด้วยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต

ในปริมาณระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 กรัม ปริมาณการเติมดูจากค่าที่สามารถสังเกตได้รวดเร็วคือ pH ซึ่งจะปรับให้อยู่ในช่วงประมาณ 5.5- 6.5

หมักกากมะเขือเทศเพื่อให้ได้กรดอินทรีย์ โดยใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน 5 วันและเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน อุณหภูมิห้อง เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศมีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร น้ำหมักที่กรองได้จะมีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 736 และ 1,183 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 936 และ 1,050 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.83 และ 5.65 ความเป็นด่างเท่ากับ 974 และ 1181 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 41.54 และ 47.59 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 58.44 และ 52.41 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ นอกจากนี้สารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลีริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 2.16 และ 2.90 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.05 และ 2.37 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก เท่ากับ 2.54 และ 2.61 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริกเท่ากับ 1.94 และ 2.17 มิลลิโมลาร์ กรดแวลีริกเท่ากับ 2.5 และ 2.73 มิลลิโมลาร์ และเอทานอลเท่ากับ 0.69 และ 0.86 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับดังผลแสดงในตาราง 10

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตรและเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิห้องพบว่า จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,000 และ 1,324 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 697 และ 1,052 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.63 และ 5.46 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,271 และ 1,605 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 40.90 และ 43.63 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 58.93 และ 57.05 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลีริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 2.60 และ 2.78 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.47 และ 2.77 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.35 และ 2.63 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.71 และ 2.59 มิลลิโมลาร์ กรดแวลีริกเท่ากับ 0 และ 2.15 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 2.19 และ 0.63 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 11

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 975 และ 1,151 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 892 และ 779 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.62 และ 5.42 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,257 และ 1,503 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 37.40 และ 42.48 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 62.60 และ 56.82 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 2.15 และ 2.68 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.32 และ 2.47 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 3.15 และ 2.81 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.86 และ 2.12 มิลลิโมลาร์ กรดแวลริกเท่ากับ 1.46 และ 0 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.80 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 12

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 978 และ 1298 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 1,080 และ 1,146 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.78 และ 5.44 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,413 และ 1,830 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 36.13 และ 37.75 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 63.87 และ 61.54 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 2.45 และ 2.71 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.59 และ 2.74 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.52 และ 2.69 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.97 และ 2.83 มิลลิโมลาร์ กรดแวลริกเท่ากับ 3.38 และ 3.39 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 1.08 และ 0.54 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 13

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 503 และ 838 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 700 และ 490 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6.10 และ 5.85 ความเป็นด่างเท่ากับ 640 และ 899 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 35.36 และ 57.50 ของของแข็ง

ทั้งหมด หรือร้อยละ 46.69 และ 50.91 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 1.92 และ 2.80 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.66 และ 1.95 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.87 และ 0 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.48 และ 2.01 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.82 และ 1.71 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 14

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่าจะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 579 และ 1,004 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 687 และ 786 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6.29 และ 5.87 ความเป็นด่างเท่ากับ 734 และ 734 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 40.34 และ 44.21 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 58.66 และ 55.79 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่กรองได้คือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก และเอทานอล ซึ่งเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร จะให้ กรดอะซิติกเท่ากับ 2.16 และ 2.86 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.60 และ 2.58 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.51 และ 2.62 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.40 และ 2.18 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 1.56 และ 1.93 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 4 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	616	905
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	820	1313
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	113	156
pH	4.47	4.36
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	172	184
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.53	0.76
กรดโพรพิโอนิก	0.25	0.41
กรดไอโซบิวทีริก	0.13	0.20
กรดบิวทีริก	0.25	0.42
กรดแวลีริก	0.29	0.25
เอทานอล	0	0.71
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	37.52	67.04
ร้อยละของของแข็งระเหย	62.48	32.96

ตาราง 5 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	699	963
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1131	1604
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	130	157
pH	4.36	4.32
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	183	194
<u>สารตัวกลางที่เกิดขึ้น</u> (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.62	0.87
กรดโพรพิโอนิก	0.29	0.35
กรดไอโซบิวทีริก	0.18	0.18
กรดบิวทีริก	0.32	0.38
กรดแวลีริก	2.70	0.29
เอทานอล	-	0.29
<u>การขจัดอินทรีย์สาร</u>		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	38.34	33.12
ร้อยละของของแข็งระเหย	61.66	66.82

ตาราง 6 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
 กรดอินทรีย์ ระบุ pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
 ระบุในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสอง
 ขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
 (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	648	654
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1020	970
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	139	150
pH	4.50	4.50
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	221	219
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.62	0.19
กรดโพรพิโอนิก	0.28	0.76
กรดไอโซบิวทีริก	0.23	0.35
กรดบิวทีริก	0.26	0.21
กรดแวลริก	0.36	0.43
เอทานอล	0	0.22
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	41.05	61.64
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.95	38.36

ตาราง 7 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร

กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	796	789
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1258	1229
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	169	151
pH	4.50	4.52
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	235	227
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.99	0.67
กรดโพรพิโอนิก	0.39	0.34
กรดไอโซบิวทีริก	0.23	0.28
กรดบิวทีริก	0.26	0.34
กรดแวนิลิก	0.36	0.30
เอทานอล	-	0.09
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	38.34	33.12
ร้อยละของของแข็งระเหย	61.66	66.88

ตาราง 8 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร

กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	564	895
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	486	727
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	48.8	114
pH	4.53	4.27
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	138	131
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.50	0.62
กรดโพรพิโอนิก	-	0.36
กรดไอโซบิวทีริก	-	0.23
กรดบิวทีริก	0.21	0.34
กรดแวลีริก	-	-
เอทานอล	0.89	0.76
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	57.35	55.71
ร้อยละของของแข็งระเหย	42.67	44.28

ตาราง 9 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร

กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	625	943
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	512	808
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	144	143
pH	4.45	4.33
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	139	144
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.58	0.65
กรดโพรพิโอนิก	0.50	0.29
กรดไอโซบิวทีริก	0.25	0.37
กรดบิวทีริก	0.38	0.25
กรดแวลีลิก	0.18	0.27
เอทานอล	0.90	0.75
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	65.89	65.59
ร้อยละของของแข็งระเหย	34.11	33.91

ตาราง 10 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร

กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิห้อง (เดิมเคยใช้คาร์บอนด)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	736	1183
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1169	1919
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	936	1050
pH	5.83	5.65
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	974	1181
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.16	2.90
กรดโพรพิโอนิก	2.05	2.37
กรดไอโซบิวทีริก	2.56	2.61
กรดบิวทีริก	1.94	2.17
กรดแวลีริก	2.50	2.73
เอทานอล	0.69	0.86
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	41.54	47.59
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.44	52.41

ตาราง 11 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิห้อง (ดินเคลือบหมักคาร์บอน)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	1000	1324
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1589	2286
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	697	1052
pH	5.63	5.46
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	1271	1605
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.60	2.78
กรดโพรพิโอนิก	2.47	2.77
กรดไอโซบิวทีริก	2.35	2.63
กรดบิวทีริก	1.71	2.59
กรดแวลีลิก	-	2.15
เอทานอล	2.19	0.63
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	40.90	43.63
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.93	57.05

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
 กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
 ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
 ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10	20
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	975	1151
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1653	1977
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	892	779
pH	5.62	5.42
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	12.57	1503
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.15	2.68
กรดโพรพิโอนิก	2.32	2.47
กรดไอโซบิวทีริก	3.15	2.81
กรดบิวทีริก	1.86	2.12
กรดแวลีริก	1.46	-
เอทานอล	0.80	-
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	37.40	42.48
ร้อยละของของแข็งระเหย	62.60	56.82

ตาราง 13 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	978	1298
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1683	2679
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	1080	1146
pH	5.78	5.44
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	1413	1830
<u>สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)</u>		
กรดอะซิติก	2.45	2.71
กรดโพรพิโอนิก	2.59	2.74
กรดไอโซบิวทีริก	2.52	2.69
กรดบิวทีริก	1.97	2.83
กรดแวนิลิก	3.38	3.39
เอทานอล	1.08	0.54
<u>การขจัดอินทรีย์สาร</u>		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	36.13	37.75
ร้อยละของของแข็งระเหย	63.87	61.54

ตาราง 14 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นค่า การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10.	20
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	503	838
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	807	1085
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	700	490
pH	6.10	5.85
ค่าความเป็นค่า (ม.ก. ต่อลิตร)	640	899
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	1.92	2.80
กรดโพรพิโอนิก	2.66	1.95
กรดไอโซบิวทีริก	2.87	-
กรดบิวทีริก	1.48	2.01
กรดแวลริก	-	-
เอทานอล	0.82	1.71
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	35.36	57.50
ร้อยละของของแข็งระเหย	48.69	50.91

ตาราง 15 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ต่อปริมาณอินทรีย์สาร
 กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์
 ระเหยในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน
 ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ (กรัมต่อลิตร)	
	10	20
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	579	1004
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	811	928
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	687	786
pH	6.29	5.87
ค่าความเป็นด่าง (ม.ก. ต่อลิตร)	734	734
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.16	2.86
กรดโพรพิโอนิก	2.60	2.58
กรดไอโซบิวทีริก	2.51	2.62
กรดบิวทีริก	1.40	2.18
กรดแวนิลิก	-	-
เอทานอล	1.56	1.93
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	40.34	44.21
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.66	55.79

2.ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์

เมื่อใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์(ซึ่งเตรียมตามวิธีการวิจัยในบทที่ 2)ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร แล้วทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วันถึงปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่า

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 616 และ 699 มิลลิกรัม ซีโอดีต่อลิตรปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 113 และ 130 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.47 และ 4.36 ความเป็นด่างเท่ากับ 172 และ 183 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 37.52และ 38.34 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 62.48 และ 61.66 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก และกรดแวลริก โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.53 และ0.62 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ0.25 และ0.29 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก0.13 และ0.18 มิลลิโมลาร์กรดบิวทีริก0.25และ 0.32 มิลลิโมลาร์ และกรดแวลริก 0.29 และ0.27 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 16

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 905 และ 963มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 156 และ 157 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.36 และ 4.32 ความเป็นด่างเท่ากับ 184 และ 194มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 67.04 และ 33.12 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 32.96 และ 66.88 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก

กรดแวลริกและ เอทานอล โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.76 และ 0.87 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิก เท่ากับ 0.41 และ 0.35 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.20 และ 0.18 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.42 และ 0.38 มิลลิโมลาร์ และกรดแวลริก 0.25 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ เอทานอล 0.71 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 17

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 648 และ 796 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 139 และ 169 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.50 และ 4.50 ความเป็นด่างเท่ากับ 221 และ 235 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 41.05 และ 38.34 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 58.95 และ 61.66 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริก โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.62 และ 0.99 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.28 และ 0.39 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.23 และ 0.23 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.26 และ 0.45 มิลลิโมลาร์ และกรดแวลริก 0.36 และ 0.33 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 18

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 645 และ 789 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 151 และ 151 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.50 และ 4.52 ความเป็นด่างเท่ากับ 219 และ 227 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 61.64 และ 33.12 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 38.36 และ 66.88 ของของแข็งระเหย และ สารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก

กรดไอโซบิวทริก กรดบิวทริก กรดแวลีลิกและเอทานอล โดยน้ำหนักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.19 และ 0.67 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.76 และ 0.34 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทริก 0.35 และ 0.28 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทริก 0.21 และ 0.34 มิลลิโมลาร์ กรดแวลีลิก 0.43 และ 0.30 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.22 และ 0.09 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 19

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหนักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 564 และ 625 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 49 และ 145 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.53 และ 4.45 ความเป็นด่างเท่ากับ 138 และ 139 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 57.33 และ 65.89 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 42.67 และ 34.11 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหนักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันคือกรดอะซิติก 0.50 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทริก 18.6 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.89 มิลลิโมลาร์ โดยน้ำหนักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.58 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 0.50 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทริก 0.25 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทริก 0.38 มิลลิโมลาร์ กรดแวลีลิก 0.18 มิลลิโมลาร์ และเอทานอล 0.90 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในตาราง 20

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) นำน้ำหนักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 895 และ 943 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 114 และ 143 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.27 และ 4.33 ความเป็นด่างเท่ากับ 131 และ 144 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 55.71 และ 65.59 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 44.28 และ 33.91 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหนักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทริก กรดบิวทริก กรดแวลีลิกและเอทานอล โดยน้ำหนักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 0.62 และ 0.65 มิลลิโมลาร์

กรดโพธิออนิกเท่ากับ 0.36 และ 0.29 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 0.23 และ 0.37 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 0.34 และ 0.25 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิกเท่ากับ 0 และ 0.27 มิลลิโมลาร์ และ เอทธานอล 0.76 และ 0.75 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 21

จากผลการทดลองในตาราง 16 ถึง 21 จะเห็นว่าในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์สาร pH และปริมาณกรดอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำหมักค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงได้ปรับสภาพของความเป็นด่างในน้ำหมักของถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ด้วยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 กรัม ปริมาณการเติมดูจากค่าที่สามารถสังเกตได้รวดเร็ว คือ pH ซึ่งจะปรับให้อยู่ในช่วงประมาณ 5.5- 6.5

เมื่อใช้กากมะเขือเทศแห้งผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์(ซึ่งเตรียมตามวิธีการวิจัยในบทที่ 2)ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร แล้วทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วันถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่างผลการทดลองพบว่า

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร แล้วทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง พบว่าน้ำหมักที่ได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วันถังปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 736 และ 1,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 936 และ 697 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.83 และ 5.63 ความเป็นด่างเท่ากับ 974 และ 1271 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 41.54 และ 40.90 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 58.44 และ 58.93 ของของแข็งระเหยตามลำดับ และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพธิออนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริกกรดแวนิลิก และเอทธานอล โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติกเท่ากับ 2.16และ 2.60 มิลลิโมลาร์ กรดโพธิออนิก 2.05 และ 2.47 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.54และ 2.35 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.94 และ 1.71 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก 2.50 และ 0 มิลลิโมลาร์ เอทธานอล 0.69 และ 2.19 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 22

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร แล้วทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยมีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน ดังปฏิกรณ์เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมดของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้นกรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,183 และ 1,324 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 1,050 และ 1,052 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.65 และ 5.46 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,181 และ 1,605 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 45.59 และ 43.63 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 52.41 และ 57.05 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลีริก และเอทานอล โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 2.90 และ 3.78 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.37 และ 2.77 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.61 และ 2.63 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 2.17 และ 2.59 มิลลิโมลาร์ กรดแวลีริก 2.73 และ 2.15 มิลลิโมลาร์ และ เอทานอล 0.86 และ 0.63 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 23

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน ดังปฏิกรณ์เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 975 และ 978 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 892 และ 1,080 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.62 และ 5.78 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,257 และ 1,413 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 37.40 และ 36.13 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 62.60 และ 63.87 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลีริก และเอทานอล โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 2.15 และ 2.45 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.32 และ 2.59

มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 3.15 และ 2.52 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.86 และ 1.97 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก 1.46 และ 3.38 มิลลิโมลาร์ เอทานอล 0.80 และ 1.08 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 24

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน ถึงปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,151 และ 1,298 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 1,977 และ 2,679 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.42 และ 5.44 ความเป็นด่างเท่ากับ 1,503 และ 1,830 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 42.48 และ 37.75 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 56.82 และ 61.54 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน คือกรดอะซิติก 2.68 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิก 2.47 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.81 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 2.12 มิลลิโมลาร์ น้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 2.71 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 2.74 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.69 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 2.23 มิลลิโมลาร์ กรดแวนิลิก 3.39 มิลลิโมลาร์ และ เอทานอล 0.54 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในตาราง 25

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน ถึงปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่าน้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่ระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 503 และ 579 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 700 และ 687 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 6.10 และ 6.29 ความเป็นด่างเท่ากับ 640 และ 734 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 35.36 และ 40.34 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 50.91 และ 58.66 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก และเอทานอล โดย

น้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 1.92 และ 2.16 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิก เท่ากับ 2.66 และ 2.60 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริก 2.87 และ 2.51 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 1.48 และ 1.40 มิลลิโมลาร์ เอทานอล 0.82 และ 1.56 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 26

เมื่อป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรศึกษาขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน ถึงปฏิกิริยาคัดเลือกคาร์บอนไดออกไซด์มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง ผลการทดลองพบว่า น้ำหมักที่กรองได้จากการหมักที่มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน มีปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 838 และ 1,004 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 490 และ 786 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.85 และ 5.87 ความเป็นด่างเท่ากับ 899 และ 734 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ ร้อยละ 57.50 และ 44.21 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 48.69 และ 55.79 ของของแข็งระเหย และสารตัวกลางที่พบในน้ำหมักคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก และเอทานอล โดยน้ำหมักที่ได้จากการหมักกากมะเขือเทศที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน จะให้กรดอะซิติก เท่ากับ 2.80 และ 2.86 มิลลิโมลาร์ กรดโพรพิโอนิกเท่ากับ 1.95 และ 2.58 มิลลิโมลาร์ กรดไอโซบิวทีริกเท่ากับ 0 และ 2.62 มิลลิโมลาร์ กรดบิวทีริก 2.01 และ 2.18 มิลลิโมลาร์ เอทานอล 1.71 และ 1.93 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 27

จากผลการทดลองในตาราง 16 และ 17 ที่อุณหภูมิห้อง ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริกสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่จะให้กรดแวลริก น้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก กาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิติก และกรดแวลริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่ให้ปริมาณกรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก น้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน

จากผลการทดลองในตาราง 18 และ 19 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริกสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก

3 วัน แต่จะให้ กรดไอโซบิวทีริก เท่ากับที่ระยะเวลาเก็บกักกาก3 วัน และให้กรดแวกซ์ลิก น้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิติก และกรดบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก3 วันแต่ให้ปริมาณกรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดแวกซ์ลิก น้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก3 วัน

จากผลการทดลองในตาราง 20 และ 21 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และพบกรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทีริก และกรดแวลีริกที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันเท่านั้นแต่เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดไอโซบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่จะให้กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทีริก น้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และพบกรดแวลีริกที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันเท่านั้น

จากผลการทดลองในตาราง 22 และ 23 ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดไพรฟอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดไพรฟอนิก กรดไอโซบิวทีริก กรดบิวทีริก กรดแวลริกสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน

จากผลการทดลองในตาราง 24 และ 25 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันจะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก กรดแวลริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่จะให้กรดไอโซบิวทีริกน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่ให้กรดไอโซบิวทีริกน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และจะพบกรดแวลริกที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน เท่านั้น

จากผลการทดลองในตาราง 26 และ 27 ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิดิก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่จะให้ กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทริก

และกรดบิวทีริกน้อยกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันและไม่พบกรดแวลริกและเมื่อใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก สูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และพบกรดไอโซบิวทีริกที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน แต่ไม่พบกรดแวลริกเลย

จากผลการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มการเพิ่มของกรดอินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันจะสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน

ตาราง 16 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	616	699
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	820	1131
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	113	130
pH	4.47	4.36
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	172	183
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.53	0.62
กรดโพรพิโอนิก	0.25	0.29
กรดไอโซบิวทีริก	0.13	0.18
กรดบิวทีริก	0.25	0.32
กรดแวกีริก	0.29	0.27
เอทานอล	0	0
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	37.52	38.34
ร้อยละของของแข็งระเหย	62.48	61.66

ตาราง 17 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH

ความเป็นต่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการ
ผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความเข้มข้น
สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตรอุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก(วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	905	963
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1313	1604
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	156	157
pH	4.36	4.32
ค่าความเป็นต่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	184	194
<u>สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)</u>		
กรดอะซิติก	0.76	0.87
กรดโพรพิโอนิก	0.41	0.35
กรดไอโซบิวทีริก	0.20	0.18
กรดบิวทีริก	0.42	0.38
กรดแวลีริก	0.25	0.29
เอทานอล	0.71	0.29
<u>การขจัดอินทรีย์สาร</u>		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	67.04	33.12
ร้อยละของของแข็งระเหย	32.96	66.88

ตาราง 18 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
 ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
 การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
 เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
 (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	648	796
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1020	1258
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	139	169
pH	4.50	4.50
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	221	235
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.62	0.99
กรดโพรพิโอนิก	0.28	0.39
กรดไอโซบิวทีริก	0.23	0.23
กรดบิวทีริก	0.26	0.45
กรดแวลริก	0.36	0.33
เอทานอล	0	0
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	41.05	38.34
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.95	61.66

ตาราง 19 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	645	789
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	970	1229
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	151	151
pH	4.50	4.52
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	219	227
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.19	0.67
กรดโพรพิโอนิก	0.76	0.34
กรดไอโซบิวทีริก	0.35	0.28
กรดบิวทีริก	0.21	0.34
กรดแวลริก	0.43	0.30
เอทานอล	0.22	0.09
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	61.64	33.12
ร้อยละของของแข็งระเหย	38.36	66.88

ตาราง 20 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	564	625
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	486	512
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	49	145
pH	4.53	4.45
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	138	139
<u>สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)</u>		
กรดอะซิติก	0.50	0.58
กรดไพรูวอิก	0	0.50
กรดไอโซบิวทีริก	0	0.25
กรดบิวทีริก	18.6	0.38
กรดแวลริก	0	0.18
เอทานอล	0.89	0.90
<u>การขจัดอินทรีย์สาร</u>		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	57.33	65.89
ร้อยละของของแข็งระเหย	42.67	34.11

ตาราง 21 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
ความเป็นค่า การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	895	943
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	727	808
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	114	143
pH	4.27	4.33
ค่าความเป็นค่า(ม.ก. ต่อลิตร)	131	144
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	0.62	0.65
กรดโพรพิโอนิก	0.36	0.29
กรดไอโซบิวทีริก	0.23	0.37
กรดบิวทีริก	0.34	0.25
กรดแวลีลิก	0	0.27
เอทานอล	0.76	0.75
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	55.71	65.59
ร้อยละของของแข็งระเหย	44.28	33.91

ตาราง 22 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
 ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
 การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
 เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)
 อุณหภูมิห้อง

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	736	1000
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1169	1589
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	936	697
pH	5.83	5.63
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	974	1271
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.16	2.60
กรดโพรพิโอนิก	2.05	2.47
กรดไอโซบิวทีริก	2.54	2.35
กรดบิวทีริก	1.94	1.71
กรดแวลริก	2.50	0
เอทานอล	0.69	2.19
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	41.54	40.90
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.44	58.93

ตาราง 23 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เดิมเคลือบคาร์บอน)
อุณหภูมิห้อง

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีโอดี ต่อลิตร)	1183	1324
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1919	2286
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	1050	1052
pH	5.65	5.46
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	1181	1605
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.90	3.78
กรดโพรพิโอนิก	2.37	2.77
กรดไอโซบิวทีริก	2.61	2.63
กรดบิวทีริก	2.17	2.59
กรดแวลีริก	2.73	2.15
เอทานอล	0.86	0.63
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	45.59	43.63
ร้อยละของของแข็งระเหย	52.41	57.05

ตาราง 24 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส
(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	975	978
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1653	1683
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	892	1080
pH	5.62	5.78
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	1257	1413
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.15	2.45
กรดโพรพิโอนิก	2.32	2.59
กรดไอโซบิวทีริก	3.15	2.52
กรดบิวทีริก	1.86	1.97
กรดแวลีริก	1.46	3.38
เอทานอล	0.80	1.08
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	37.40	36.13
ร้อยละของของแข็งระเหย	62.60	63.87

ตาราง 25 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)
อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	1151	1298
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1977	2679
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	779	1146
pH	5.42	5.44
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	1503	1830
<u>สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)</u>		
กรดอะซิติก	2.68	2.71
กรดโพรพิโอนิก	2.47	2.74
กรดไอโซบิวทีริก	2.81	2.69
กรดบิวทีริก	2.12	2.23
กรดแวลริก	0	3.39
เอทานอล	0	0.54
<u>การขจัดอินทรีย์สาร</u>		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	42.48	37.75
ร้อยละของของแข็งระเหย	56.82	61.54

ตาราง 26 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
 ความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
 การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
 เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)
 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	503	579
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	807	811
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	700	687
pH	6.10	6.29
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	640	734
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	1.92	2.16
กรดโพรพิโอนิก	2.66	2.60
กรดไอโซบิวทีริก	2.87	2.51
กรดบิวทีริก	1.48	1.40
กรดแวลีริก	0	0
เอทานอล	0.82	1.56
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	35.36	40.34
ร้อยละของของแข็งระเหย	50.91	58.66

ตาราง 27 ผลของระยะเวลาเก็บกักกากต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH
 ความเป็นต่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอน
 การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่มีความ
 เข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)
 อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	ระยะเวลาเก็บกักกาก (วัน)	
	3	5
COD(ม.ก. ซีไอดี ต่อลิตร)	838	1004
TVA (ม.ก. ต่อลิตร)	1085	928
VFA (ม.ก. ต่อลิตร)	490	786
pH	5.85	5.87
ค่าความเป็นต่าง(ม.ก. ต่อลิตร)	899	734
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น (มิลลิโมลาร์)		
กรดอะซิติก	2.80	2.86
กรดโพรพิโอนิก	1.95	2.58
กรดไอโซบิวทีริก	0	2.62
กรดบิวทีริก	2.01	2.18
กรดแวลีริก	0	0
เอทานอล	1.71	1.93
การขจัดอินทรีย์สาร		
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	57.50	44.21
ร้อยละของของแข็งระเหย	48.69	55.79

3.ผลของอุณหภูมิต่อการขึ้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกักกากต่าง ๆ

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก นาน 3 วัน และ 5 วัน ถึงปฏิกรณ์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส โดยเริ่มทำการหมักที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 เดือน จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์เป็น 37 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังวิธีการวิจัยในบทที่ 2 หลังจากเพิ่มอุณหภูมิถังปฏิกรณ์ได้ตามต้องการแล้ว จะใช้เวลาปรับสภาพถังปฏิกรณ์ต่อไปอีกประมาณ 30 วัน จากนั้นจึงเริ่มเก็บข้อมูลการทดลองผลการทดลองพบว่า

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 616 648 และ 564 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 113 139 และ 48.8 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.47 4.50 และ 4.53 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 172 221 และ 138 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 37.52 41.05 และ 57.35 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 62.48 58.95 และ 42.67 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 28

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 905 645 และ 895 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 156 151 และ 114 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.36 4.50 และ 4.27 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 184 219 และ 131 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 67.04 61.64 และ 55.71 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 32.96 38.36 และ 44.28 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 29

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 699 796 และ 625 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 130 169 และ 145 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.36 4.50 และ 4.45 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 183 235 และ 139 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 42.47 38.34 และ 65.89 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 57.53 61.66 และ 34.11 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 30

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 963 789 และ 943 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 157 151 และ 143 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 4.32 4.52 และ 4.33 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 194 227 และ 144 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 44.83 33.12 และ 65.59 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 55.17 66.88 และ 33.91 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 31

จากผลการทดลองในตาราง 28 ถึง 31 จะเห็นว่าในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตทั้งที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์สาร pH และปริมาณกรดอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำหมักค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงได้ปรับสภาพของความเป็นด่างในน้ำหมักของถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ด้วยการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 กรัม ปริมาณการเติมดูจาก pH ให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5

เมื่อหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วันถังปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต นำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด

ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 736 975 และ 503 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 936 892 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.83 5.62 และ 6.10 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 974 1257 และ 640 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในชั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 41.54 37.40 และ 35.36 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 58.44 62.60 และ 48.69 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 32

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 5 วัน ถึงปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,000 978 และ 579 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 697 1,083 และ 687 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.63 5.78 และ 6.29 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,271 1,413 และ 734 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถจัดอินทรีย์สารในชั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 40.90 36.13 และ 40.34 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 58.93 63.87 และ 58.66 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 33

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน ถึงปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,183 1,151 และ 838 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตรและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 1,050 779 และ 490 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.65 5.42 และ 5.85 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,181 1,503 และ 899 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถจัดอินทรีย์สารในชั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 44.59 42.48 และ 57.50 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 52.41 56.82 และ 50.91 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 34

หมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนโดยป้อนสารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ให้มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน ถึงปฏิกรณ์เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ทดลองที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส จาก

นั้นเก็บข้อมูลการทดลองโดยนำน้ำหมักที่กรองได้มาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย ปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้น กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง จะให้ปริมาณอินทรีย์สารเท่ากับ 1,324 1,298 และ 1,004 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ 1,052 1,146 และ 789 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 5.46 5.44 และ 5.87 และค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,605 1,830 และ 734 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถจับอินทรีย์สารในขั้นตอนนี้ได้ร้อยละ 43.63 37.75 และ 44.21 ของของแข็งทั้งหมดหรือร้อยละ 57.05 61.54 และ 55.79 ของของแข็งระเหย ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 35

ผลของอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ระยะเวลาเก็บกัก และอุณหภูมิ pH ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ ที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและเติมแคลเซียมคาร์บอเนต แสดงในตารางสรุป 36 และ 37

ตาราง 28 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	616	648	564
TVA (ม.ก./ลิตร)	820	1020	486
VFA (ม.ก./ลิตร)	113	139	48.8
pH	4.47	4.50	4.53
T-alk (ม.ก./ลิตร)	172	221	138
การขจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	37.52	41.05	57.35
ร้อยละของของแข็งระเหย	62.48	58.95	42.67

ตาราง 29 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	905	645	895
TVA (ม.ก./ลิตร)	1,313	970	727
VFA (ม.ก./ลิตร)	156	151	114
pH	4.36	4.50	4.27
T-alk (ม.ก./ลิตร)	184	219	131
การขจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	67.04	61.64	55.71
ร้อยละของของแข็งระเหย	32.96	38.36	44.28

ตาราง 30 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และ การขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	699	796	625
TVA (ม.ก./ลิตร)	1,131	1,258	512
VFA (ม.ก./ลิตร)	130	169	145
pH	4.36	4.50	4.45
T-alk (ม.ก./ลิตร)	183	235	139
การขจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	42.47	38.34	65.89
ร้อยละของของแข็งระเหย	57.53	61.66	34.11

ตาราง 31 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	963	789	943
TVA (ม.ก./ลิตร)	1,604	1,229	808
VFA (ม.ก./ลิตร)	157	151	143
pH	4.32	4.52	4.33
T-alk (ม.ก./ลิตร)	194	227	144
การขจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	44.83	33.12	65.59
ะของของแข็งระเหย	55.17	66.88	33.91

ตาราง 32 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการขจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	736	975	503
TVA (ม.ก./ลิตร)	1169	1653	807
VFA (ม.ก./ลิตร)	936	892	700
pH	5.83	5.62	6.10
T-alk (ม.ก./ลิตร)	974	1257	640
การขจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	41.54	37.40	35.36
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.44	62.60	48.69

ตาราง 33 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบอัดอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีไอดีต่อลิตร)	1,000	978	579
TVA (ม.ก./ลิตร)	1,589	1,683	811
VFA (ม.ก./ลิตร)	697	1,083	687
pH	5.63	5.78	6.29
T-alk (ม.ก./ลิตร)	1,271	1,413	734
การจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	40.90	36.13	40.34
ร้อยละของของแข็งระเหย	58.93	63.87	58.66

ตาราง 34 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีโอดีต่อลิตร)	1,183	1,151	838
TVA (ม.ก./ลิตร)	1,919	1,977	1,085
VFA (ม.ก./ลิตร)	1,050	779	490
pH	5.65	5.42	5.85
T-alk (ม.ก./ลิตร)	1,181	1,503	899
การจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	44.59	42.48	57.50
ร้อยละของของแข็งระเหย	52.41	56.82	50.91

ตาราง 35 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH ความเป็นด่าง และการจัดอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศ แบบ อับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน และใช้สารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

อุณหภูมิที่ทำการหมัก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิห้อง	37	55
COD (ม.ก. ซีไอคิดต่อลิตร)	1,324	1,298	1,004
TVA (ม.ก./ลิตร)	2,286	2,679	928
VFA (ม.ก./ลิตร)	1,052	1,146	789
pH	5.46	5.44	5.87
T-alk (ม.ก./ลิตร)	1,605	1,830	734
การจัดอินทรีย์สาร			
ร้อยละของของแข็งทั้งหมด	43.63	37.75	44.21
ร้อยละของของแข็งระเหย	57.05	61.54	55.79

ตาราง 36 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pHความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอวกาศสองชั้นตอน^๓(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)											
	3 วัน						5 วัน					
	10			20			10			20		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
COD(มก.ซีไอดี ต่อลิตร)	616	648	564	905	654	895	699	796	625	963	789	943
TVA(มก.ต่อลิตร)	820	1020	486	1313	970	727	1131	1258	512	1604	1229	808
VFA(มก.ต่อลิตร)	112.6	139	48	156.1	150	114	130	169	144	157	151	143
pH	4.47	4.50	4.53	4.36	4.50	4.27	4.36	4.50	4.45	4.32	4.52	4.33
ค่าความเป็นด่าง(มก.ต่อลิตร)	172	221	138	184	219	131	183	235	139	194	227	144

ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)													
ระยะเวลาเก็บกัก และอุณหภูมิที่ทำการทดลอง													
พารามิเตอร์	3 วัน						5 วัน						
	10			20			10						
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T3
การจัดอินทรีย์สาร													
ร้อยละของแข็งทั้งหมด	37.52	41.65	57.35	67.04	61.64	55.71	38.34	38.34	65.89	38.12	33.12	65.59	
ร้อยละของแข็งระเหย	62.48	58.95	42.67	32.96	38.36	44.28	61.66	61.66	34.11	66.82	66.88	33.91	
หมายเหตุT1หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง T2 หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ37 องศาเซลเซียส													
T3 หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส													

ตาราง 36 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกามะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)														
	ระยะเวลาเก็บกัก และอุณหภูมิที่ทำการทดลอง														
	3 วัน									5 วัน					
	10			20			10			20			10		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
สารตัวกลางที่กักขัง(มิลลิโมลาร์)															
กรดอะซิติก	0.53	0.62	0.50	0.76	0.19	0.62	0.62	0.99	0.58	0.87	0.67	0.65			
กรดโพธิ์ออนิก	0.25	0.28	0	0.41	0.76	0.36	0.29	0.39	0.50	0.35	0.34	0.29			
กรดไอโซบิวทริก	0.13	0.23	0	0.20	0.35	0.23	0.18	0.23	0.25	0.18	0.28	0.37			
กรดบิวทริก	0.25	0.26	0.21	0.42	0.21	0.34	0.32	0.26	0.38	0.38	0.34	0.25			
กรดแวลริก	0.29	0.36	0	0.25	0.43	0	2.70	0.36	0.18	0.29	0.30	0.27			
เอทานอล	0	0	0.89	0.71	0.22	0.76	0	0	0.90	0.29	0.09	0.75			

ตาราง 37 ผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศต่อปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย ความเป็นด่าง การจัดอินทรีย์สาร ชนิด และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ของการหมักกากมะเขือเทศแบบยับยั้งการขึ้นของเชื้อรา(เดิมเคยเขียนคาร์บอนเนต)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)ระยะเวลาเก็บกักและอุณหภูมิที่ทดลอง											
	3 วัน						5 วัน					
	10			20			10			20		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
COD(มก.ซีไอดี ต่อลิตร)	736	975	503	1183	1151	838	1,000	978	579	1324	1298	1004
TVA(มก.ต่อลิตร)	1169	1653	807	1919	1977	1085	1589	1683	811	2286	2679	928
VFA(มก.ต่อลิตร)	936	892	700	1050	779	490	697	1080	687	1052	1146	786
pH	5.83	5.62	6.10	5.65	5.42	5.85	5.63	5.78	6.29	5.46	5.44	5.87
ค่าความเป็นด่าง(มก.ต่อลิตร)	974	1257	640	1181	1503	899	1271	1413	734	1605	1830	734

ตาราง 37 (ต่อ)

	ความเข้มข้นสารแขวนลอยกามะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)ระยะเวลา และอุณหภูมิที่ทดลอง												
พารามิเตอร์	3 วัน						5 วัน						
	10			20			10			20			
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	
การจัดคั่นทรัพยากร													
	41.54	37.40	35.36	47.59	42.48	57.50	40.90	36.13	40.34	43.63	37.75	44.21	
ร้อยละของแรงทั้งหมด													
ร้อยละของแรงเฉื่อย	58.44	62.60	50.91	52.41	56.82	48.69	58.93	63.87	58.66	57.05	61.54	55.79	

ตาราง 37 (ต่อ)

ความเข้มข้นสารแขวนลอยจากมะเขือเทศ(กรัมต่อลิตร)ระยะเวลาเก็บกักและอุณหภูมิที่ทดลอง													
พารามิเตอร์	3 วัน						5 วัน						
	10			20			10				20		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T3
สารตัวกลางที่เกิดขึ้น(มิลลิโมลาร์)													
กรดอะซิติก	2.16	2.15	1.92	2.9	2.68	2.80	2.60	2.45	2.16	2.78	2.71	2.86	
กรดโพธิออนิก	2.05	2.32	2.66	2.37	2.47	1.95	2.47	2.59	2.60	2.77	2.74	2.58	
กรดไอโซบิวทริก	2.54	3.15	2.87	2.61	2.81	0	2.35	2.52	2.51	2.63	2.69	2.62	
กรดบิวทริก	1.94	1.86	1.48	2.17	2.12	2.01	1.71	1.97	1.40	2.59	2.83	2.18	
กรดแวลริก	2.5	1.46	0	2.73	0	0	0	3.38	0	2.15	3.39	0	
เอทานอล	0.69	0.80	0.82	0.86	0	1.71	2.19	1.08	1.56	0.63	0.54	1.93	

หมายเหตุ T1หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง T2 หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ37 องศาเซลเซียส

T3 หมายถึง ถึงปฏิบัติการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ55 องศาเซลเซียส

4.ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

นำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตรกรดอินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 20 กรัมต่อลิตร จากถังปฏิกรณ์ที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต และ เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส มาปรับความเข้มข้นของอินทรีย์สาร แล้วป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนแบบกึ่งต่อเนื่อง โดยให้มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร เป็น 0.5 และ 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน และระยะเวลาเก็บกักในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนนี้เป็น 3 วัน และ 5 วัน ทำการทดลองประมาณ 1 เดือน จึงนำน้ำหมักที่ได้มาวิเคราะห์และแสดงผลในตาราง 38 และ 39

ผลการทดลองในตาราง 38 เมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตรกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง และไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.29 และ 0.24 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.58 และ 0.48 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม หรือ เท่ากับ 1.61 และ 0.71 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเท่ากับร้อยละ 96.91 และ 67.28 การขจัดกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับร้อยละ 86.84 และ 93.15 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.25 และ 7.25 องค์ประกอบ ของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 58.29 และ 54.01 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1536 และ 1456 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตรกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.12 และ 0.10 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.24 และ 0.20 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม หรือ เท่ากับ 0.5 และ 0.27 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเท่ากับร้อยละ 48.41 และ 75.29 การขจัดกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับ ร้อยละ 85.35 และ 84.02 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.26 และ 7.23 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 38.57 และ 43.67 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,305 และ 1,298 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตรกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และ ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน และมีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.09 และ 0.08 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการ

ผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.18 และ 0.15 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เดิม หรือ เท่ากับ 0.50 และ 0.24 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเท่ากับร้อยละ 36.53 และ 69.92 การขจัดกรดอินทรีย์ร้อยละเหี่ยเท่ากับร้อยละ 58.30 และ 75.68 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.24 และ 7.33 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 23.70 และ 18.38 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 879 และ 891 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ผลการทดลองในตาราง 39 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิห้องและเติมแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัม ชีโอดีต่อวัน หมักที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นจาก 0.29 เป็น 0.31 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.29 เป็น 0.31 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เดิม หรือ เท่ากับ 0.76 และ 0.86 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 75.15 เป็น 87.05 การขจัดกรดอินทรีย์ร้อยละเพิ่มจากร้อยละ 84.68 เป็น 92.05 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.30 และ 7.29 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 54.36 และ 65.79 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,613 และ 1,534 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และเติมแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน และมี ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นจาก 0.23 เป็น 0.28 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.23 เป็น 0.28 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เดิม หรือ เท่ากับ 0.31 และ 0.31 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 72.74 เป็น 88.87 การขจัดกรดอินทรีย์ร้อยละเพิ่มจากร้อยละ 80.34 เป็น 89.62 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.31 และ 7.31 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 45.0 และ 36.51 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,342 และ 1,281 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเติมแคลเซียมคาร์บอเนตอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน และมี ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพจะเท่ากับ 0.24 และ 0.26 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเป็น 0.24 และ 0.26 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เดิม หรือ เท่ากับ 0.35 และ 0.31 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 68.32 และ 83.29 การขจัดกรดอินทรีย์ร้อยละเป็นร้อยละ 75.18 และ 86.09 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์

เท่ากับ 7.28 และ 7.34 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับ ร้อยละ 61.47 และ 60.10 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,233 และ 1,218 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้องและเติมแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน มีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของ ก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นจาก 0.26 เป็น 0.30 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.52 และ 0.60 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม หรือ เท่ากับ 1.18 และ 0.78 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 44.76 และ 76.45 การขจัดกรดอินทรีย์ระเหย เท่ากับร้อยละ 87.39 และ 93.65 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่ากับ 7.33 และ 7.32 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 51.42 และ 61.28 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,261 และ 1,103 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและเติม- แคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน มีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.11 และ 0.28 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิต ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.22 และ 0.56 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม หรือ เท่ากับ 0.41 และ 0.77 ลิตร ต่อกรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเท่ากับร้อยละ 36.99 และ 73.12 การ ขจัดกรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับร้อยละ 80.6 และ 93.21 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 7.32 และ 7.33 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับ ร้อยละ 56.36 และ 73.40 ค่าความเป็นด่างเท่ากับ 1,379 และ 1,238 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเติม- แคลเซียมคาร์บอเนต อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน และ มีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.21 และ 0.22 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพในการผลิต ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.42 และ 0.44 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม หรือเท่ากับ 0.65 และ 0.61 ลิตรต่อ กรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย การขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดีเท่ากับร้อยละ 65.47 และ 72.15 การขจัด กรดอินทรีย์ระเหยเท่ากับร้อยละ 68.42 และ 86.46 ค่า pH ของน้ำหมักที่ออกจากถังปฏิกรณ์เท่า กับ 7.26 และ 7.31 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 47.89 และ 55.66 ค่า ความเป็นด่างเท่ากับ 856 และ 768 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองในตาราง 38 ถึง 39 เมื่อเปรียบเทียบถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้ น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์เทียบกับที่อุณหภูมิเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตรา การป้อนอินทรีย์สารคงที่ แต่ระยะเวลาเก็บกักไม่คงที่ จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการ

ป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีที่เติม การขจัดอินทรีย์สารในรูปซีโอดี และการ ขจัดกรดอินทรีย์ระเหย จะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น ในทำนองเดียวกันที่อัตราการป้อน อินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีที่เติม การขจัดอินทรีย์สารในรูปซีโอดี และการ ขจัดกรดอินทรีย์ระเหยจะสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น แต่เมื่อเทียบที่อุณหภูมิต่างกัน ระยะ ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารเดียวกันพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันอัตราการป้อน อินทรีย์สาร 0.5 และ 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ถึงปฏิกิริยา ที่ใช้น้ำหมักที่อุณหภูมิห้องจะให้ปริมาณ ก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม) สูงกว่าถึงปฏิกิริยา ที่ใช้น้ำหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการ ป้อนอินทรีย์สาร 0.5 และ 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ถึงปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง จะให้ปริมาณก๊าซ- ชีวภาพ และประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม) สูงกว่าถึงปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสสูงกว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเมื่อระยะเวลาเก็บกักทั้งที่ แต่อัตราการป้อนอินทรีย์สารสูงขึ้นเมื่อเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันพบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีและ 1.0 กรัมซีโอดี มีปริมาณ ก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นตามอัตราการป้อนอินทรีย์สาร แต่ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของ ถึงปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิห้องสูงกว่า ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส สูงกว่า อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีและ 1.0 กรัมซีโอดี มีปริมาณก๊าซชีวภาพ อัตราการป้อนอินทรีย์สารและประสิทธิภาพ ในการผลิตก๊าซชีวภาพของถึงปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิห้องสูงกว่า ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสสูงกว่า ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังแสดงผลในตาราง 39

เมื่อเปรียบเทียบถึงปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนเมื่อใช้น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรด อินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าที่อัตราการป้อนอินทรีย์ สาร 0.5 กรัมซีโอดีเหมือนกัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน จะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพดีกว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน

และเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีและระยะเวลาเก็บกัก 3 วันเมื่อเติมและไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพในการ ผลิตก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์- สาร 0.5 กรัมซีโอดี พบว่าถึงปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์

ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตให้ปริมาณก๊าซและ ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าถึง
ปฏิกิริยาผลิตมีเทนที่ใช้น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนตดัง
ผลในตาราง 38 และ 39

ตาราง 38 ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซ
มีเทนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ
(น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	HRT 3 วัน			HRT 5 วัน		
	OLR 0.5 กรัมชีโอดี/วัน			OLR 0.5 กรัมชีโอดี/วัน		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
ปริมาตรก๊าซชีวภาพ(ลิตร/วัน)	0.29	0.12	0.09	0.24	0.10	0.08
ปริมาตรก๊าซชีวภาพ(ลิตร/ลิตร/วัน)	0.08	0.034	0.03	0.07	0.028	0.02
ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/กรัมชีโอดีที่เติม)	0.58	0.24	0.18	0.48	0.20	0.15
(ลิตร/กรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย)	1.61	0.50	0.50	0.71	0.27	0.24
COD reduction (ร้อยละ)	96.91	48.41	36.53	67.28	75.29	69.92
TVA reduction(ร้อยละ)	86.84	85.35	58.30	93.15	84.02	75.68
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก./ลิตร)	1536	1305	879	1456	1298	981
pH	7.25	7.26	7.24	7.25	7.23	7.33
ร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซผสม	58.29	38.57	23.70	54.01	43.67	18.38

หมายเหตุ

T1 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง

T2 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

T3 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ตาราง 39 ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สาร ในขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ
(นำหมักจากขั้นตอนการผลิตอินทรีย์เพิ่มเติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

พารามิเตอร์	HRT 3วัน									HRT 5วัน					
	OLR0.5 กรัมชีโอดี/วัน			OLR1.0 กรัมชีโอดี/วัน			OLR0.5 กรัมชีโอดี/วัน			OLR1.0 กรัมชีโอดี/วัน			OLR1.0 กรัมชีโอดี/วัน		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
ปริมาณก๊าซชีวภาพ(ลิตร/วัน)	0.26	0.11	0.21	0.29	0.23	0.24	0.30	0.28	0.22	0.31	0.28	0.26	0.31	0.28	0.26
ปริมาณคาร์ก๊าซชีวภาพ(ลิตร/ลิตร/วัน)	0.07	0.03	0.06	0.08	0.07	0.068	0.09	0.08	0.063	0.09	0.08	0.074	0.09	0.08	0.074
ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตร/กรัมชีโอดีที่เติม)	0.52	0.22	0.42	0.29	0.23	0.24	0.60	0.56	0.44	0.31	0.28	0.26	0.31	0.28	0.26
(ลิตร/กรัมชีโอดีที่ถูกทำลาย)	1.18	0.41	0.65	0.76	0.31	0.35	0.78	0.77	0.61	0.86	0.31	0.31	0.86	0.31	0.31
COD reduction (ร้อยละ)	44.76	36.99	65.47	75.15	72.74	68.32	76.45	73.12	72.15	87.05	88.87	83.29	87.05	88.87	83.29
TVA reduction(ร้อยละ)	87.39	80.6	68.42	84.68	80.34	75.18	93.65	93.21	86.46	92.05	89.62	86.09	92.05	89.62	86.09
ค่าความเป็นด่าง(ม.ก./ลิตร)	1261	1379	856	1613	1342	1233	1103	1238	768	1534	1281	1218	1534	1281	1218
pH	7.33	7.32	7.26	7.30	7.31	7.28	7.32	7.33	7.31	7.29	7.31	7.34	7.29	7.31	7.34
ร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซผสม	51.42	56.36	47.89	54.36	45.0	61.47	61.28	73.40	55.66	65.79	36.51	60.10	65.79	36.51	60.10

หมายเหตุ

T1 หมายถึง ถึงปฏิบัติการหมักมีเทนที่ใช้หมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง

T2 หมายถึง ถึงปฏิบัติการหมักมีเทนที่ใช้หมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

T3 หมายถึง ถึงปฏิบัติการหมักมีเทนที่ใช้หมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

5.การศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้ขั้วสเตรทต่างๆ เพื่อผลิตก๊าซมีเทน

การศึกษากิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้ในการทดลองนี้ โดยเก็บเชื้อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์เป็นขั้วสเตรทหมักที่สภาวะต่าง ๆ กันคือ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 และ 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน มาทดสอบความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายขั้วสเตรทต่าง ๆ กันคือ เอทานอล เข้มข้นร้อยละ 0.1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เปปโตนเข้มข้นร้อยละ 0.1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 1.0 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยทำการทดลองตามวิธีการวิจัยใน บทที่ 2

ผลการทดลองในตาราง 40 เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ที่อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 4.23 8.19 11.35 และ 1.07 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.01 11.56 27.79 และ 1.96) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.54 12.40 7.91 และ 3.11 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.91 16.52 20.11 และ 5.77) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 0.96 3.53 3.35 และ 0.44 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.53 9.50 11.61 และ 0.90) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.87 2.92 5.15 และ 0.42 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.61 7.95 9.87 และ 0.87) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 0.77 1.74 6.22 และ 0.32 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.16 3.39 17.42 และ

0.54) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.42 6.25 12.10 และ 0.32 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 2.64 11.54 26.37 และ 0.54) ตามลำดับ

ผลการทดลองในตาราง 41 พบว่า จุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน ที่ใช้น้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต) โดยที่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนมีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 17.52 44.14 44.87 และ 3.71 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 38.65 69.38 57.80 และ 78.07) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันสามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติกและกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 6.26 23.70 11.98 และ 7.48 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 12.52 34.30 25.02 และ 13.77) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน เชื้อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 21.34 26.76 46.71 และ 5.85 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 44.45 40.21 67.63 และ 12.82) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.51 7.47 6.41 และ 6.54 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 4.79 13.30 12.34 และ 15.40) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต) สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 10.74 23.05 51.04 และ 13.01 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 25.62 38.99 63.54 และ 14.97) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.83 12.53 32.10 และ 9.06 (ผลการศึกษาพบก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 12.58 10.96 51.01 และ 14.81 ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ดังปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 6.67 11.39 11.40 และ 11.77 (ผลการศึกษาก๊าซชีวภาพในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.64 15.34 14.40 และ 13.86) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.53 6.51 5.64 และ 3.88 (ผลการศึกษาก๊าซชีวภาพในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 4.23 13.48 10.95 และ 5.46) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ดังปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 6.79 15.21 13.69 และ 5.47 (ผลการศึกษาก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.09 18.31 15.54 และ 12.06) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.83 2.85 4.06 และ 4.59 (ผลการศึกษาก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.82 4.09 7.34 และ 11.90) ตามลำดับ

เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ดังปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส สามารถใช้เอทานอล เปปโตน กรดอะซิติก และ กลูโคส เข้มข้นร้อยละ 0.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเฉลี่ยร้อยละ 2.91 33.71 13.95 และ 6.86 (ผลการศึกษาก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 5.06 43.53 25.17 และ 13.75) เมื่อระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.62 13.88 25.56 และ 4.56 (ผลการศึกษาก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 12.27 26.32 39.30 และ 11.15) ตามลำดับ

(ในการทดลองนี้ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้เป็นก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่างอากาศ CH_4 และ CO_2) ผลแสดงในตาราง 40 และ 41 และภาพประกอบที่ 4 ถึง 21

จะเห็นว่าจุลินทรีย์จากถังปฏิกิริยาผลิตก๊าซมีเทนมีทั้งชนิด non-methanogen และ methanogen ซึ่งสามารถใช้กรดอะซิติกเป็นขั้วสเตรทได้ดีที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ชนิด methanogen จะมีความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและ อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะทำให้การ

ผลิตภัณฑ์มีเทนลดลงแสดงว่าจุลินทรีย์ชนิด non-methanogen จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นผลิตกรดอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นมีผลยับยั้งการเจริญของ methanogen และเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นทำให้สมดุลของ non-methanogen เปลี่ยนไปในลักษณะที่ทำให้การเจริญของ non-methanogen เพิ่มขึ้นมากกว่า methanogen

ตาราง 40 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนเมื่อจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้
 ชั้นสเตรทต่างๆกัน(น้ำหมักกรดอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนใน ก๊าซผสมระหว่าง อากาศ CH ₄ และCO ₂ เมื่อใช้	สถานะของถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่นำจุลินทรีย์มาใช้ในการศึกษา					
	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน			ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน		
	อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (กรัมชีโอดี/วัน)			อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (กรัมชีโอดี/วัน)		
	0.5			0.5		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
-เอทานอล	4.23	0.96	0.77	6.54	0.87	1.42
-เปปโตน	8.19	3.53	1.74	12.40	2.92	6.25
-กรดอะซิติก	11.35	3.35	6.22	7.91	5.15	12.10
-กลูโคส	1.07	0.44	0.32	3.11	0.42	0.32

หมายเหตุ

T1หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้ น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง

T2 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้ น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

T3 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้ น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ตาราง 41 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนเมื่อจุดอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนใช้ขับเสตพต่าง ๆ กัน
(น้ำหนักกรดอินทรีย์ดีนแคเลเซียมคาร์บอเนต)

ปริมาณร้อยละของ ก๊าซมีเทนในก๊าซผสม ระหว่างอากาศ CH ₄ และ CO ₂ เมื่อใช้	สภาวะของถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่นำจุดอินทรีย์มาใช้ในการศึกษา									
	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน					ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน				
	อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (กรัมชีโอดี/วัน)					อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (กรัมชีโอดี/วัน)				
	0.5					0.5				
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1
-เอทานอล	17.52	21.34	10.74	6.67	6.79	2.91	6.26	2.51	7.83	2.53
-โปรพาน	44.14	26.76	23.05	11.39	15.21	33.71	23.70	7.47	12.53	6.51
-กรดอะซิติก	44.87	46.71	51.04	11.40	13.69	13.95	11.98	6.41	32.10	5.64
-กลูโคส	3.71	5.85	13.01	11.77	5.47	6.86	7.48	6.54	9.06	3.88

หมายเหตุ

T1 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหนักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง

T2 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหนักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

T3 หมายถึง ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้น้ำหนักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

บทที่ 4

สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการหมักแบบอับอากาศสองขั้นตอนเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ 2 พวก คือ non- methanogenic bacteria ซึ่งเจริญได้ดีในช่วง pH กว้าง คือระหว่าง 3.5 - 6.5 อีกกลุ่มหนึ่งคือ methanogenic bacteria ซึ่งเจริญได้ดีในช่วง pH ที่เป็นกลาง คือประมาณ 7.0-7.8 และมีอัตราการเจริญช้ากว่าพวกแรก ดังนั้นในการศึกษาจึงแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ pH ประมาณ 4.0-6.5 และ ขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน pH ประมาณ 7.0-7.5 งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ ระยะเวลาเก็บกากกากและอุณหภูมิต่อชนิดและปริมาณสารตัวกลางในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ผลของระยะเวลาเก็บกากและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนในถังปฏิกรณ์การผลิตกรดอินทรีย์ที่มีปริมาตรใช้งาน 1.5 ลิตร ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำหมักมูลไก่ผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กรองและเอาน้ำหมักมูลไก่ที่กรองได้มาผสมกับกากมะเขือเทศให้ได้ความเข้มข้นของกากมะเขือเทศเป็น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร เติมน้ำในถังปฏิกรณ์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการหมักโดยป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง แล้วศึกษาผลต่างๆ ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ ต่อจากนั้นนำน้ำหมักกรดอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซมีเทน โดยนำมาปรับ pH จนเป็น 7.0 ก่อนเติมน้ำในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนในการเตรียมถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม methanogen นั้นจะใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตต เข้มข้นร้อยละ 0.1 ป้อนเป็นแหล่งคาร์บอนแก่กลุ่มจุลินทรีย์โดยตรงเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์เพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาในการเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ หลังจากนั้นจึงนำน้ำหมักกากมะเขือเทศที่ได้จากขั้นตอนแรกผสมกับโซเดียมอะซิเตต และค่อยๆ ลดปริมาณของโซเดียมอะซิเตตในที่สุดจะป้อนแต่น้ำหมักกากมะเขือเทศเพียงอย่างเดียว แล้วจึงศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกากและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากการทดลอง ในส่วนนี้จะเห็นว่าการป้อนอินทรีย์สารในระดับต่ำๆก่อนเพื่อให้เกิดความสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม methanogen และ non-methanogen เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนนั้น อยู่ในลักษณะของเชื้อผสมซึ่งมีทั้ง methanogenic และ non-methanogenic bacteria ถ้ามีการเติมอินทรีย์สารเข้มข้นสูง พวก non-methanogen จะย่อยสลายอินทรีย์สารอย่างรวดเร็ว เกิดกรดอินทรีย์ปริมาณสูง กลุ่ม methanogen ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันทำให้เกิดการสะสมของ

กรดอินทรีย์ และก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ (สุพรรณิ. 2536)

การทดลองหมักกากมะเขือเทศเพื่อให้ได้กรดอินทรีย์โดยใช้กากมะเขือเทศผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรและ 20 กรัมต่อลิตร ทำการหมักให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจวัดปริมาณอินทรีย์สารในรูป มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย pH ค่าความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สารชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ พบว่าถ้าใช้กากมะเขือเทศเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ในน้ำหมักที่ได้เมื่อเทียบที่ระยะเวลาเก็บกักกากเดียวกัน จะมีปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย การขจัดอินทรีย์สารในรูปของแข็งทั้งหมด สูงกว่าเมื่อใช้กากมะเขือเทศเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณอินทรีย์สารที่ป้อนเพิ่มขึ้น และที่ใช้ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สารเดียวกันจะให้ปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าที่ใช้ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน เนื่องจากจุลินทรีย์มีจำนวนจำกัดในขณะที่ปริมาณอินทรีย์สารเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักกาก และใช้กากมะเขือเทศเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการขจัดอินทรีย์สารจะสูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะเวลาที่จุลินทรีย์สัมผัสอาหาร และน้ำหมักที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตค่า pH จะอยู่ในช่วง 5.46 ถึง 5.65

ชนิดกรดอินทรีย์ระเหยและสารตัวกลางที่พบคือกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก กรดแวนิลิก และเอทานอล ซึ่งปริมาณกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และกรดบิวทิริก จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกากมะเขือเทศที่ป้อนเข้าไป และพบว่าโดยทั่วไปกรดอะซิติกจะมีปริมาณสูงกว่ากรดอินทรีย์ระเหยชนิดอื่น และระยะเวลาเก็บกักกากไม่มีผลหรืออาจจะมีผลน้อยต่อปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย เนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารในน้ำหมักให้เป็นกรดอินทรีย์ได้หมด ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักกากมากขึ้นก็ไม่มีผลต่อการย่อยสลายอินทรีย์สาร ไปเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลอง Sreekrishnan, Ramachandran and Ghosh. 1991 โดยศึกษาผลของการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์โดยป้อนน้ำตาลกลูโคสจาก 2.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จนถึง 21.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าปริมาณกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการป้อนอินทรีย์สาร และจากการหมักกากมะเขือเทศให้มีความเข้มข้น 10 กรัม และ 20 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณกรดอะซิติก จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกากมะเขือเทศที่ป้อนเข้าไป (เกรือวัลย์. 2537)

จะเห็นว่าในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์นี้เชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดอินทรีย์เจริญในถังปฏิกรณ์หมักกรดอินทรีย์ในช่วง pH ประมาณ 5.5-6.3 และสามารถย่อยสลายอินทรีย์สารกากมะเขือเทศเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีคาร์บอน 2- 5 อะตอม ซึ่งกรดอินทรีย์ที่

สำคัญคือกรดอะซิดิก แต่กรดอะซิดิกที่ได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำแต่การขจัดอินทรีย์สารสูงกว่า เมื่อเทียบกับผลการทดลองของเครือวัลย์ (เครือวัลย์, 2537) อาจเป็นไปได้ว่าในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์มีเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถนำกรดอะซิดิกที่เกิดขึ้นไปใช้ได้

ในกรณีที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากมะเขือเทศจะทำให้ปริมาณอินทรีย์สาร และค่าความเป็นด่างสูงขึ้น แต่ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากมะเขือเทศ ในช่วงระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันการเพิ่มความเข้มข้นของกากมะเขือเทศ ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหย เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์ มีอยู่จำนวนจำกัด ซึ่งการป้อนอินทรีย์สารในช่วงแรก ปริมาณยังไม่มากเกินไปสำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ การย่อยสลายอินทรีย์สารจะยังเกิดได้ดี แต่เมื่อปริมาณมากขึ้นแต่ระยะเวลาเก็บกักกากเท่าเดิม การย่อยสลายจะไม่เพิ่มขึ้น เพราะจุลินทรีย์ย่อยสลายไม่ทัน แต่ถ้าเพิ่มระยะเวลาเก็บกักกากนานขึ้น จุลินทรีย์จะสัมผัสอาหารนานขึ้น การย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้นได้ และปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่ไม่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายสารไปเป็นกรดอินทรีย์ อาจผลิตกรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆที่ไม่ได้ตรวจสอบออกมามากกว่ากรดอินทรีย์ที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งมีคาร์บอน 3- 5 อะตอมหรืออาจเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยไม่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บกักกาก นอกจากนี้ในน้ำหมักที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตกับที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ปริมาณอินทรีย์สารมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร จะมีค่าแตกต่างกัน อีกทั้งปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ค่าความเป็นด่าง และpH ค่อนข้างต่ำประสิทธิภาพในการขจัดอินทรีย์สารจะใกล้เคียงกัน แต่โอกาสของระบบการหมักที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีโอกาสล้มเหลวได้ง่าย เพราะค่าความเป็นด่างต่ำ ระบบอาจไม่สามารถรักษาสภาพสมดุลความเป็นกรดเบส ของระบบได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ได้

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่มีระยะเวลาเก็บกักกากต่างๆ โดยใช้กากมะเขือเทศผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร ทำการหมักให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส

ตรวจวัดปริมาณอินทรีย์สารในรูปมิลลิกรัมซีไอดี ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย pH ค่าความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ดังแสดงผลในตารางที่ 28-35 พบว่าที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน จะให้ปริมาณอินทรีย์สารสูงกว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน ให้ปริมาณอินทรีย์สารใกล้เคียงกับที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องเชื้อจุลินทรีย์มีปริมาณจำกัด แต่ปริมาณสารอาหารมีมากกว่า ทำให้การย่อยสลายอินทรีย์สารเกิดได้น้อย ปริมาณอินทรีย์สารที่ออกมาจึงน้อย แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานขึ้น จุลินทรีย์มีเวลาในการสัมผัสและย่อยสลายอินทรีย์สารได้นานขึ้น ทำให้ปริมาณอินทรีย์สารมีมากขึ้นด้วย แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น ปริมาณอินทรีย์สารที่มีในน้ำหมักกลับไม่เพิ่มตามอาจเป็นเพราะจุลินทรีย์กลุ่ม non-methanogen ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ดีที่ 37 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียสและอาจเนื่องจากปริมาณอินทรีย์สารที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์มีปริมาณน้อย.

ในกรณีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 20 กรัมต่อลิตร พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณอินทรีย์สารสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน ที่อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากในถังหมักมีปริมาณอินทรีย์สารที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์มากพอและเมื่อระยะเวลาเก็บกักกากเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับอาหารได้นานขึ้น การย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น ปริมาณอินทรีย์สารจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ในกรณีของระยะเวลาเก็บกักกากเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ทั้งที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร จะให้ปริมาณอินทรีย์สารต่ำกว่าอุณหภูมิอื่นๆ อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ที่อุณหภูมินี้ ย่อยสลายอินทรีย์สาร แล้วเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นกรดอินทรีย์ได้ดี ทำให้ปริมาณอินทรีย์สารมีอยู่น้อยในน้ำหมัก ซึ่งดูได้จากค่าความเป็นด่าง ซึ่งลดต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ ที่อัตราการป้อนกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร จะพบสารตัวกลางคือ กรดอะซิติก และกรดไพรูวอนิก กรดบิวทีริก และกรดไอโซบิวทีริก แต่ไม่พบกรดไอโซบิวทีริกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อนกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตรระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน ในกรณีของกรดแวลริกจะพบได้ที่อุณหภูมิห้อง และ 37 องศาเซลเซียส แต่ที่ 55 องศาเซลเซียสไม่พบกรดแวลริกเลย นอกจากนี้พบเอทานอลได้ในเกือบทุกอุณหภูมิและอัตราการป้อนกากมะเขือเทศ ยกเว้นที่ 37 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร ไม่พบเอทานอลเลย ถ้าพิจารณาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำหมักในหน่วยของมิลลิโมลาร์ พบว่าจากผลการทดลองข้างต้นอาจเป็นไปได้ว่าในถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิปานกลางอาจมีเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่ม mesophilic ในถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิสูง

อาจมีเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic หรือแต่ละถังปฏิกรณ์อาจมีทั้งสองกลุ่มปนกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของการหมักเปลี่ยนไปใกล้เคียงกับอุณหภูมิของจุลินทรีย์กลุ่มใด จะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนั้นสามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้มากขึ้นและทำงานดีขึ้น จากผลการทดลองในตาราง 32 ถึง 35 แสดงว่าจุลินทรีย์กลุ่ม mesophilic สามารถเจริญและทำงานได้ดี แต่จุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic ปรับตัวได้ไม่ดี การหมักต้องควบคุมอุณหภูมิของถังปฏิกรณ์ให้คงที่ ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ การขึ้นลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อ thermophilic bacteria มากกว่า mesophilic bacteria ช่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จะไม่กระทบต่อปฏิกิริยาใน mesophilic จะมีได้ ± 2.8 องศาเซลเซียส แต่ของ thermophilic จะไม่เกิน ± 0.30 องศาเซลเซียส (Permpong , Gaysorn and Susumu. 1985) ในการหมักที่ช่วงอุณหภูมิ mesophilic ส่วนใหญ่จะให้ปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าในการหมักที่ช่วงอุณหภูมิ thermophilic และจากผลการทดลองยังพบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจะพบกรดไพรูวอนิกด้วย โดยที่กรดไพรูวอนิกอาจส่งผลกระทบต่อระบบ เพราะกรดไพรูวอนิก เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ (จกกล. 2537)

ในกรณีของน้ำหมักที่ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต จากการใช้กากมะเขือเทศผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร และ 20 กรัมต่อลิตร ทำการหมักให้ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ตรวจวัดอินทรีย์สารในรูป มิลลิกรัมซีไอต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นด่าง การขจัดอินทรีย์สาร ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันและ 5 วัน อุณหภูมิห้อง อัตราการป้อนกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงกว่าที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วันสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์สารได้ดีที่อุณหภูมิห้อง และการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักกากเป็น 5 วัน ช่วยเพิ่มเวลาในการสัมผัสอาหารให้นานขึ้นการย่อยสลายดีขึ้น ส่วนกรณีอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ปริมาณอินทรีย์สารในน้ำหมักเริ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเพราะว่าเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม thermophilic เริ่มทำงานได้ดีขึ้นจึงย่อยสลายอินทรีย์สารได้เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการย่อยสลายของกลุ่ม mesophilic จะดีกว่า กลุ่ม thermophilic ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 10 กรัมต่อลิตร ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่ได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำในทุกอุณหภูมิอาจจะเนื่องจากจุลินทรีย์เปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอาจมีกรดอินทรีย์บางชนิดที่ไม่ได้ทำการตรวจสอบเกิดขึ้นมากในน้ำหมักและปริมาณกรดที่ทำการตรวจสอบที่มีปริมาณคาร์บอน 3- 5 อะตอม

เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตกรดอินทรีย์ ระหว่างการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต และไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตให้ค่าความเป็นด่างสูงกว่าปริมาณอินทรีย์สารในน้ำหมักดีกว่า ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากกว่า

จากผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่าเมื่อใช้กากมะเขือเทศความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร ระยะเวลากัก 5 วัน จะให้ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย และปริมาณกรดอินทรีย์แต่ละชนิดในปริมาณสูง จึงนำน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์เหล่านี้มาใช้เป็นวัตถุดิบป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทน เพื่อศึกษาต่อไป

ผลของระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

การทดลองนี้เป็นการนำเอาหน้าหมักกรดอินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ ที่ได้จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียสและ 55 องศาเซลเซียส มาเป็นขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในหม้อลิตรต่อลิตรต่อวันที่เกิดขึ้นจะสูงสุดเท่ากับ 0.09 ลิตรต่อลิตรต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ใช้หน้าหมักกรดอินทรีย์จากอุณหภูมิห้องและม็อดประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 65.79 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ในตารางที่ 39 จะพบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักเดียวกัน การเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารให้สูงขึ้นจาก 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันเป็น 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง ทั้งที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจาก ในน้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพมีทั้งจุลินทรีย์กลุ่ม non-methanogen และ methanogen อยู่ปนกัน ซึ่งปริมาณเชื้อทั้งสองกลุ่มอาจมีไม่สมดุลกัน ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม non-methanogen อาจมีปริมาณมากกว่ากลุ่ม methanogen เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารมากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจนเกินกว่าที่กลุ่ม methanogen จะใช้ได้ทัน กรดอินทรีย์ที่สะสมอยู่จะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของกลุ่ม methanogen ทำให้กลุ่ม methanogen ใช้กรดอินทรีย์ได้ช้าลงมีผลทำให้เปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนได้น้อยลง หรือกลุ่ม non-methanogen เปลี่ยนอินทรีย์สารที่เดิมลงไป ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้นสังเกตได้จากค่าของปริมาณการขจัดอินทรีย์สารในรูปของชีโอดี ทำให้เหลืออินทรีย์สารสำหรับกลุ่ม methanogen ในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้น้อยลง

ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สารเท่ากันคือ 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันหรือ 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักให้นานขึ้น พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักแต่อัตราการป้อนอินทรีย์สารคงที่เท่าเดิม เชื้อจุลินทรีย์ก็มีเวลาสัมผัสกับอินทรีย์สารมากขึ้นการย่อยสลายอินทรีย์สารก็เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการขจัด

อินทรีย์สารในรูปซีโอดี ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาระยะเวลาเก็บกักและอัตรา การป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนจาก Cheese ซึ่ง Yan (Yan. 1988) พบว่าอัตรา การผลิตก๊าซชีวภาพจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น

นอกจากนี้ในขั้นตอนนี้ยังได้ศึกษาถึงความสามารถในการขจัดอินทรีย์สารในรูปซีโอดี พบว่าเมื่อนำน้ำหมักกรดอินทรีย์จากทุกอุณหภูมิ จะทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดอินทรีย์สารจะดี ขึ้น เมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น โดยสามารถขจัดอินทรีย์สารในรูปของซีโอดีได้สูงสุดร้อยละ 88.87 เมื่อนำน้ำหมักกรดอินทรีย์จาก 37 องศาเซลเซียสหมักที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อน อินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณอาหารที่เติมลงไปอาจพอเหมาะ กับ ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่จำนวนน้อยในถังปฏิกรณ์ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้อาหารได้หมดด้วย ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับอาหารนานขึ้นๆ

ในกรณีที่ไม้เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพไม่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บ กัก อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้อินทรีย์สารในน้ำหมักได้ดี ในการเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจึงไม่ช่วย ให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพดีขึ้น หรือจำนวนจุลินทรีย์ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกัก เพิ่มขึ้น การย่อยสลายจึงไม่เพิ่มตาม ซึ่งต่างจากกรณีของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเมื่อเพิ่ม ระยะเวลาเก็บกัก ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซเพิ่มตามด้วย

การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนเมื่อใช้ขั้วสเตรทต่าง ๆ คือ เอทานอล เข้มข้นร้อยละ 0.1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.1 (ปริมาตรต่อ ปริมาตร)เปปโดนเข้มข้นร้อยละ 0.1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 1.0 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ที่มีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันของถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนเมื่อนำน้ำหมักกรด อินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ทั้งที่อุณหภูมิห้อง 37 องศาเซลเซียส และ 55 องศา-เซลเซียส เมื่อใช้กรดอะซิติก สามารถผลิตก๊าซชีวภาพที่มีเทนเป็นองค์ประกอบในก๊าซผสมระหว่าง อากาศ CH_4 และ CO_2 เฉลี่ยร้อยละ 44.87 , 46.71 และ 51.04 ซึ่งสูงกว่าเปปโดนเมื่อเทียบที่ ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะ ระยะเวลาเก็บกัก 5 วันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวันจุลินทรีย์ซึ่งนำมาจากถังปฏิกรณ์ ทั้งสามอุณหภูมิ เมื่อนำไปเปปโดนจะให้ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงกว่าเมื่อนำไปใช้กรดอะซิติก แต่เมื่อ พิจารณาที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันและ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวันพบว่า จุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์สามารถใช้กรดอะซิติก และเปปโดนในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ใน

อัตราใกล้เคียงกัน แต่ใช้กรดอะซิติกให้ปริมาณก๊าซสูงกว่าใช้เปปโตนอนค์ประกอบของก๊าซมีเทน ในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 ที่ได้จากการย่อยกรดอะซิติกและเปปโตนอนค์จะสูงกว่าที่ได้จากการย่อยสลายเอทานอล และกลูโคส ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า methanogenic bacteria ที่ใช้ศึกษานี้สามารถใช้กรดอะซิติกเป็นซับสเตรทในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ดีที่สุดเพราะเปปโตนอนเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนกว่ากรดอะซิติก แต่ non-methanogenic bacteria อาจใช้เปปโตนอนในการเพิ่มปริมาณเชื้อได้ จึงทำให้สามารถผลิตก๊าซมีเทนเมื่อใช้เปปโตนอนเป็นซับสเตรทได้ใกล้เคียงกับเมื่อใช้กรดอะซิติก ซึ่งพบได้จนถึงปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน

นอกจากนี้ถ้าพิจารณาจากตารางที่ 39 ปริมาณก๊าซที่วัดได้มีปริมาณน้อย อาจเป็นเพราะเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำหมักที่นำมาทดสอบมีเชื้อ non-methanogen ปนกับ methanogen ดังนั้นก็จะใช้สารอาหารนั้น ๆ อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดกรดอินทรีย์จำนวนมาก และเกิดภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการที่พวก methanogen จะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน แต่พวก non-methanogen ก็ยังคงทำงานได้จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มากกว่ามีเทนเช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นซับสเตรทในการศึกษาด้วย พบว่าจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ที่ใช้ทดลองครั้งนี้ไม่สามารถใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 หรือใช้ได้ปริมาณน้อยมากในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่ใช้ น้ำหมักกรดอินทรีย์จากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ทั้งสามอุณหภูมิทั้งที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตและไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตให้ผลในทำนองเดียวกัน ดังนั้นในการป้อนสารอาหารที่มีความเข้มข้นสูงมากพวก non-methanogen จะเจริญได้เร็วกว่า พวก methanogen พวก non-methanogen จะย่อยสลายอินทรีย์สารอย่างรวดเร็วเกิดกรดอินทรีย์ในปริมาณสูงซึ่งเชื้อพวก methanogen ไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันดังนั้นก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในกรณีของน้ำหมักที่ไม่ได้เติมแคลเซียมคาร์บอเนต จะพบว่าสามารถใช้เปปโตนอนและกรดอะซิติก ในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ดีกว่าเอทานอลและกลูโคสซึ่งคล้ายกับกรณีน้ำหมักเติมแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยมากซึ่งน้อยกว่าน้ำหมักที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อาจเป็นเพราะเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำหมักที่นำมาทดสอบมีปริมาณของเชื้อกลุ่ม non-methanogen มากกว่าพวก methanogen ดังนั้นการเปลี่ยนซับสเตรทที่ทดสอบเป็นก๊าซมีเทนจึงเกิดได้น้อย

ข้อเสนอแนะ

1. แหล่งจุลินทรีย์เริ่มต้นที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ อาจยังปรับตัวในการย่อยสลายซับซ้อนที่เป็นกากมะเขือเทศได้ไม่คืบคลาน จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำหมักค่อนข้างน้อย ดังนั้นควรจะใช้เวลานานขึ้นกว่านี้ในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์จากน้ำหมักมูลไก่ที่ใช้ขับสเตรปโตคอกคัส

2. ในการทดลองนี้ alkalinity ของระบบน้ำหมักกรดอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ จึงได้เติมสารเคมีคือแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดผงลงไปเพื่อเพิ่ม alkalinity ให้สูงขึ้น แต่ผลจากการเติมนี้ ทำให้ pH ของน้ำหมักค่อนข้างไม่คงที่ ดังนั้นจึงควรหาวิธีการแก้ไขโดยอาจเติมลงในรูปของสารละลายที่มีความเข้มข้นแน่นอน เพื่อปรับสภาพ pH ให้ค่อนข้างคงที่

3. เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นปริมาณน้อยมาก ดังนั้นควรหาวิธีการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ โดยการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ หรือให้จุลินทรีย์หลุดออกจากระบบน้อยที่สุด ซึ่งอาจทำได้โดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์หมุนเวียนเพื่อแก้ปัญหา

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- เกษม พิลึก. การผลิตมะเขือเทศส่งโรงงาน. สมาคมการค้าปุ๋ยและธุรกิจเกษตรไทย 2531 .
- เกษแก้ว ปะนะมณฑา. การศึกษาการย่อยสลายชั้นสเตรทต่างๆโดยจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์
ผลิตก๊าซชีวภาพ . วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2534. อัดสำเนา..
- เครือวัลย์ เคลื่อนสูงเนิน. ผลของสภาวะต่างๆต่อขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน . วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร 2537. อัดสำเนา.
- จกกล พุนทวิ ผลของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ.
วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537. อัดสำเนา.
- ชินพงศ์ วั่งไฉ การกระจายตัวของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ระบบมีตัวกรองภายใต้สภาวะไร้อากาศ
ที่มีทิศทาง การป้อนสารอาหารต่างกัน, วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538. อัดสำเนา.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. 2525.,
- นพพร เจตนาชัย . การศึกษาจากกลุ่มจุลินทรีย์ในถังหมักก๊าซชีวภาพอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิ
ปานกลาง วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2529.
อัดสำเนา.
- วิบูลย์ นุชประมูล. การหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน. ปรินูญานิพนธ์ วท.ม.
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. 2535. อัดสำเนา.
- วิเชียร พันธุ์ยี่. การผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำปัสสาวะเปลี่ยนสับปะรด. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี . 2534. อัดสำเนา.
- มรกต ดันติเจริญ .และคณะ สรุปโครงการนิทรรศการเทคโนโลยีครั้งที่ 6, สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี . ตุลาคม . 2534.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจาก
โรงงานสุรา กรมสรรพสามิต ตอนที่ 2 สรุป., 2534.

- สุพรรณิ ชาญประเสริฐ. ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการหมักกากมะเพื่อเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ปรินญาณพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร . . 2536 .อัดสำเนา.
- สุเมธ ชวเดช. และคณะ การผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2530 .
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ การประชุมวิชาการประจำปี 2538 ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพระหว่างชาติ 30 พ.ย. - 1 ธ.ค., 2538.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. หนังสือเทคโนโลยีชีวภาพการจัดการทรัพยากรชีวภาพและสิ่งแวดล้อม การประชุมวิชาการ ประจำปี 2538 ศูนย์พันธุวิศวกรรม และเทคโนโลยีชีวภาพระหว่างชาติ 30 พ.ย. - 1 ธ.ค., 2538.
- นัทยา ทิพย์วัฒน์ การศึกษากลุ่มจุลินทรีย์และสารตัวกลางในระบบวนการย่อยสลาย ปลือกสับปะรดในสภาวะไร้อากาศที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2531. อัดสำเนา.
- Anderson, G.K., Donnelly, T. and Mc Keown, K.J., Identification and Control of Inhibitor in the Anaerobic Treatment of Industrial Waste water, " Process Biochemistry, 35. : 334- 343. ; 1982.
- APHA, AWWA, WPCF. " Standard Method for The Examination of Water and WasteWater 16th. edition. : 533-535, 1985 .
- Barredo, M.S. and L.M. Evison Effect of Propionate Toxicity on Methanogen Enriched Sludge Methanobrevibacter Smithii and Methanospirillum hungatii at Different pH Values, " Appl. and Environment Microbiology. 57:1764-1769; 1991.
- Breure, A.M. and Van Andel, J.G., Bioenvironmental Systems, 2, Boca Raton , Florida : :95-112.; 1987.
- Brown, D.K., Militzer, W. and Georgi, C.E., "The Effect of Growth Temperature on the Heat Stability of a Bacteria Pyrophosphatase " Arch. Biochem. Biophys., 70: :248-256.; 1957.
- Bryant, M.P., "Microbial Methane Production-Theoretical Aspect" Journal of Animal Sciences, 48 :193-201. ; 1979.
- Buswell, A.M., "Fundamentals of Anaerobic Treatment of Organic Wastes" Sewage Industrial Wastes,. 29 :717-721; 1957.
- Calzada, J.F. " Biogas production from coffee pulp juice: one and two-phase system " Agricul. Wastes, 9:217-230; 1984.

- David, J.H. and K. Nakano. "Effect of particle size on anaerobic digestion of tomato solid wastes, Agricul.Wastes, 10:285-295 , 1984.
- Dinopoulou, G. and J.N. Lester, "Optimization of Two Phase Anaerobic Digestion System Treating a Complex Waste Water," Environ. Tech. Letters, 10:799-814; 1989.
- Dinopoulou, G, Thomasine Rudd and John N. Lesters. "Anaerobic Acidogenesis of a Complex Wastewater The Influence of operational parameters on Reactor Performance ." Biotech and Bioengineer., 31:1958 -1968 ; 1988.
- Donald, L. Wise . Bioenvironmental Systems Boca Raton , Florida, Economic and Social Commision for Asia and the Pacific, 96-103, 1987.
- Updated Guide Book on Biogas Development" Energy Resources Development Series No. 27, United Nations New York, 1984.
- Ghosh, S., A . Sajjad and M.P. Herry, "Two - Stage Upflow anaerobic digestion of concentration sludge, Biotech.Bioeng.Symp. 13:351-370; 1983 .
- Ghosh, S., J.P. Ombregt and P. Pipyn. "Methane production from industrial wastes by two-phase anaerobic digestion, Water Res. 19(9):1083-1088; 1985.
- Gomez, J. and Goma, G., "Effect of different inoculum levels of Mixed Culture in Acidogenic Fermentation, Biotech. Letters, 8(11): 833-836; 1986.
- Hanaki, K., Chatsanguthai, S . and Matsuo, T., "Characterization of Accumulated Biomass in Anaerobic Filter Treating Various Types of Substrates Bioresources Technology, 47(3): 275-282; 1994.
- Hernandez , E.P.S. and Cordoba , T ., , "Anaerobic treatment of Sugar Mill Waste-Water in Downflow Fixed-Bed Reactors," Bioresource Technology, 48(2):179-181; 1994.
- Hill, D.J. and S. Dykstra. "Anaerobic Digestion of Cannery Tomato" J. of environ engineer. division. 106:266-380; 1989.
- Ingraham, J.L "Temperature Relationships" The Bacteria A Cademic Press, New York, :265-295.; 1962,
- Keefer, C.E., and Urter, H.C., "Digestion of Volatile Acids" Journal of water Pollution Control Federal, 35: 331-343.; 1962.
- Kugelman, I.J. and Mc Carty, P.L., "Cation Toxicity and Stimulation in Anaerobic Waste wates Treatment," Journal of Water Pollution Contral Federal, 37(1): 97-116 .; 1965.
- Koster, I.W., "Liquefaction and Acidogenesis of Tomatoes in an Anaerobic Two-Phase Solid Waste Treatament System," Agricul. Wastes, 11: 241-252, 1984..
- Jone Mata - Alrares, and other ., "Anaerobic digestion of the Barcelona Control Food Market Organic Wastes, Bioresource Technology, 39:39-48 ;1992.

- Lane, A.G. "Laboratory Scale Anaerobic digestion of Fruit and Vegetable Solid Waste," Biomass , 5:245-259; 1984.
- Lawrence, A.W., and McCarty, P.L., "Kinetic of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment" Journal of Water Pollution Control Federal, 41: 205-211.; 1965.
- Lo, K.V., Liao, P.H., and Gao, Y.C., "Anaerobic Treatment of Swine Wastewater Using Hybrid UASB Reactors," Bioresource Technology, 47,:153-157; 1994.
- Maly, J. and H. Fadrus "Influence of Temperature on Anaerobic Digestion" J. water pollut control. Fed , 43:641-650; 1971.
- McCarty, P.L. and J.S. Jeris. "The Biochemistry of Methane Fermentation Using ¹⁴C tracers" J. Water. Pollut. Control Fed., 37:178-192, 1984.
- Mosey, F.E., and Hughes, D.A., "The Toxicity of the Heavy Metal Ions to Anaerobic Digestion," Journal of The Institute of Water Pollution Control, 74:18-40.;1975.
- Permpong, S., D. Gaysorn and O. Sumsu. "Mesophilic and Thermophilic Methane Fermentation of Slop Waste," Ferment. Technol , 63:567-573, 1985.
- Prema Viswanath, S. Sumithra, Devi and Krishna Nand, "Anaerobic digestion of Fruit and Vegetable Processing Wastes for Biogas Production," Bioresource Technology, 40:43-48; 1992 .
- Rico Gutierrez, J.L., Garejia Encina, P.L., and F. Fdz-polanco, Anaerobic Treatment of Cheese Production Wastewater using a UASB Reactor Bioresource Technology, 37:271-276, 1991.
- Sanchez, E.P. and others. "Effect of the hydraulic retention time on the anaerobic biofilm reactor efficiency applied to screened cattle waste treatment" Biotech. Letters, 14(7):635-638;1992.
- Sarada, R. and K. Nand. "Start-up of anaerobic digestion of tomato processing wastes for methane generation," Biological Wastes, 30: 231-237; 1989.
- Sprott, G.D., S.E. Bird and I.J. McDonald. "Proton Motive Force as a Function of the pH at which Methanobacterium bryantii is Grown," Can. J. Microbiol. 31:1031-1034 ;1985.
- Sreekrishnan, T.R., K.B. Ramachandran, P. Ghosh. "Effect of Operation Variables on Biofilm Fermentation and Performance of Anaerobic Fluidized Bed Bioreactor," Biotech and Bioengineer , 37: 557-566; 1991 .
- TATA Energy Research Institute. Biogas Technology TATA Energy Documentation and Information Centre, India :5-13; 1985 .

- Verrier, D., F. Fay and G. Albagmac. "Two -phase methanization of solid vegetable wastes," Biological Wastes, 22:163-177; 1987.
- Verstraete, W., Baere, L. de and Rozzi, a., "Phase Separation in Anaerobic Digestion, Motive and Method in Biogas, Proceeding of a Symposium Organised by the Technological Institute KVIV, Anlwerp Belgium , 1981.
- Victoria M. Laube and Stanley M. Martin, "Conversion of Cellulose to Methane and Carbondioxide by Triculture of *Acetovibrio Cellulolyticus*, *Desulfovibrio* sp., and *Methanosarcina barkeri*," Applied Environmental Microbiology, 42 (3) : 413-420. 1981,
- Westerman, P., Ahring. B.K and Mah, R..A., "Kinctic of two Subgroups of propionate Using Organisms in Anaerobic Digestion" Applied and Environment Microbiology , .55 (3): 710-715 ;1989.
- Yang, M. and others , "Stability and Performance of Thermophilic Anaerobic ,, Fixed-Bed Reactor Packed with a Saddle- Shaped Slag Biocarrier " Environmental Technology , 13:671-678; 1992 .
- Zoetemeyer, R.J., Heuvel, J.C. Van Den and Cohen, A ., pH Influence and Acidogenic Dissimilation of Glucose in an Anaerobic Digestion , Water Res. 16:303-311; 1982 .
- Zoetemeyer, R.J., A.J.C.M. Matthijsen , A. Cohen and C. Boelhouwer " Product ,, Inhibition in the acid forming Stageof the Anaerobic Digestion Process " Water Res. 16:663- 639, 1982a.
- Zoetemeyer, R.J., A.J.C.M. Matthijsen ,J.C. Van Den Heuvel, A.Cohen and C. Boelhouwer "Anaerobic Acidification of Glucose in an Upflow Reactor " Biomass., 2:187-199;1982b.

ภาคผนวก

ตาราง 42 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมัก

กากมะเขือเทศแบบอัดอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน

อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร

(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	0	184	132	45	215	-	-	182	172	183	186	-
2	-	122	-	-	-	-	-	126	73	-	81	-
3	-	62	81	-	65	-	-	89	-	-	-	-
4	2	144	197	273	177	-	22	214	225	288	287	-
5	-	-	146	-	215	242	180	-	342	285	-	-
6	70	178	196	296	243	-	-	107	-	-	52	-
7	-	125	-	-	-	-	-	130	192	-	149	-
8	-	84	-	-	-	-	-	291	122	72	161	-
9	-	117	189	275	167	-	-	121	55	-	-	-
10	-	107	183	-	139	-	-	116	-	-	-	-
11	-	160	87	-	95	-	-	182	280	-	-	-
12	-	22	-	-	-	-						
13	32	-	-	-	193	-						
14	-	-	156	-	176	275						
15	53	138	190	277	182	-						
16	3	146	201	276	175	-						
17	-	197	127	148	166	-						
18	-	169	91	-	179							
Mean	32	130	152	224	171	259	101	156	183	207	151	0

ตาราง 43 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมัก
กากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน
อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร
(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	-	145	164	181	205	233	-	133	151	178	197	-
2	-	146	157	181	271	253	-	113	129	172	182	220
3	-	131	170	205	156	-	-	238	277	232	204	-
4	40	173	196	-	176	-	11	109	312	-	549	-
5	-	172	257	206	-	276	55	240	252	289	294	-
6	-	177	103	-	198	-	-	186	105	-	131	-
7	-	170	213	279	196	-	-	116	-	-	-	-
8	-	170	226	-	172	-	-	197	230	275	213	-
9	-	97	134	-	101	-	-	88	133	176	171	-
10	-	204	109	-	171	-	-	133	-	-	63	-
11	-	177	103	-	198	-	20	282	259	302	284	-
12	-	170	213	279	196	-	-	89	-	-	-	-
13	-	170	226	-	172	-						
14	-	136	-	-	-	-						
15	-	204	109	-	171	-						
16	-	298	253	179	293	355						
Mean	40	174	176	230	191	279	29	167	205	232	228	220

ตาราง 44 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมัก
กากมะเขือเทศแบบอัดอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน
อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัม
ต่อลิตร(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	30	124	190	273	159	-		174	207	177	208	
2		66				-		87				
3	21	158	183	-	-	-		168	191	-	227	
4	-	115	-	-	179	-		78				
5	60	162	195	-	159	-		162	195	28	188	
6		155	74	-	72	-		121			59	
7		153	192	278	176	-		126	138	162	151	
8		122	184	-	-	-		137			59	
9	-	123	-	-	-	-	50				113	
10		169	179					193			86	
11		85						176	205	278	186	
12		100						182	917	114	430	345
13		224	143	-	145	149		110			-	
14		150	178	-	210	-		130	193	279	162	
15		130	-					196	223		198	
16		168	204	283	210	-		115	183			
17								118	211	216	193	-
18								159	197	-	170	-
19								212	259	182	-	-
Mean	37	129	172	178	164	149	50	147	192	222	174	345

ตาราง 45 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร
(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1		148	183					176	098		157	
2	38	129	-	-	77	-		178	238		395	
3		173	254		183			141	201	226	194	
4		217	216		250			226	110		182	
5		272	138		244			134	148	164	178	
6		99	160	191	144			140				
7	113		71		228			138	198	276	196	
8	10	114			62			110			67	
9	145	228	210					134	193	275	179	
10		120	200	272	173			184	216	273	184	
11		128	184		171			184	211	274	198	
12		161	208	273	172			159			121	
13		156	204		175			193	219		198	
14		233	291	223	304	346						
15		142	241	231	241							
16	22	276	242	260	331							
17	63	214	241	207								
Mean	65	163	203	237	197	346	-	161	183	248	187	-

ตาราง 46 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 55
องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร
(เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	27	59						136				
2	24	177		273	232		44	88				
3	41	132			90		59	147			156	
4	54	150					285	115	236			
5	29	126					40	156	135		275	
6	50	123			60			91				
7	9	68					60	102			53	
8		83			42		12	189			69	
9	16	145					12	114				
10	24	76					41	79			176	
11	41	140	212		204		69	180		221		
12	22	101			34		54	131			53	
13	32	97						46				
14	18	107	191	233	204		82	131			108	
15	79	165						179				
16	17	92					108	189	207		253	
17	72	150			113							
18	85	152	188		197							
Mean	38	119	197	253	131	-	72	130	193	221	143	-

ตาราง 47 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1		89			98		151	120			65	
2	112	224	81		103		23	216	235	274	306	
3	74	245			296			93	142	178	190	
4	109	256					59	188			112	
5	97	146			189		56	88			103	
6	32				193		60	211	249	193		
7	28	110					55	223			369	
8	94	178					83	158			133	
9	51	175	166				107	253	236		205	
10	47	64					76	76				
11	102	156	76		108		98	135				
12	22	132					91	207	78		260	
13	30	129			122		66	164	205	277	182	
14	30	222	198		217		215	239				
15	207	219			269		109	208			192	
16	143	168	206		178							
17												
18					177							
Mean	79	168	145	-	177	-	89	172	191	231	192	-

ตาราง 48 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	-	26.7	13.1	5.9	18.0	-		34.8	11.5		14.4	
2		32.5	18.8	-	20.1	-		39.5	28.5		37.4	
3		33.4	26.9	23.4	-	30.8		57.1	22.7	9.8	4.07	19.8
4		34.9	21.4		32.1	28.9		27.8	13.1		23.1	
5		37.8	15.6	5.0	22.4			25.4	25.9	25.8	29.0	
6		23.8	13.1		15.8			53.3	32.0	7.2	35.3	
7								27.8	12.1	6.0	17.8	
8								30.8	25.6	28.0	28.2	35.1
Mean	-	31.5	18.2	11.4	21.7	29.8	-	37.0	21.4	16.2	28.2	27.5

ตาราง 49 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิห้อง
ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1		74.5	34.6	10.5	37.8	17.7		51.7	31.9	8.3	45.6	
2		41.4	25.7	24.0	35.8		11	70.3	25.4	11.2	42.0	21.8
3		69.0	25.0	16.3	48.2	22.8		64.0	40.6	25.1		29.5
4		48.0	19.0		43.9	20.3	25.9	29.4	27.5	30.9	35.3	38.1
5		57.4	37.2	23.5		25.9		57.0	38.7	12.5	56.5	
6		54.4	34.3		39.0			41.5	18.3	8.9	23.4	
7		20.5	22.1	27.6	27.7			29.6	15.3		23.1	
8	7	31.7	27.9	30.1	36.6			73.0	10.4		6.5	
9		51.7	31.9	8.3	45.6							
10		43.1	41.3	18.5								
11		33.8	21.3	7.4	37.9	22.4						
12		29.8	25.3	27.9	29.3	35.5						
13		49.3	33.1	22.7	39.2	29.7						
14	17	43.1	41.3	18.5								
15		47.3	33.5	25.3	39.4	33.0						
16	11	33.8	21.3	7.4	37.9	22.4						
Mean	11.6	45.5	29.67	19.14	38.3	25.5	18.45	52.0	26.0	16.15	15.53	29.8

ตาราง 50 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1		35.6	29.6	27.9	34.0	37.0		71.0	30.6	9.5	50.8	
2		35.4	13.7	6.7	24.3			32.8	27.3		30.9	34.1
3		47.0	30.5	27.8				42.1	28.4	26.7	38.7	
4		31.2	9.2		11.0			37.1	29.4	23.5		
Mean	0	37.3	20.8	20.8	23.1	37.0	0	45.8	28.9	19.9	40.1	34.1

ตาราง 51 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1		54.9	26.0	11.9	43.0	14.8		9.12	20.9	25.0	21.6	
2	8.8	54.6	20.6	9.2	34.8			17.6	09.8		15.7	
3		29.8	26.5	27.4	30.9	36.7		6.14	2.94	9.4	38.0	
4		25.8	22.2	20.4	22.7	22.4		29.2	23.1	27.2	29.7	
5		57.0	25.4	11.0	34.5			29.0	27.8	34.3	25.2	22.3
6		64.7	25.5	13.5	16.2	23.0		60.8	43.2	33.9	60.5	39.5
7		40.1	20.7		40.5	16.2	4.3	26.7	26.8	29.1	28.0	
8		58.8	36.7	24.8				34.3	12.8		31.6	
9		33.3	43.3	30.1	45.8			40.9	33.8	25.5		
10		33.8	15.1	20.5	26.8			36.5	23.9	24.4	24.5	
11								34.6	17.0		27.3	
12								33.7	28.1	21.8	26.2	
13								35.2	26.3	19.6		
14								33.9	28.4	31.6	34.1	
Mean	8.8	45.3	26.2	18.8	37.8	22.6	4.3	40.4	25.1	24.6	30.2	31.0

ตาราง 52 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	83.9	41.8					84.7	66.7			92.2	
2	927	108						37.4			64.3	
3	50.5	48.0					91.4	67.9	50.4	25.1	11.9	
4	2.4	32.1			16.9		75.5	54.0	22.4		42.2	
5	7.6	27.4						46.5			12.6	
6	9.0	20.9			20.2		96.0	10.1	53.5	13.8	18.9	18.5
7		30.2						18.9	20.7	26.2	26.2	
8							6.1	19.6				
9							2.4	18.7			20.2	
10							2.0	17.4				
11							3.6	37.1			16.2	
12							9.7	21.3			26.1	
Mean	41.0	30.2	-	-	18.6	-	41.2	34.6	36.8	21.7	33.1	18.5

ตาราง 53 ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกาก
มะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน อุณหภูมิ 55
องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน						ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน					
	ET	AA	PA	IBA	BA	VA	ET	AA	PA	IBA	BA	VA
1	88.7	57.8			93.0		99.5	11.4	52.4	10.4	19.1	
2	11.4	12.2	41.3		19.2		89.5	67.3			21.1	
3	69.9	17.9			16.3		11.8	92.6				
4	11.9	79.3	22.0	11.5			10.5	14.0				
5	12.8	30.3			22.7		90.6	14.3	61.0	72.9	2.70	27.7
6	14.5	33.8			26.1		6.0	58.7	8.7		10.7	
7		32.6	28.3	21.3				45.9	10.5		8.4	
8		34.2	27.3	27.6	30.8			61.4	10.4			
9		33.8	15.1	20.5	26.8		15.0	29.4	22.9			
10							4.1	34.1	12.4		30.3	
11							8.5	28.4	6.5		30.0	
12							7.4	29.5			33.8	
13								53.3	6.8			
14								37.2			12.0	
15							12.9	36.0	28.9	27.9	33.0	
16							1.6	43.7	19.3	17.5	16.5	
Mean	34.8	36.9	26.8	20.2	30.1	-	34.3	38.9	21.8	32.2	22.0	27.7

ตาราง 54 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.270	7.28	0.310	7.24
2	0.280	7.31	0.350	7.32
3	0.280	7.32	0.350	7.28
4	0.280	7.35	0.350	7.33
5	0.345	7.31	0.305	7.33
6	0.420	7.28	0.320	7.29
7	0.305	7.28	0.390	7.30
8	0.250	7.27	0.300	7.32
9	0.305	7.32	0.250	7.32
10	0.285	7.32	0.420	7.33
11	0.270	7.30	0.290	7.28
12	0.280	7.32	0.300	7.27
13	0.240	7.33	0.295	7.28
14	0.280	7.31	0.320	7.33
15	0.155	7.31	0.110	7.30
16	0.340	7.33	0.390	7.27
17	0.260	7.31	0.310	7.26
18	0.280	7.32	0.280	7.27
19	0.275	7.32	0.310	7.24
20	0.270	7.30	0.310	7.26
21	0.280	7.31	0.350	7.25

ตาราง 54 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.310	7.29	0.310	7.26
23	0.295	7.34	0.320	7.24
24	0.320	7.27	0.295	7.27
25	0.320	7.30	0.305	7.26

ตาราง 55 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.105	7.31	0.150	7.33
2	0.095	7.31	0.140	7.28
3	0.100	7.33	0.120	7.36
4	0.090	7.31	0.110	7.32
5	0.11	7.28	0.180	7.27
6	0.115	7.33	0.275	7.33
7	0.100	7.35	0.175	7.30
8	0.095	7.35	0.140	7.31
9	0.120	7.36	0.190	7.35
10	0.125	7.32	0.130	7.32
11	0.105	7.32	0.105	7.31
12	0.110	7.29	0.60	7.33
13	0.125	7.32	0.140	7.34
14	0.120	7.32	0.120	7.34
15	0.085	7.33	0.130	7.31
16	0.145	7.32	0.120	7.32
17	0.120	7.32	0.080	7.29
18	0.110	7.30	0.155	7.28
19	0.140	7.32	0.110	7.32
20	0.130	7.32	0.150	7.29
21	0.125	7.30	0.120	7.31

ตาราง 55 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.120	7.29	0.140	7.28
23	0.105	7.31	0.135	7.30
24	0.095	7.31	0.110	7.32
25	0.125	7.30	0.115	7.33

ตาราง 56 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.278	7.30	0.232	7.34
2	0.290	7.26	0.270	7.36
3	0.295	7.10	0.230	7.30
4	0.290	7.22	0.235	7.27
5	0.270	7.28	0.165	7.37
6	0.220	7.26	0.260	7.36
7	0.300	7.21	0.265	7.20
8	0.220	7.25	0.205	7.53
9	0.095	7.49	0.70	7.51
10	0.275	7.34	0.175	7.31
11	0.250	7.29	0.195	7.30
12	0.285	7.27	0.250	7.31
13	0.240	7.32	0.195	7.36
14	0.280	7.23	0.205	7.35
15	0.235	7.38	0.185	7.33
16	0.255	7.31	0.175	7.30
17	0.280	7.32	0.195	7.38
18	0.250	7.29	0.265	7.34
19	0.255	7.30	0.245	7.37
20	0.278	7.29	0.232	7.34
21	0.280	7.30	0.240	7.34

ตาราง 56 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.290	7.31	0.210	7.36
23	0.275	7.29	0.205	7.30
24	0.260	7.27	0.225	7.31
25	0.280	7.30	0.235	7.30

ตาราง 57 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบสองชั้น
 ตอนที่มียัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ
 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.300	7.26	0.220	7.33
2	0.30	7.32	0.280	7.34
3	0.305	7.37	0.270	7.36
4	0.300	7.36	0.285	7.31
5	0.320	7.36	0.230	7.33
6	0.445	7.37	0.310	7.35
7	0.445	7.36	0.250	7.30
8	0.250	7.36	0.290	7.31
9	0.340	7.35	0.245	7.34
10	0.425	7.34	0.285	7.34
11	0.340	7.37	0.280	7.34
12	0.015	7.38	0.285	7.35
13	0.200	7.34	0.290	7.30
14	0.295	7.35	0.280	7.35
15	0.235	7.36	0.260	7.34
16	0.260	7.32	0.200	7.32
17	0.280	7.34	0.280	7.31
18	0.280	7.33	0.280	7.30
19	0.320	7.35	0.210	7.33
20	0.300	7.34	0.220	7.34
21	0.300	7.29	0.240	7.32

ตาราง 57 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.320	7.31	0.260	7.34
23	0.305	7.32	0.255	7.34
24	0.315	7.30	0.235	7.31
25	0.340	7.31	0.255	7.32

ตาราง 58 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.245	7.35	0.250	7.34
2	0.310	7.35	0.270	7.35
3	0.315	7.34	0.270	7.36
4	0.310	7.31	0.275	7.32
5	0.290	7.30	0.270	7.36
6	0.300	7.34	0.140	7.35
7	0.400	7.30	0.170	7.30
8	0.380	7.31	0.205	7.36
9	0.300	7.33	0.220	7.36
10	0.290	7.36	0.270	7.35
11	0.285	7.35	0.190	7.33
12	0.290	7.36	0.205	7.34
13	0.275	7.34	0.270	7.35
14	0.280	7.36	0.250	7.31
15	0.205	7.34	0.175	7.32
16	0.310	7.33	0.230	7.35
17	0.320	7.30	0.225	7.32
18	0.270	7.33	0.285	7.35
19	0.245	7.34	0.260	7.34
20	0.244	7.32	0.250	7.34
21	0.260	7.31	0.220	7.32

ตาราง 58 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.245	7.33	0.230	7.33
23	0.230	7.30	0.270	7.30
24	0.250	7.32	0.220	7.32
25	0.240	7.31	0.240	7.34

ตาราง 59 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.205	7.25	0.210	7.25
2	0.195	7.22	0.235	7.29
3	0.200	7.17	0.230	7.27
4	0.180	7.19	0.205	7.32
5	0.160	7.16	0.210	7.32
6	0.145	7.15	0.195	7.22
7	0.140	7.14	0.190	7.21
8	0.155	7.25	0.215	7.31
9	0.165	7.30	0.220	7.35
10	0.200	7.27	0.215	7.36
11	0.215	7.26	0.230	7.30
12	0.225	7.29	0.235	7.31
13	0.240	7.31	0.240	7.36
14	0.245	7.30	0.215	7.25
15	0.200	7.24	0.235	7.30
16	0.250	7.30	0.230	7.35
17	0.240	7.32	0.200	7.33
18	0.270	7.35	0.180	7.36
19	0.205	7.33	0.190	7.34
20	0.195	7.33	0.205	7.31
21	0.205	7.31	0.205	7.29

ตาราง 59 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.240	7.30	0.230	7.31
23	0.210	7.28	0.230	7.32
24	0.235	7.32	0.235	7.30
25	0.230	7.33	0.225	7.33

ตาราง 60 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วันและ 5 วัน ปริมาณการหมัก 3.5 ลิตร(น้ำหมักจากขบวนการอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียม
คาร์บอเนตอุณหภูมิห้อง)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.270	7.24	0.260	7.26
2	0.300	7.24	0.250	7.19
3	0.300	7.24	0.265	7.30
4	0.300	7.27	0.240	7.21
5	0.300	7.18	0.315	7.23
6	0.330	7.27	0.275	7.23
7	0.295	7.19	0.215	7.20
8	0.310	7.25	0.205	7.27
9	0.250	7.26	0.265	7.28
10	0.350	7.22	0.170	7.29
11	0.295	7.27	0.270	7.30
12	0.380	7.26	0.240	7.25
13	0.310	7.29	0.260	7.29
14	0.315	7.26	0.120	7.22
15	0.180	7.25	0.185	7.24
16	0.275	7.23	0.240	7.27
17	0.300	7.25	0.260	7.25
18	0.205	7.28	0.270	7.28
19	0.245	7.25	0.255	7.24
20	0.270	7.26	0.220	7.20
21	0.310	7.28	0.235	7.26

ตาราง 60 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.260	7.24	0.250	7.29
23	0.295	7.29	0.265	7.30
24	0.260	7.22	0.255	7.21
25	0.275	7.27	0.250	7.24

ตาราง 61 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน
และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร
(น้ำหมักจากขบวนการอินทรีย์ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน		ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.116	7.20	0.082	7.22
2	0.210	7.27	0.170	7.28
3	0.142	7.33	0.125	7.30
4	0.140	7.29	0.140	7.24
5	0.135	7.24	0.055	7.23
6	0.145	7.2	0.125	7.18
7	0.175	7.21	0.130	7.20
8	0.170	7.27	0.095	7.30
9	0.175	7.26	0.115	7.29
10	0.130	7.23	0.115	7.25
11	0.090	7.23	0.060	7.25
12	0.140	7.25	0.105	7.24
13	0.095	7.24	0.070	7.24
14	0.105	7.27	0.120	7.21
15	0.050	7.30	0.070	7.26
16	0.080	7.28	0.100	7.18
17	0.055	7.30	0.060	7.20
18	0.050	7.31	0.065	7.19
19	0.110	7.27	0.100	7.24
20	0.115	7.26	0.082	7.26
21	0.120	7.25	0.105	7.23

ตาราง 61 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.135	7.27	0.115	7.20
23	0.125	7.30	0.095	7.27
24	0.140	7.29	0.120	7.18
25	0.145	7.31	0.125	7.22

ตาราง 62 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ และ pH จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอัดอากาศ
สองขั้นตอน ที่มีอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก
3 วัน และ 5 วัน ปริมาตรการหมัก 3.5 ลิตร
(น้ำหมักจากขบวนการอินทรีย์ไม่เต็มแคลเซียมคาร์บอเนตอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน		ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน	
	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
1	0.060	7.10	0.035	7.38
2	0.180	7.22	0.110	7.27
3	0.100	7.17	0.072	7.32
4	0.080	7.19	0.070	7.32
5	0.050	7.16	0.030	7.22
6	0.115	7.15	0.070	7.21
7	0.095	7.11	0.080	7.39
8	0.050	7.28	0.050	7.44
9	0.170	7.31	0.110	7.36
10	0.160	7.27	0.110	7.30
11	0.060	7.26	0.060	7.31
12	0.090	7.29	0.085	7.50
13	0.080	7.30	0.075	7.41
14	0.095	7.31	0.060	7.30
15	0.055	7.24	0.070	7.35
16	0.080	7.30	0.075	7.39
17	0.070	7.32	0.085	7.37
18	0.095	7.31	0.090	7.35
19	0.080	7.28	0.040	7.38
20	0.060	7.30	0.084	7.35
21	0.085	7.29	0.075	7.35

ตาราง 62 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	ระยะเวลาเก็บกัก3วัน		ระยะเวลาเก็บกัก5วัน	
	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH	ปริมาตรก๊าซชีวภาพ (ลิตร/วัน)	pH
22	0.100	7.23	0.095	7.29
23	0.080	7.26	0.100	7.26
24	0.105	7.21	0.080	7.31
25	0.110	7.24	0.105	7.28

ตาราง 63 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการ
ผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3
วัน และ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง
(เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	5.66	560	1125	778.4	5.26	570	1125	1246
2	5.67				5.29			
3	5.69	930	1380	806	5.30	1320	1875	1385
4	5.72				5.30			
5	5.76	1130	1425	695	5.28	1680	2850	1385
6	5.76				5.32			
7	5.73	-	-	595	5.39	1710	2325	1207
8	5.69				5.43			
9	5.70	1010	675	-	5.56	1600	1905	1335
10	5.76				5.60			
11	5.81	1050	930	690	5.65	1570	1515	684
12	5.80				5.67			
13	5.78	1540	1380	-	5.69	1760	1716	1107
14	5.77				5.66			
15	5.73	950	915	586	5.65	1450	1200	-
16	5.69				5.65			
17	5.64	1090	780	854	5.65	1250	1305	965
18	5.74				5.62			
19	5.80	980	1005	-	5.63	1340	1950	877
20	5.85				5.60			
21	6.02	950	780	-	5.61	1200	1410	965

ตาราง 63 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
22	5.98				5.62			
23	6.09	1000	1275	759	5.66	1060	1350	994
24	5.98				5.59			
25	6.06	1050	1815	812	5.56	1060	1350	-
26	5.92				5.67			
27	5.83	940	1065	718	5.80	1140	1575	951
28	6.06	870	1065	1011	5.80	1070	1400	795
29	5.98				5.81			
30	6.10	760	900	-	5.81	1210	1350	709
31	5.97				5.80			
32	5.83	870	1650	795	5.81	1150	1410	801
33	5.83				5.82			
34	5.85	910	1260	657	5.82	1110	1365	800
35	5.85				5.80			
36	5.87	1000	1215	680	5.79	1170	1425	790
37	5.86				5.79			
38	5.85	1050	1395	806	5.80	1080	1515	-
39	5.87				5.81			
40	5.83	900	1200	574	5.82	1260	1875	-
41	5.84				5.83			
42	5.80	920	1320	696	5.85	1210	1185	-
Mean	5.83	974	1169	736	5.63	1271	1589	1000

ตาราง 64 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกัก
กาก 3 วัน และ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง
(ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.43	200	975	499	4.28	180	1200	724.2
2	4.43				4.26			
3	4.44	200	870	522	4.26	180	1125	670.8
4	4.42				4.27			
5	4.39	160	1050	629	4.27	280	1380	783.5
6	4.48				4.30			
7	4.57	200	750	837	4.32	210	1230	884.5
8	4.51				4.32			
9	4.44	180	945	558	4.33	150	1500	688.6
10	4.47				4.37			
11	4.52	210	855	522	4.43	200	1170	664.8
12	4.51				4.43			
13	4.52	170	870	675	4.43	240	1425	907.8

ตาราง 64 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
14	4.46				4.40			
15	4.40				4.37	140	1155	652.4
16	4.43	160	850	494	4.36			
17	4.44	200	780	474	4.37	180	990	595.7
18	4.49				4.40			
19	4.55	100	755	522	4.44	120	1020	561.7
20	4.55				4.44			
21	4.56	150	840	522	4.45	160	1065	556
22	4.50				4.42			
23	4.46	170	600	942	4.39	210	825	720.5
24	4.45				4.39			
25	4.45	160	735	735	4.41	160	1005	651.9
26	4.47				4.42			
27	4.47	150	615	697	4.41	150	750	722.2
mean	4.47	172	820	616	4.36	183	1131	699

ตาราง 65 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	5.17	570	1428	1073	4.96	620	1440	1223
2	5.20				5.10			
3	5.25	120	2325	1162	5.22	1420	2190	1318
4	5.25				5.27			
5	5.26	1400	2550	1262	5.30	1700	2610	1396
6	5.24				5.32			
7	5.24	1300	1605	1307	5.32	1710	1800	1251
8	5.25				5.35			
9	5.27	1250	1680	1296	5.39	1120	2250	1424
10	5.30				5.33			
11	5.32	1550	1740	1274	5.32	1700	2625	1401
12	5.36				5.38			
13	5.40	1520	2025	1399	5.45	2140	1920	1491
14	5.75				5.47			
15	6.09	1590	2415	1247	5.52	1950	2175	1181
16	5.87				5.59			
17	5.90	1370	1845	1140	5.70	1880	2640	1170
18	5.97				5.71			
19	6.15	1150	1725	1223	5.71	1840	2430	1229
20	5.90				5.65			
21	5.82	1050	2145	1290	5.76	1910	2460	1399

ตาราง 65 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
22	5.90				5.72			
23	5.96	1060	1950	1117	5.68	1750	2295	1416
24	5.92				5.65			
25	5.88	1240	1815	1290	5.63	1800	2250	1345
26	5.89				5.72			
27	6.01	1000	2040	1077	5.87	1510	2325	1423
28	5.97				5.68			
29	5.95	1160	1830	961	5.27	1410	2835	1480
30	5.89				5.30			
31	5.81	1440	1830	1010	5.24	1460	2370	1198
32	5.79				5.29			
33	5.79	1310	1680	985	5.33	1380	2250	1170
mean	5.65	1181	1919	183	5.46	1605	2286	1324

ตาราง 66 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิห้อง (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.31	160	1470	789	4.27	150	1725	908
2	4.31				4.25			
3	4.32	190	1230	837	4.25	190	1755	908
4	4.33				4.24			
5	4.32	250	1125	1080	4.22	150	1620	1051
6	4.37				4.27			
7	4.39	200	1080	1502	4.31	210	1830	1199
8	4.36				4.26			
9	4.35	200	1575	1134	4.24	220	2355	1276
10	4.43				4.30			
11	4.41	150	1350	843	4.24	220	2355	1276
12	4.40				4.41			
13	4.41	200	1470	987	4.44	250	1965	1203
14	4.37				4.38			

ตาราง 66 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
15	4.31	150	1440	817	4.32	200	1635	919
16	4.30				4.32			
17	4.33	200	1365	789	4.33	220	1215	806
18	4.36				4.35			
19	4.43	170	1275	823	4.35	160	1095	908
20	4.42				4.38			
21	4.44	190	1575	828	4.41	210	1575	851
22	4.40				4.37			
23	4.36	160	1245	494	4.32	180	1350	959
24	4.35				4.34			
25	4.33	190	1275	984	4.36	200	1350	1048
26	4.33				4.36			
27	4.36	180	1175	830	4.36	180	1200	1042
28	4.37				4.36			
29	4.37	170	1050	844	4.38	165	1035	87
mean	4.36	184	1313	905	4.32	194	1604	963

ตาราง 67 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแฉับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกัก
กาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ
37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	5.17	1330	2265	1273	5.43	1030	1575	1018
2	5.24				5.45			
3	5.30	1590	2520	1579	5.63	1450	1740	1068
4	5.37				5.67			
5	5.48	1590	1605	1062	5.79	1370	1355	884
6	5.41				5.74			
7	5.75	1690	1785	1435	5.77	1520	1530	1079
8	5.72				5.75			
9	5.68	1740	1950	1195	5.73	1970	2220	1207
10	5.97				5.74			
11	5.75	1830	1725	1357	5.376	2680	2175	1223
12	5.82				5.76			
13	5.90	1646	1170	929	5.76	1690	2100	1100
14	5.86				5.79			
15	5.87	1530	2130	923	5.87	1500	1920	1123

ตาราง 67 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
16	5.72	1210	1770	884	5.93	1400	1830	745
17	5.84				5.87			
18	5.84	1190	1725	712	5.84	1340	1980	1040
19	5.82				5.84			
20	5.88	1200	1680	945	5.87	1330	1635	1079
21	5.76				5.90			
22	5.75	1080	1530	801	5.94	1360	2040	1306
23	5.74				5.96			
24	5.74	1660	2355	1360	6.02	1150	1245	1023
25	5.80				5.98			
26	5.92	1050	1140	934	5.96	1130	1470	1301
27	5.88				5.96			
28	5.84	1000	1230	717	5.97	1140	1365	433
29	5.79				5.90			
30	5.62	1010	1155	584	5.80	1300	1590	667
31	5.58				5.79			
32	5.53	1040	1425	607	5.76	1180	1875	884
33	5.49				5.73			

ตาราง 67 (ต่อ)

วันที่ทดลอง					ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
34	5.44	1090	1275	689	5.70	1390	915	604
35	5.40				5.72			
36	5.24	860	1350	926	5.76	1110	1350	803
37	5.37				5.79			
38	5.52	1330	1725	925	5.82	1360	1590	822
39	5.50				5.80			
40	5.48	1110	1260	1147	5.74	1370	1545	858
41	5.48				5.69			
42	5.49	140	1755	730	5.64	1460	2025	1079
43	5.52				5.68			
44	5.54	1150	1605	816	5.75	1360	1605	1007
45	5.55				5.73			
46	5.54	1090	1545	880	5.73	1320	1725	1123
mean	5.62	1257	1653	975	5.78	1413	1683	978

ตาราง 68 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบ อับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.40	270	915	567	4.43	280	1335	799
2	4.40				4.43			
3	4.39	270	1125	544	4.41	240	1410	763
4	4.36				4.42			
5	4.33	280	1080	567	4.40	360	1440	775
6	4.38				4.44			
7	4.46	210	915	739	4.46	260	1125	870
8	4.42				4.46			
9	4.44	230	975	680	4.45	250	2775	887
10	4.51				4.48			
11	4.58	250	765	556	4.53	230	1440	751
12	4.54				4.57			
13	4.60	230	1350	777	4.64	290	2130	999
14	4.54				4.55			
15	4.50	180	750	595	4.49	160	200	692

ตาราง 68 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
16	4.53				4.50			
17	4.58	150	930	630	4.52	160	1350	755
18	4.60				4.52			
19	4.62	220	1425	845	4.53	180	1125	948
20	4.59				4.52			
21	4.52	230	1410	460	4.52	270	930	494
22	4.54				4.51			
23	4.55	200	900	665	4.49	210	225	840
24	4.56				4.59			
25	4.55	150	720	793	4.51	160	870	780
mean	4.50	221	1020	648	4.50	235	1258	796

ตาราง 69 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกัก
กาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ
37 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.89	1360	300	1651	4.90	1720	3720	1801
2	4.92				4.90			
3	4.95	1660	3450	1801	4.93	2330	5280	1870
4	5.12				4.98			
5	5.32	1960	1965	1579	5.02	2440	3840	1850
6	5.41				5.26			
7	5.57	1980	2310	1734	5.27	2340	3525	1746
8	5.56				5.36			
9	5.50	1930	2115	1384	5.45	2380	3075	1506
10	5.51				5.49			
11	5.52	2400	2730	1501	5.54	2630	3360	967
12	5.60				5.57			
13	5.68	2130	2145	0	5.61	2320	2700	0
14	5.74				5.69			
15	5.91	1950	2400	0	5.80	2050	2925	0

ตาราง 69 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
16	5.82				5.81			
17	5.36	1780	2115	0	5.72	2140	2565	1451
18	5.63				5.74			
19	5.78	1840	1875	1289	5.64	1920	2490	1407
20	5.68				5.65			
21	5.55	1750	2325	1268	5.69	1800	2325	1301
22	5.59				5.63			
23	5.61	1450	2115	1178	5.62	1780	2550	1123
24	5.62				5.62			
25	5.68	1470	2280	928	5.61	1650	2670	1428
26	5.64				5.61			
27	5.60	1370	2325	1774	5.62	1690	2325	1229
28	5.52				5.71			
29	5.36	1470	2340	1240	5.80	1060	1575	820
30	5.48				5.76			
31	5.51	1230	1725	1301	5.74	1500	1755	1512
32	5.48				5.70			

ตาราง 69 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
33	5.48	1270	1830	1184	5.58	1430	2055	1245
34	5.46				5.57			
35	5.44	1330	1650	861	5.55	1710	2460	1173
36	5.39				5.52			
37	5.33	1270	1635	967	5.43	1750	2805	1251
38	5.30				5.41			
39	5.24	1160	1995	965	5.40	1740	2625	1418
40	5.28				5.38			
41	5.33	1200	1770	1324	5.29	1660	2625	1290
42	5.27				5.27			
43	5.22	1200	1890	1078	5.21	1550	2610	1551
44	5.19				5.18			
45	5.10	90	1800	1195	5.10	1530	1380	1025
46	5.18				5.16			
47	5.35	1560	2010	1404	5.13	1330	2040	1650
48	5.31				5.22			
49	5.29	1350	1710	1079	5.36	1780	2445	1349
50	5.30				5.34			
51	5.26	1320	2370	1220	5.30	1650	2370	1361
52	5.36				5.31			
53	5.44	1360	1965	1152	5.35	1680	2325	1386
54	5.39				5.35			
55	5.33	1230	205	1181	5.37	1680	2580	1633
mean	5.42	1503	1977	1151	5.44	1830	2679	1298

ตาราง 70 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกากกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกากกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกากกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.40	270	915	568	4.43	280	1335	799
2	4.40				4.40			
3	4.39	270	1125	544	4.41	240	1410	763
4	4.35				4.41			
5	4.33	280	1080	568	4.40	360	1440	775
6	4.39				4.42			
7	4.46	210	915	739	4.46	260	1125	870
8	4.45				4.45			
9	4.44	230	975	680	4.45	250	2775	877
10	4.47				4.48			
11	4.58	250	765	556	4.53	230	1440	751
12	4.63				4.59			
13	4.60	230	1350	777	4.64	290	2130	999
14	4.57				5.58			
15	4.50	180	150	596	4.49	160	200	692
16	4.50				4.50			

ตาราง 70 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
17	4.51	190	915	624	4.52	160	1350	755
18	4.56				4.51			
19	4.58	150	930	630	4.53	180	1125	948
20	4.60				4.53			
21	4.62	220	1425	845	4.52	270	930	494
22	4.59				4.50			
23	4.52	230	1410	450	4.49	210	225	840
24	4.53				4.48			
25	4.55	200	900	665	4.51	160	870	697
26	4.55				4.50			
27	4.55	150	720	793	4.50	130	855	780
mean	4.50	219	970	645	4.52	227	1229	789

ตาราง 71 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกัก
กาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ
55 องศาเซลเซียส (เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	5.65	480	810	396	5.82	590	705	473
2	5.66				5.82			
3	5.69	380	810	485	5.85	570	825	467
4	5.70				5.84			
5	5.71	450	585	645	5.91	520	795	633
6	5.65				5.86			
7	5.50	460	645	515	5.90	570	705	574
8	5.55				5.92			
9	5.68	750	825	544	5.96	880	825	544
10	5.52				5.98			
11	6.37	646	975	479	6.44	800	825	503
12	6.32				6.50			
13	6.22	680	990	681	6.61	720	765	522
14	6.35				6.60			
15	6.52	710	840	522	6.60	850	960	699
16	6.51				6.55			

ตาราง 71(ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
17	6.53	780	720	516	6.47	1010	90	516
18	6.53				6.47			
19	6.50	760	795	511	6.47	800	1160	528
20	6.37				6.54			
21	6.24	610	780	403	6.63	510	795	448
22	6.22				6.59			
23	6.21	720	810	6.58	6.45	870	1005	856
24	6.30				6.51			
25	6.49	750	870	716	6.52	770	900	652
26	6.47				6.50			
27	6.49	780	840	620	6.52	810	1005	684
mean	6.10	640	807	503	6.29	734	811	579

ตาราง 72 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 10 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.42	200	555	384	4.25	180	675	544
2	4.42				4.20			
3	4.44	150	51	450	4.18	130	675	544
4	4.47				4.25			
5	4.54	90	480	639	4.39	100	540	799
6	4.50				4.39			
7	4.51	160	495	532	4.39	220	735	657
8	4.53				4.47			
9	4.56	180	465	473	4.47	250	600	580
10	4.55				4.42			
11	4.56	100	465	657	4.40	110	510	603
12	4.57				4.47			
13	4.56	100	1245	511	4.52	120	690	596
14	4.49				4.45			
15	4.35	110	150	499	4.26	120	170	579
16	4.51				4.38			

ตาราง 72 (ต่อ)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
17	4.57	140	345	471	4.44	120	450	505
18	4.60				4.53			
19	4.67	130	450	471	4.69	120	4.35	664
20	4.64				4.69			
21	4.62	220	495	471	4.70	120	525	454
22	4.57				4.62			
23	4.39	130	510	831	4.49	120	495	786
24	4.49				4.54			
25	4.64	120	510	748	4.57	130	495	722
26	4.61				4.57			
27	4.64	100	585	754	4.57	110	600	716
mean	4.53	138	486	564	4.45	139	512	625

ตาราง 73 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บ
กากกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ
55 องศาเซลเซียส (เต็มแคลเซียมคาร์บอเนต)

วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกากกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกากกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	5.42	610	990	816	5.95	660	855	853
2	5.44				5.90			
3	5.47	620	1125	757	5.92	670	975	735
4	5.45				5.89			
5	5.44	650	90	1112	5.80	700	1170	1095
6	5.40				5.87			
7	5.39	680	1050	881	5.94	880	1215	1364
8	5.43				5.87			
9	5.49	1040	1050	692	5.71	720	1125	894
10	5.62				5.72			
11	6.39	850	1060	757	5.75	800	110	893
12	6.21				5.79			
13	6.26	910	1125	812	5.82	800	1185	1539
14	6.14				5.82			
15	6.05	1150	1305	777	5.80	790	795	914

ตาราง 73 (ต่อ)

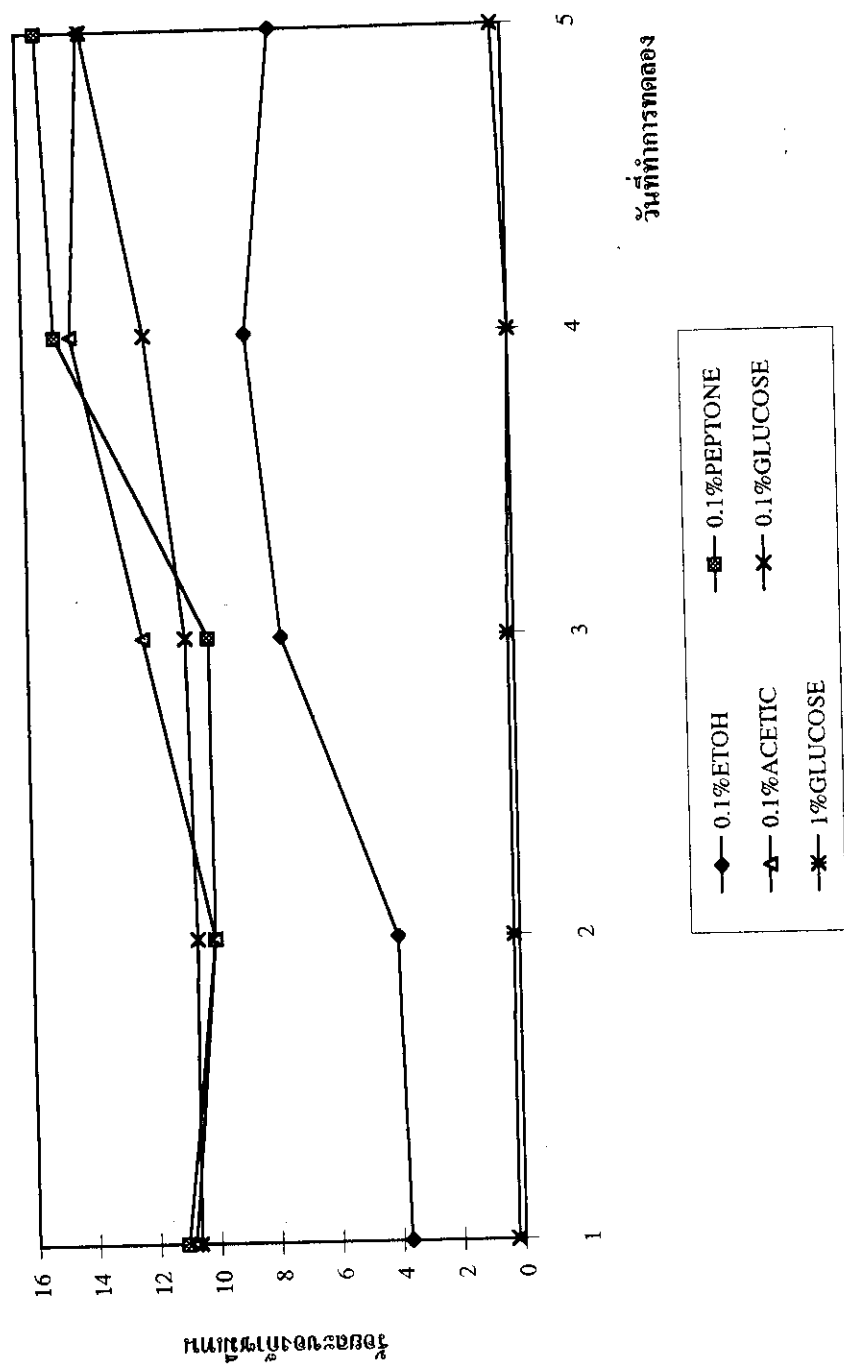
วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
16	6.0				5.87			
17	5.98	1160	1125	840	5.95	780	1065	920
18	5.95				5.90			
19	6.02	1110	1230	755	5.84	700	900	988
20	6.04				5.86			
21	6.08	940	1140	677	5.92	650	900	921
22	5.94				5.90			
23	5.79	990	1275	1048	5.96	590	810	1025
24	5.87				5.94			
25	6.27	920	1185	914	5.94	790	945	892
26	6.22				5.93			
27	6.27	950	1440	888	5.95	750	945	1025
mean	5.95	899	1085	838	5.87	734	928	1004

ตาราง 74 ปริมาณอินทรีย์สาร กรดอินทรีย์ระเหย pH และค่าความเป็นกรดต่างในขั้นตอน
การผลิตกรดอินทรีย์ของการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ที่ระยะเวลาเก็บ
กักกาก 3 วันและ 5 วัน ความเข้มข้นสารแขวนลอยกากมะเขือเทศ 20 กรัมต่อลิตร อุณหภูมิ
55 องศาเซลเซียส (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

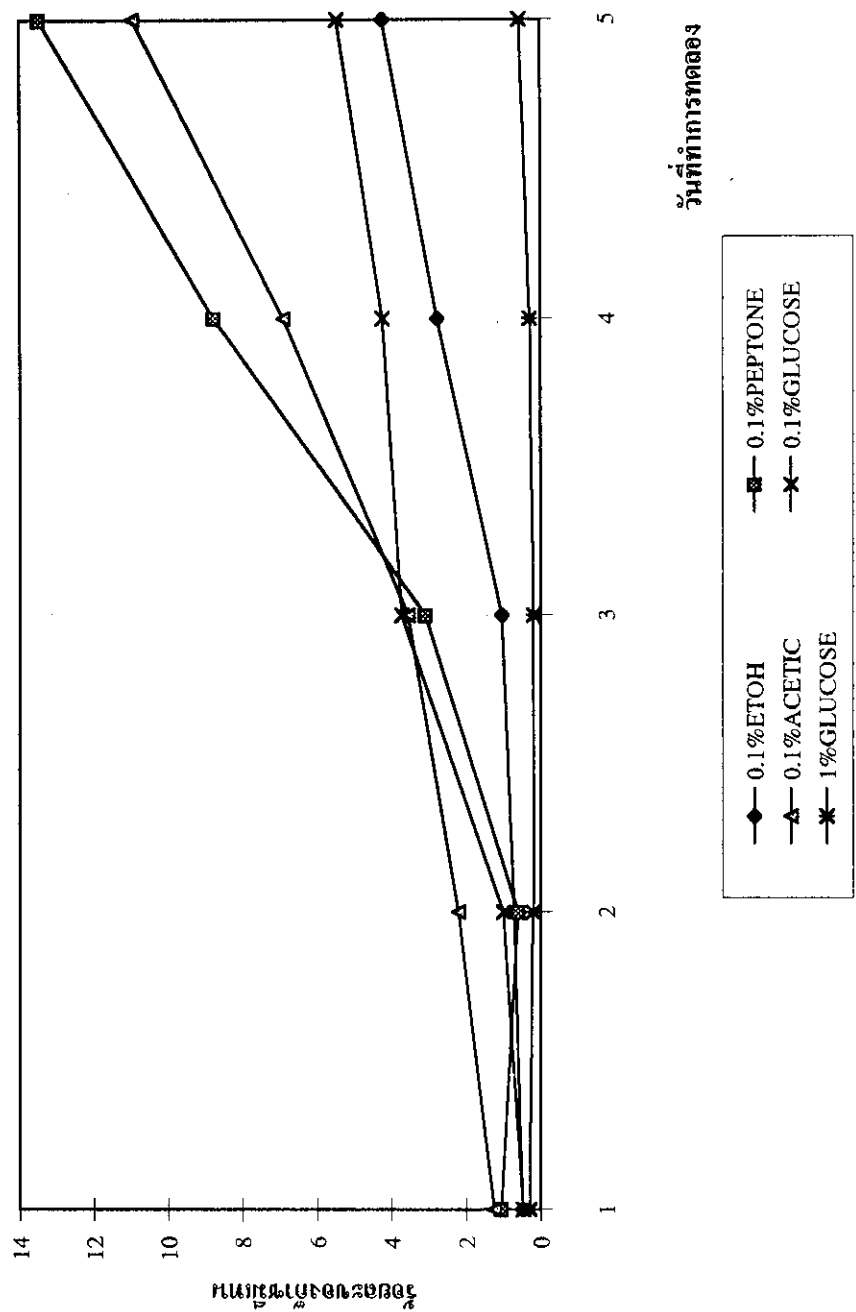
วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
1	4.18	180	825	982	4.03	100	780	964
2	4.20				4.08			
3	4.20	100	945	834	4.09	200	1110	964
4	4.18				4.17			
5	4.19	50	885	1047	4.24	140	975	1088
6	4.19				4.30			
7	4.17	90	900	994	4.39	130	885	929
8	4.20				4.35			
9	4.23	90	870	929	4.36	120	915	864
10	4.25				4.32			
11	4.26	90	795	899	4.27	150	555	1047
12	4.26				4.30			
13	4.27	140	645	777	4.39	180	900	823
14	4.25				4.28			
15	4.23	180	140	789	4.17	170	840	999

ตาราง 74 (ต่อ)

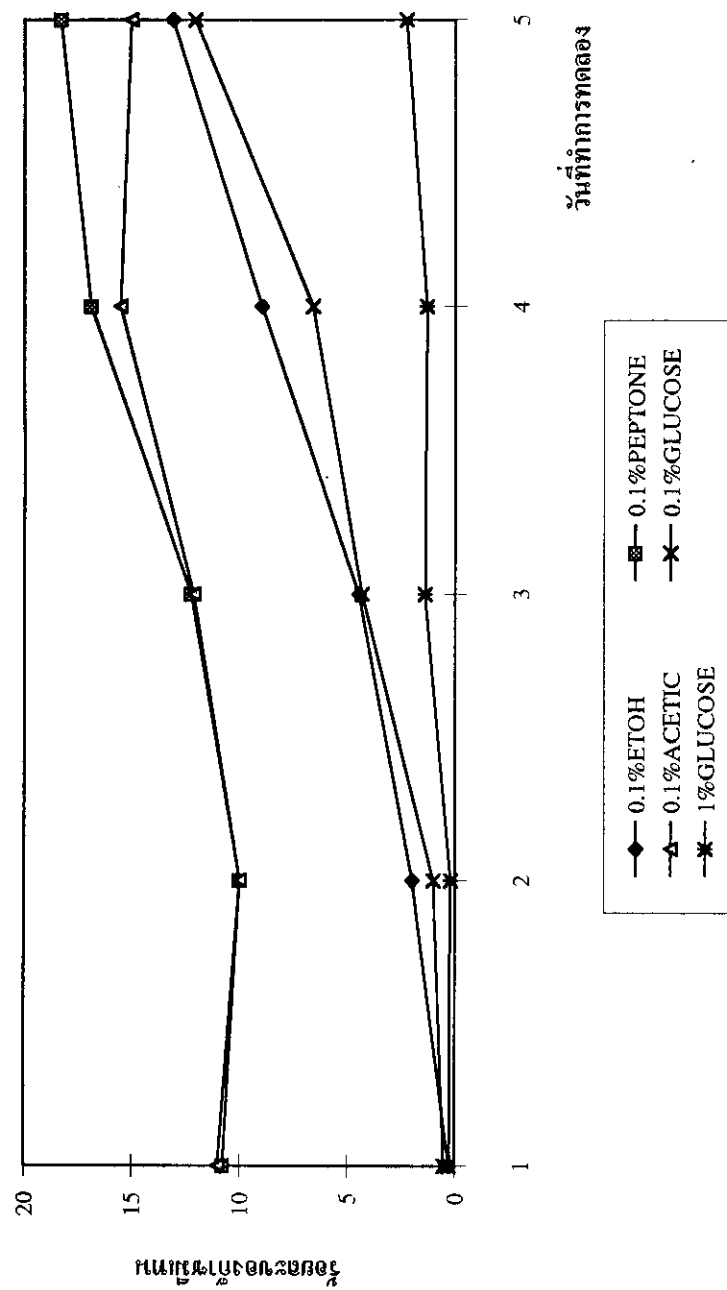
วันที่ทดลอง	ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน				ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน			
	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)	pH	T-alk (mg/l)	TVA (mg/l)	COD (mg/l)
16	4.20				4.22			
17	4.11	130	630	845	4.41	140	660	913
18	4.22				4.46			
19	4.43	110	690	845	4.58	160	750	891
20	4.36				4.61			
21	4.39	240	690	681	4.64	150	720	709
22	4.38				4.52			
23	4.34	120	645	927	4.31	160	765	1029
24	4.37				4.34			
25	4.41	140	675	914	4.38	130	705	1080
26	4.41				4.37			
27	4.41	180	840	1061	4.38	90	750	895
mean	4.27	131	727	895	4.33	144	808	943



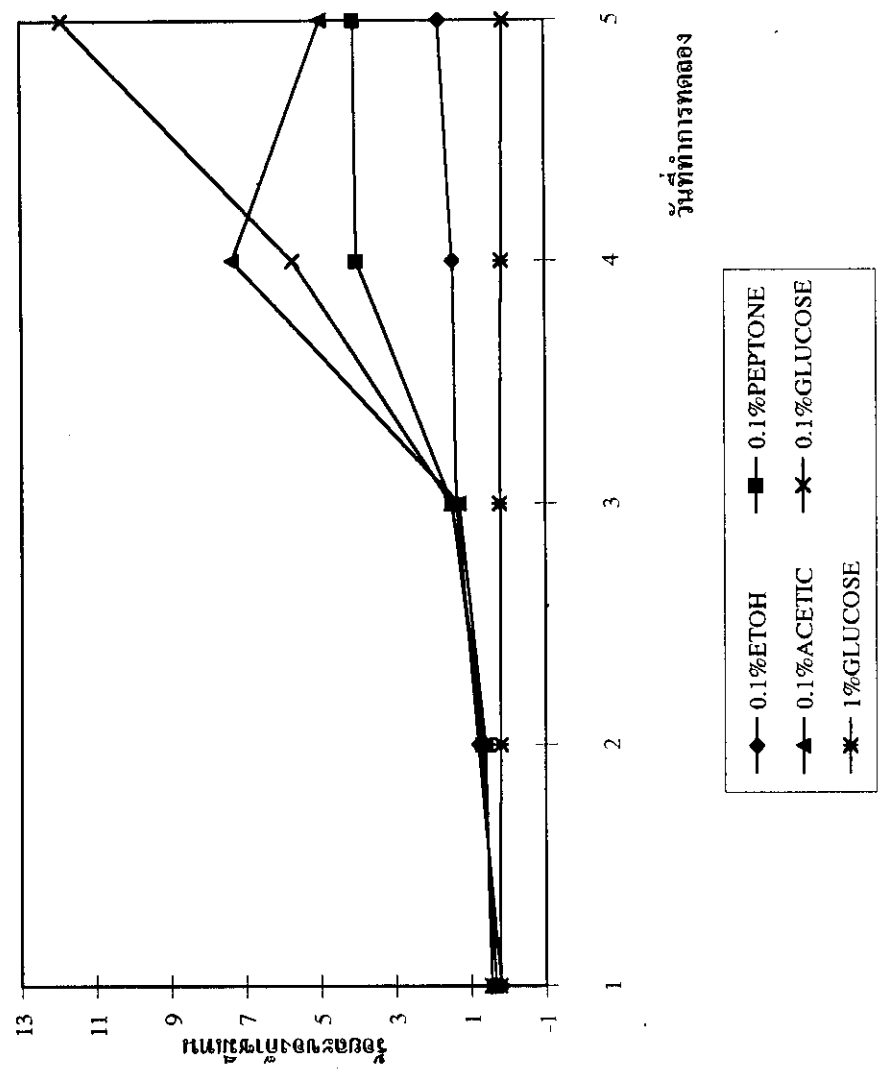
ภาพประกอบ 4 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากจับเสถียรต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีไอต่อวัน (เดิมเซลล์เชื้อมีการบอเนด อุณหภูมิห้อง)



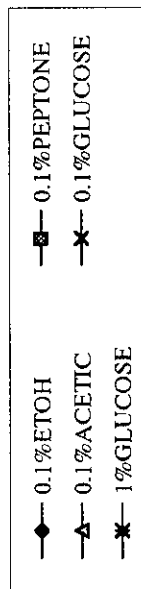
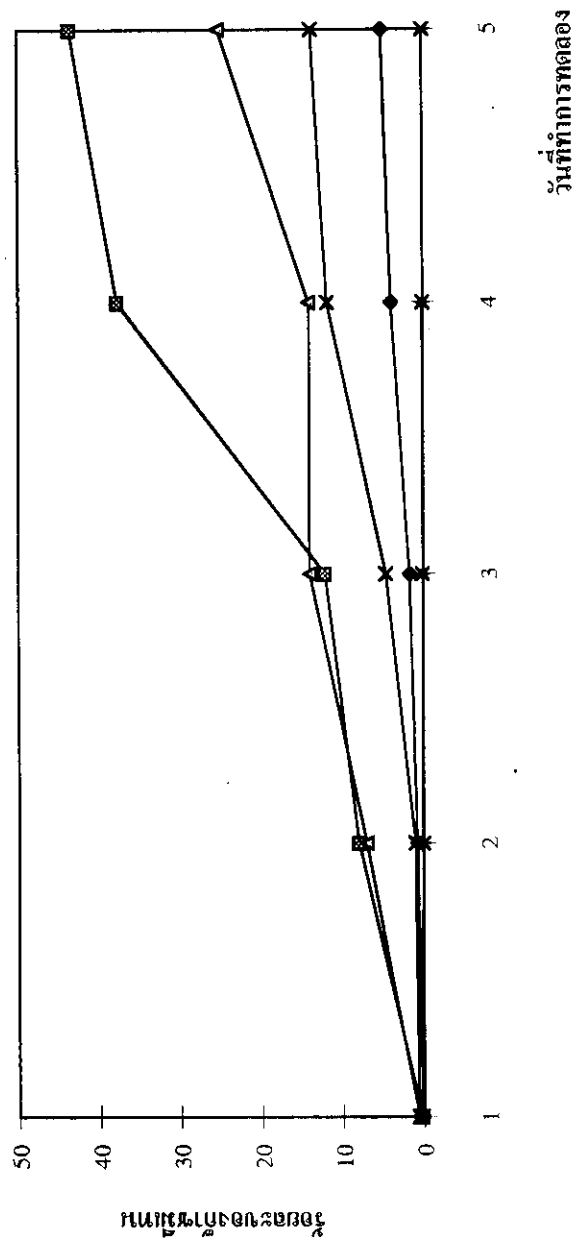
ภาพประกอบ 5 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซัสเตรตต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีไอต่อวัน (เต็มแคปไซม์คาร์บอนเนต อุณหภูมิห้อง)



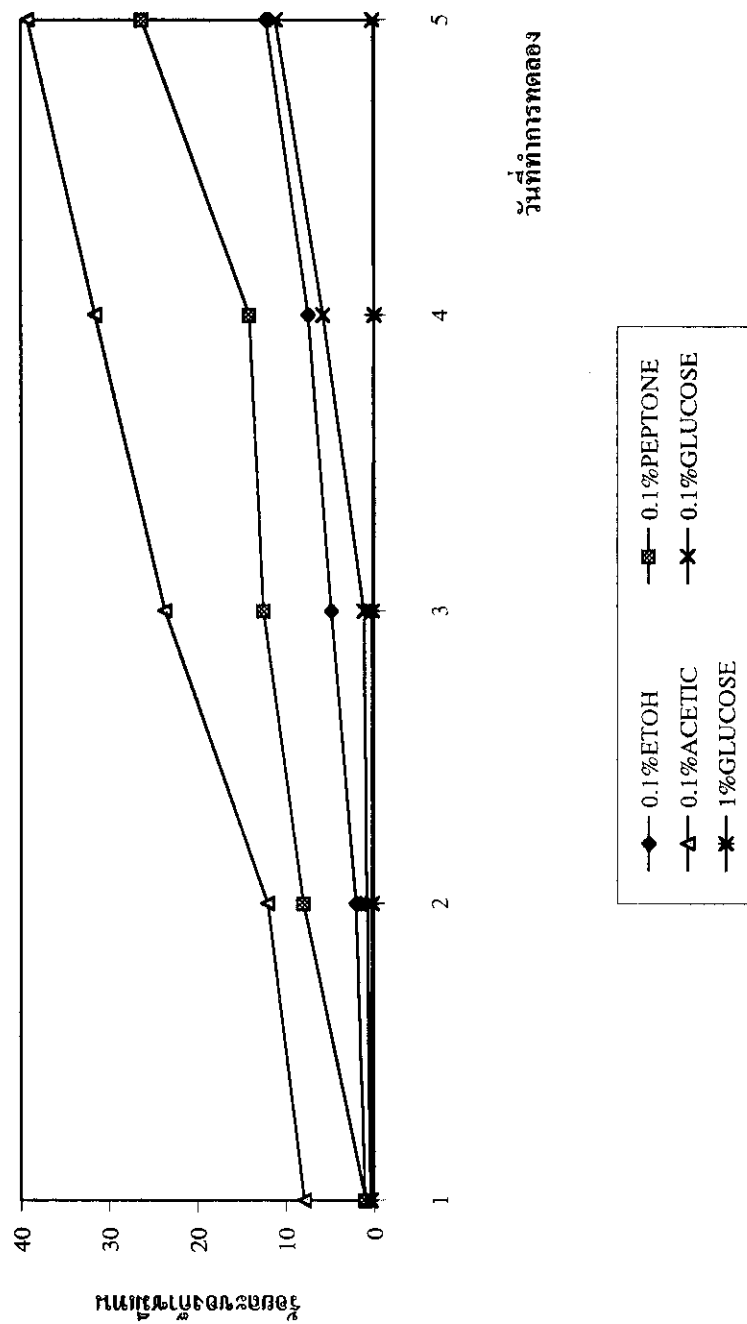
ภาพประกอบ 6 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซัสเตรทต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีไอต่อวัน (เต็มเซลล์เข้มข้นคาร์บอนเต อุนหนุม 37 องศาเซลเซียส)



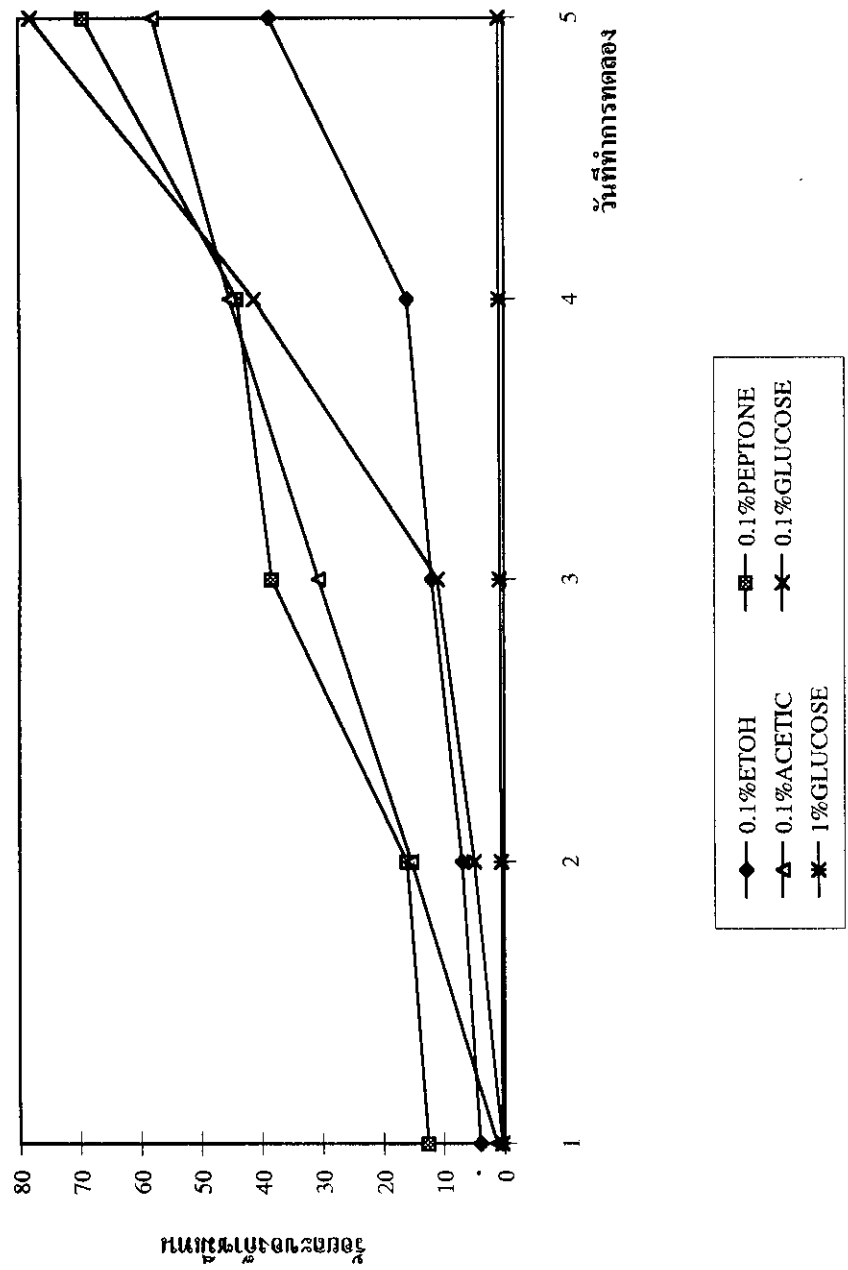
ภาพประกอบ 7 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอไซด์ต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)



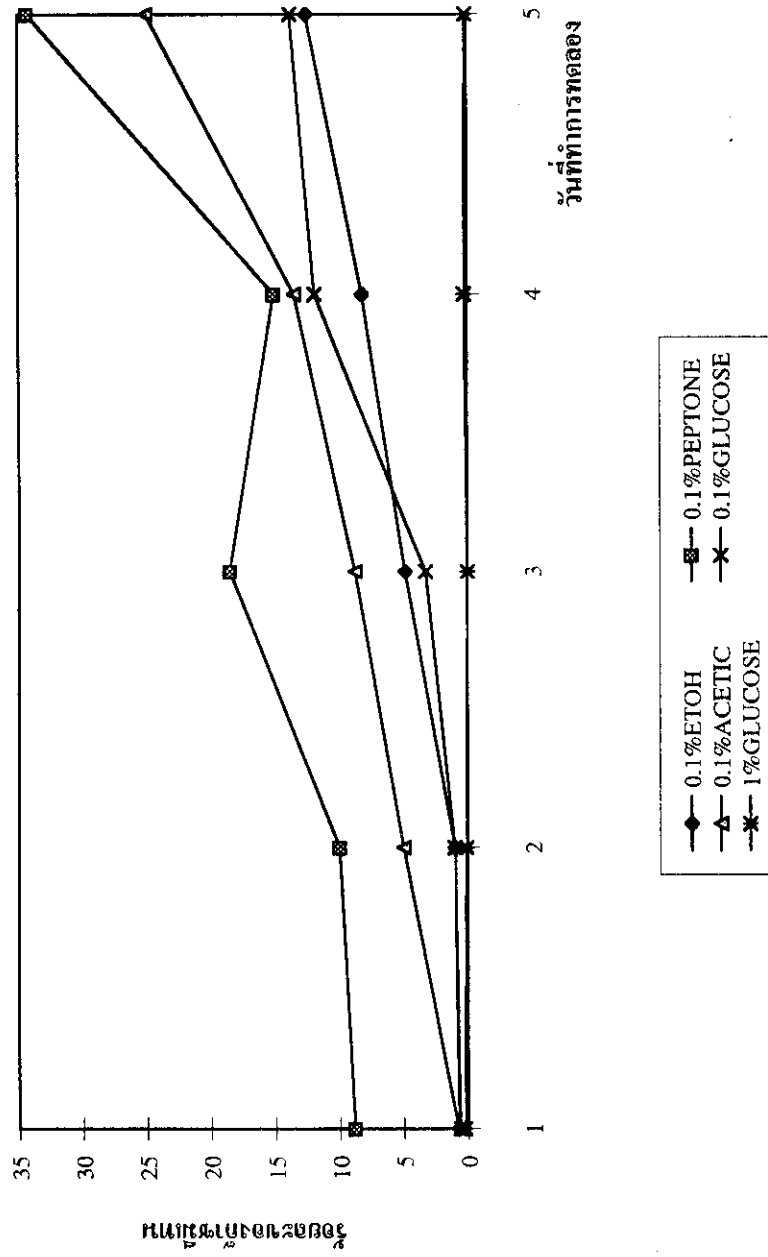
ภาพประกอบ: 8 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสับسترต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน (เดินแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



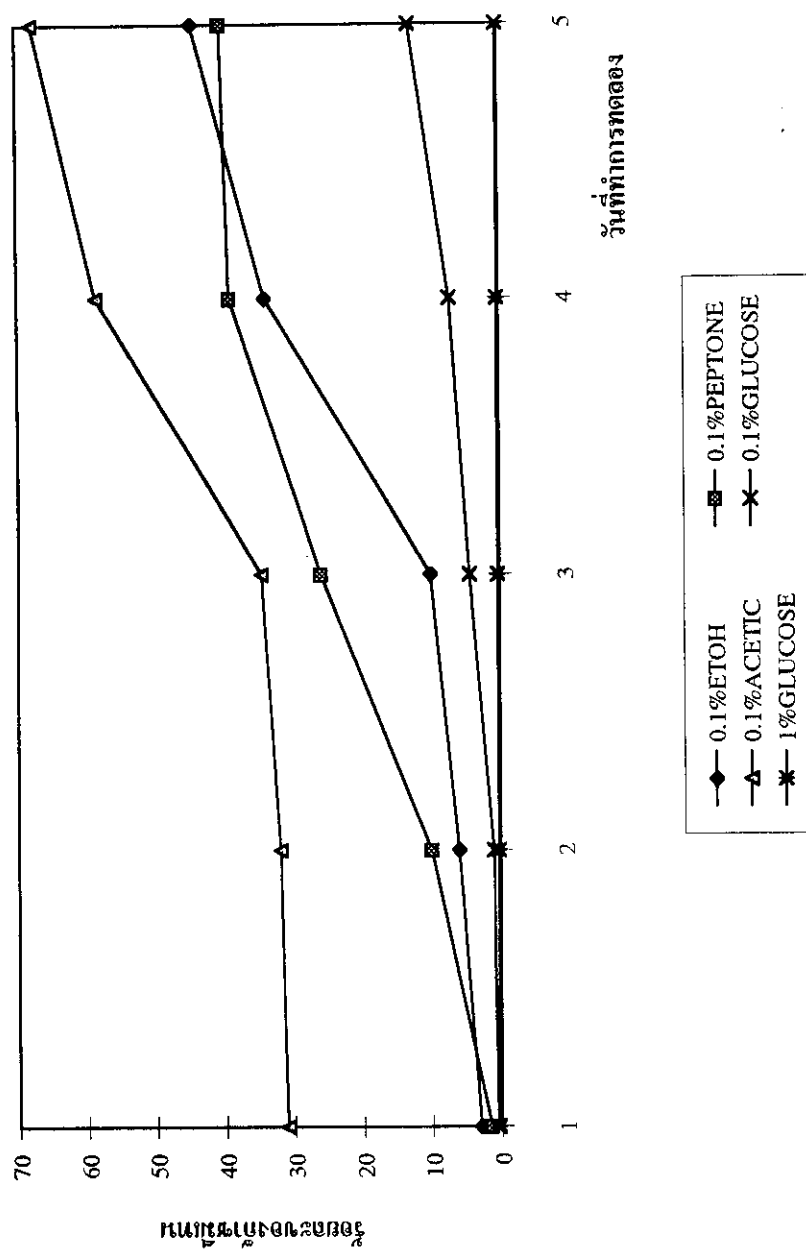
ภาพประกอบ 9 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากจับสเตรต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 1.0 กรัมซีโอดีต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



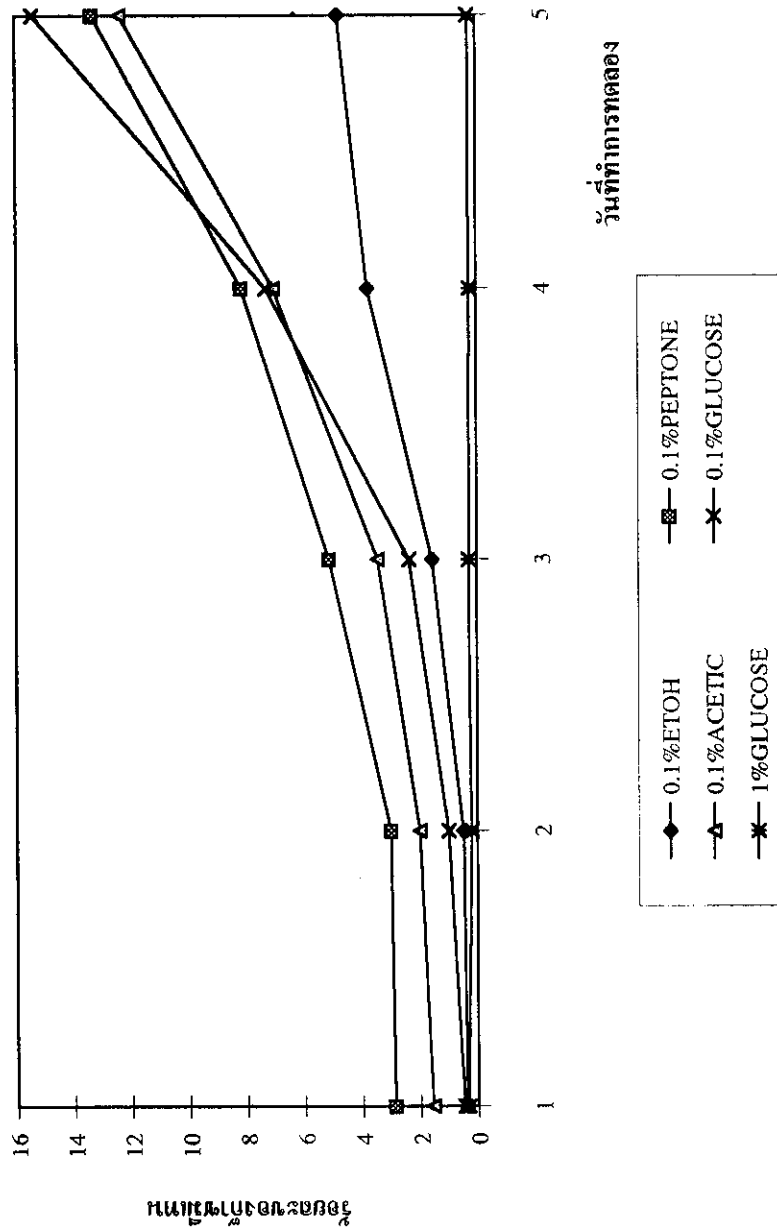
ภาพประกอบ 10 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสารตั้งต้นต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักวันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอต่อวัน (เดินแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิห้อง)



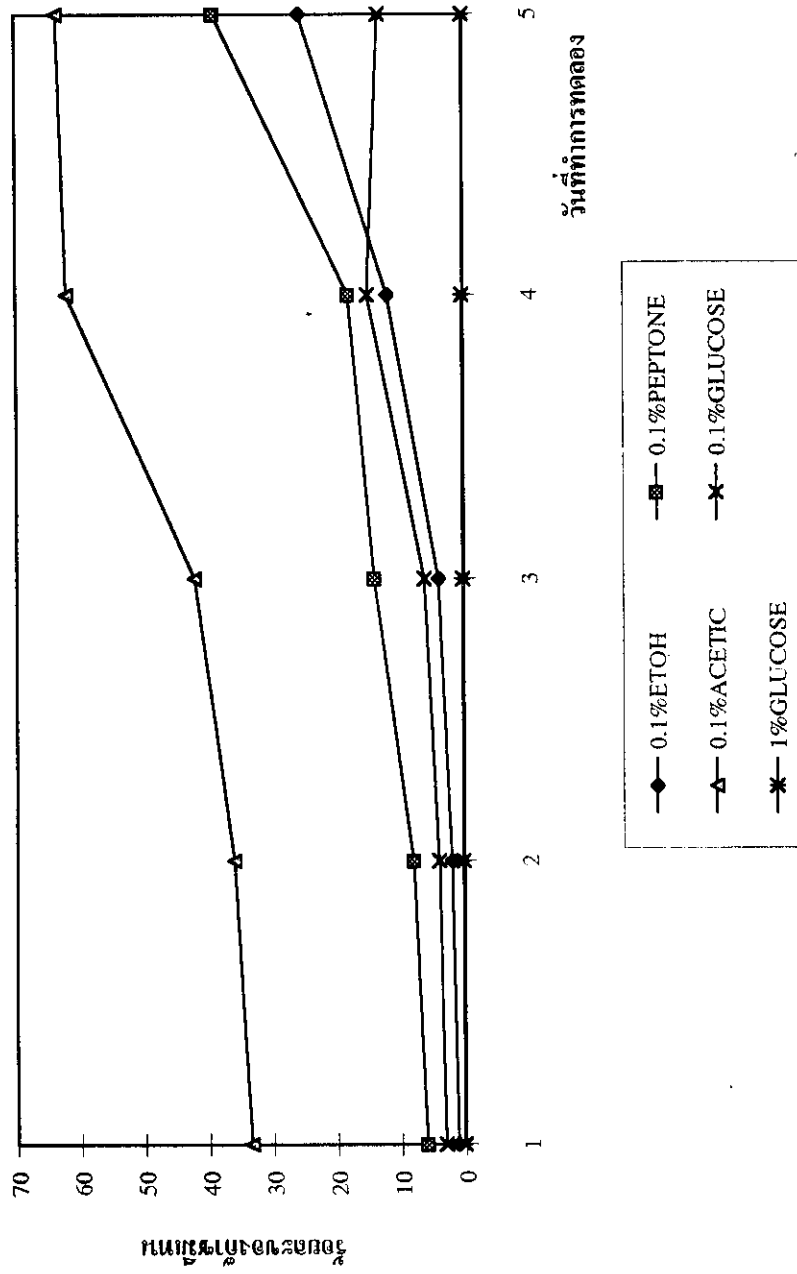
ภาพประกอบ 11 แสดงความสามารถของกลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสเตรทต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอดีต่อวัน (เดิมเซลล์เชื้อคาร์บอนเนต อิมมูนิ์ห้อง)



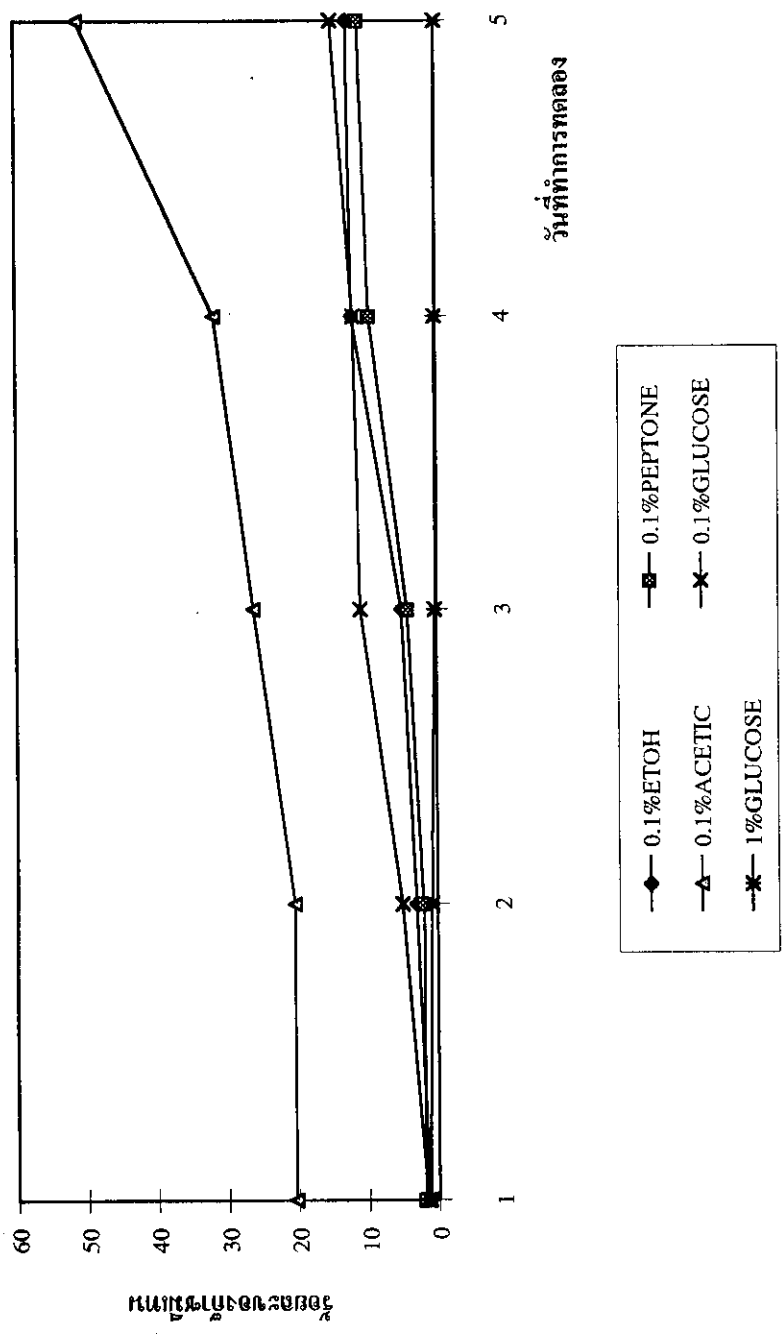
ภาพประกอบ 12 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอต่อวัน (เดินแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)



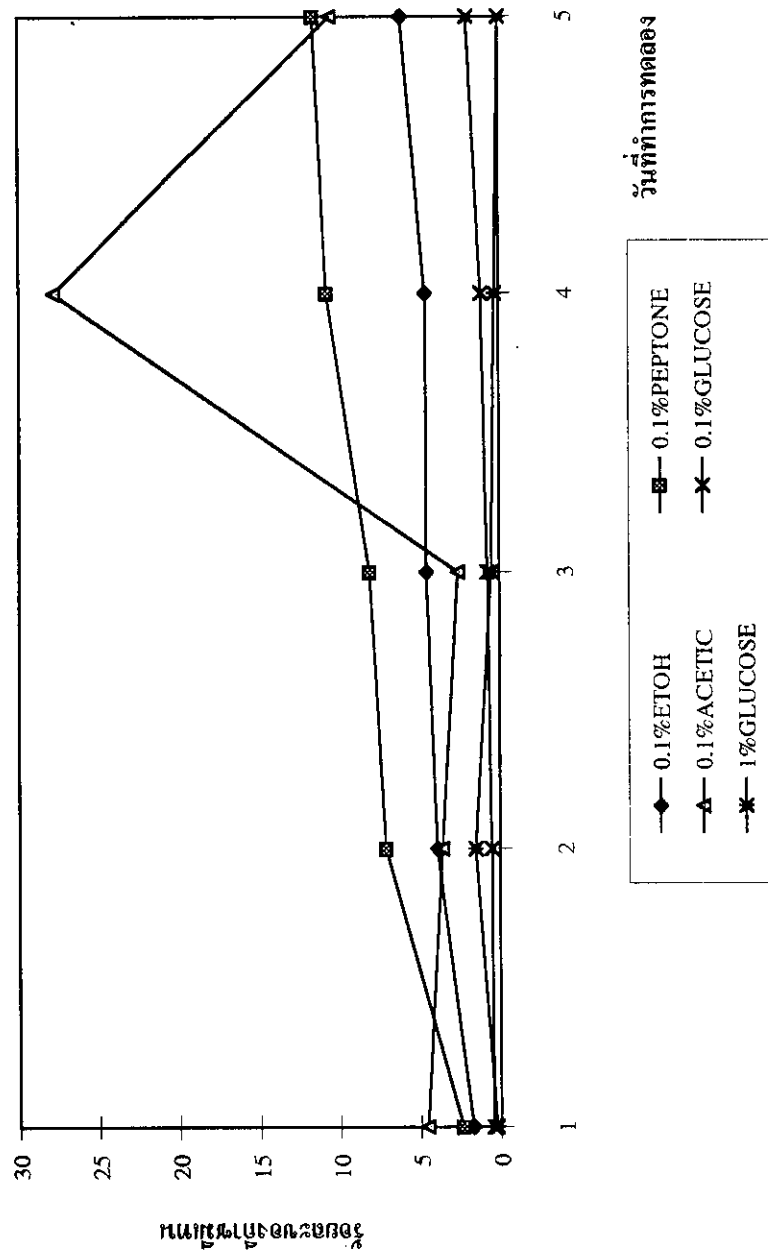
ภาพประกอบ 13 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสับสเตรตต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักวันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)



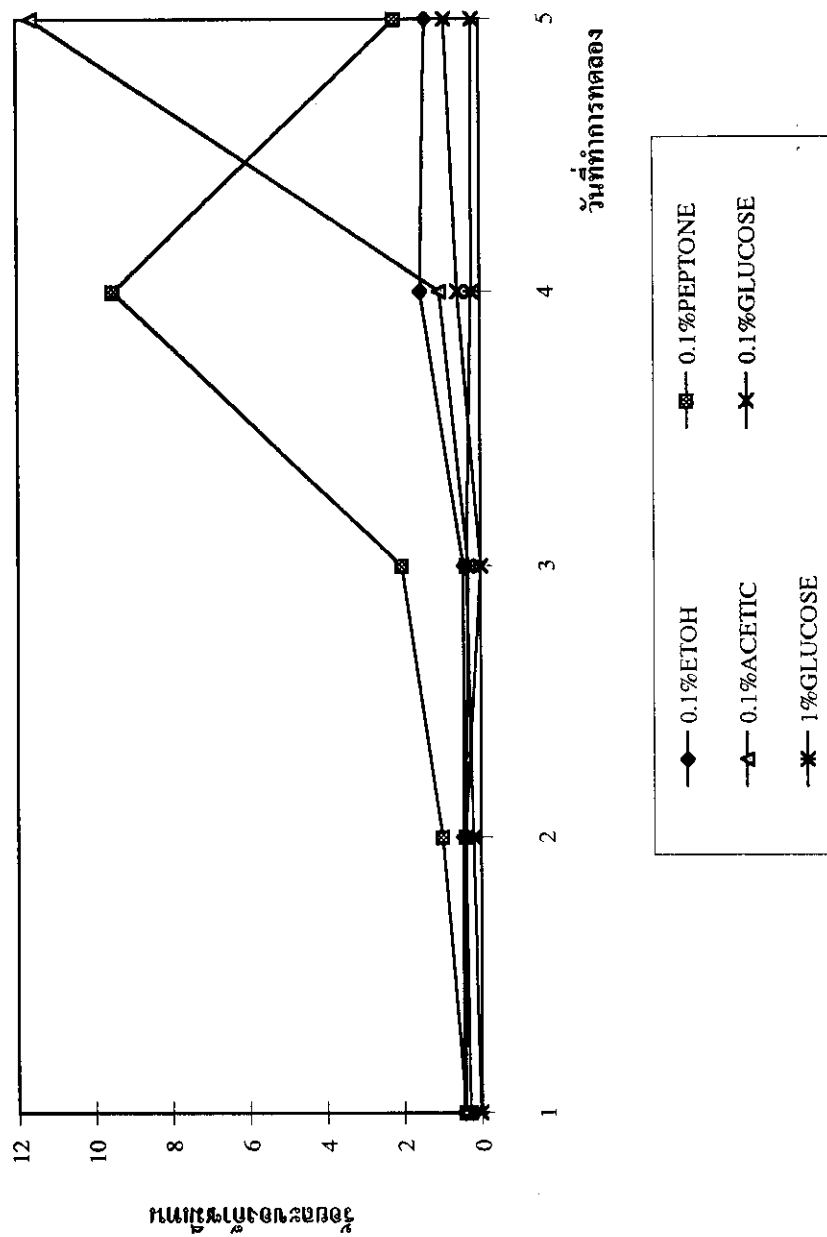
ภาพประกอบที่ 14 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากสับسترต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอต่อวัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



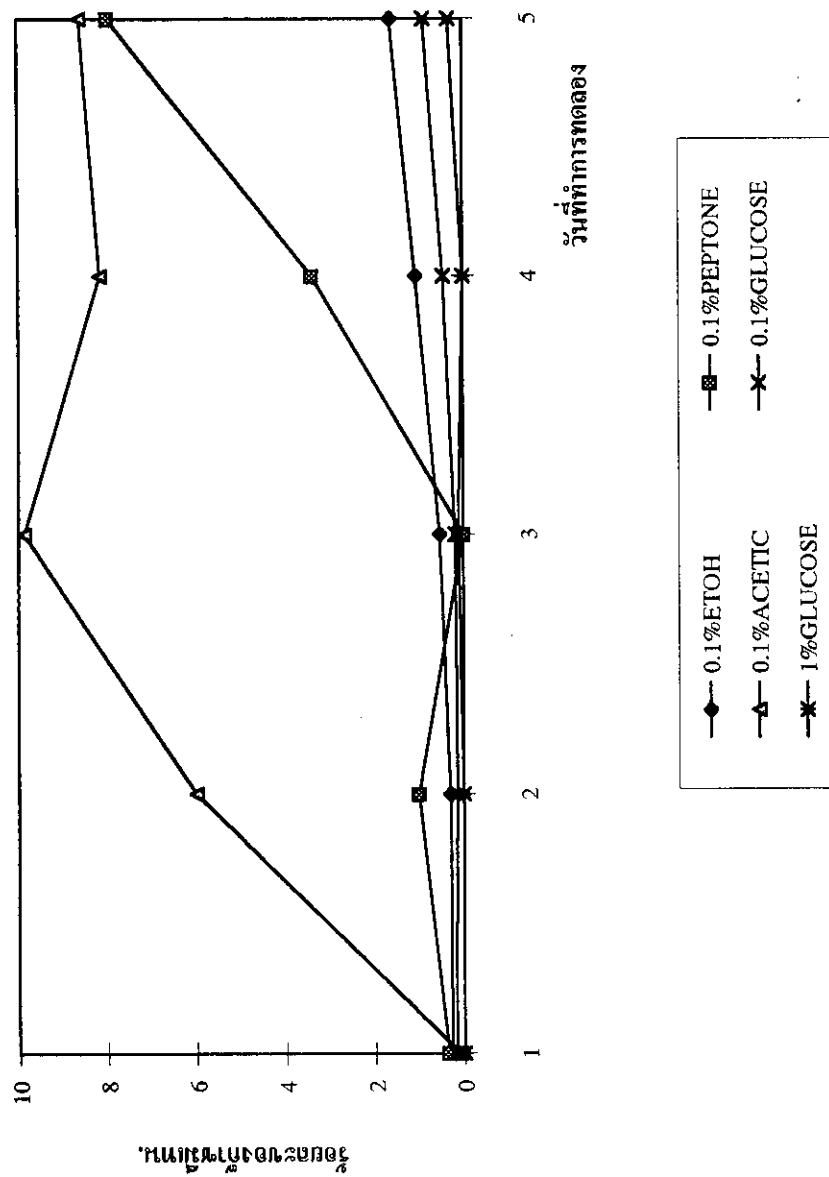
ภาพประกอบ 15 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอตต่อวัน (เติมแคลเซียมคาร์บอเนตอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



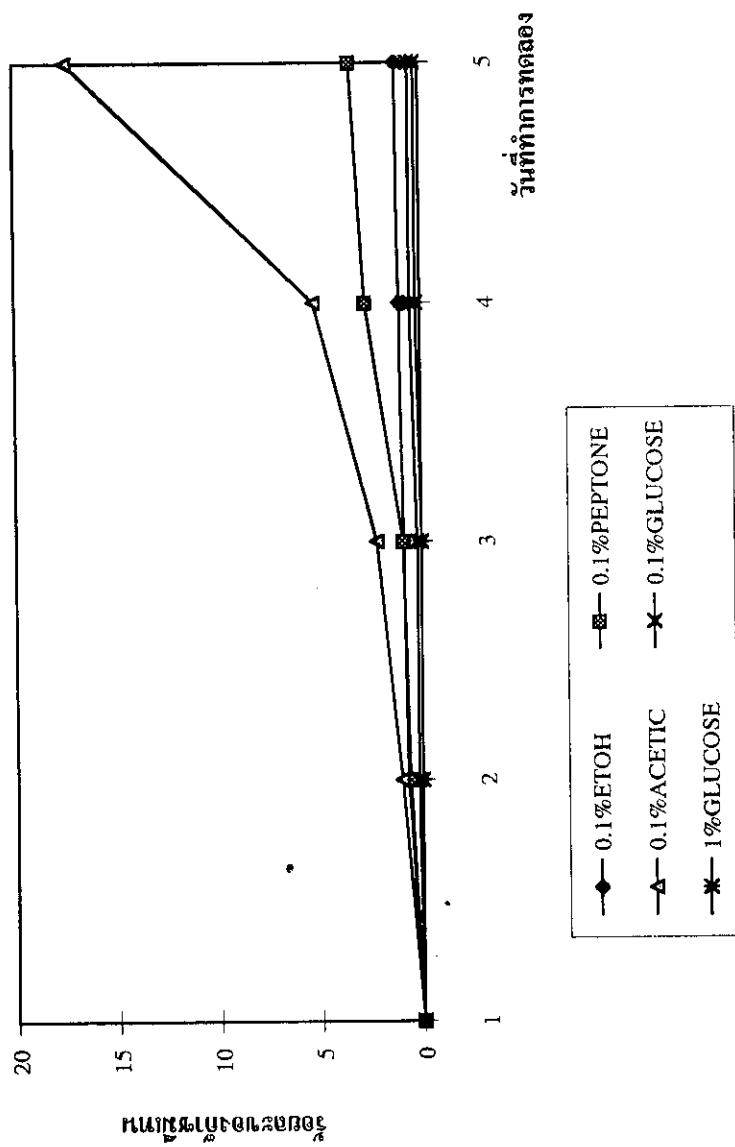
ภาพประกอบ 16 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากซับสเตรตต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีโอตต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิห้อง)



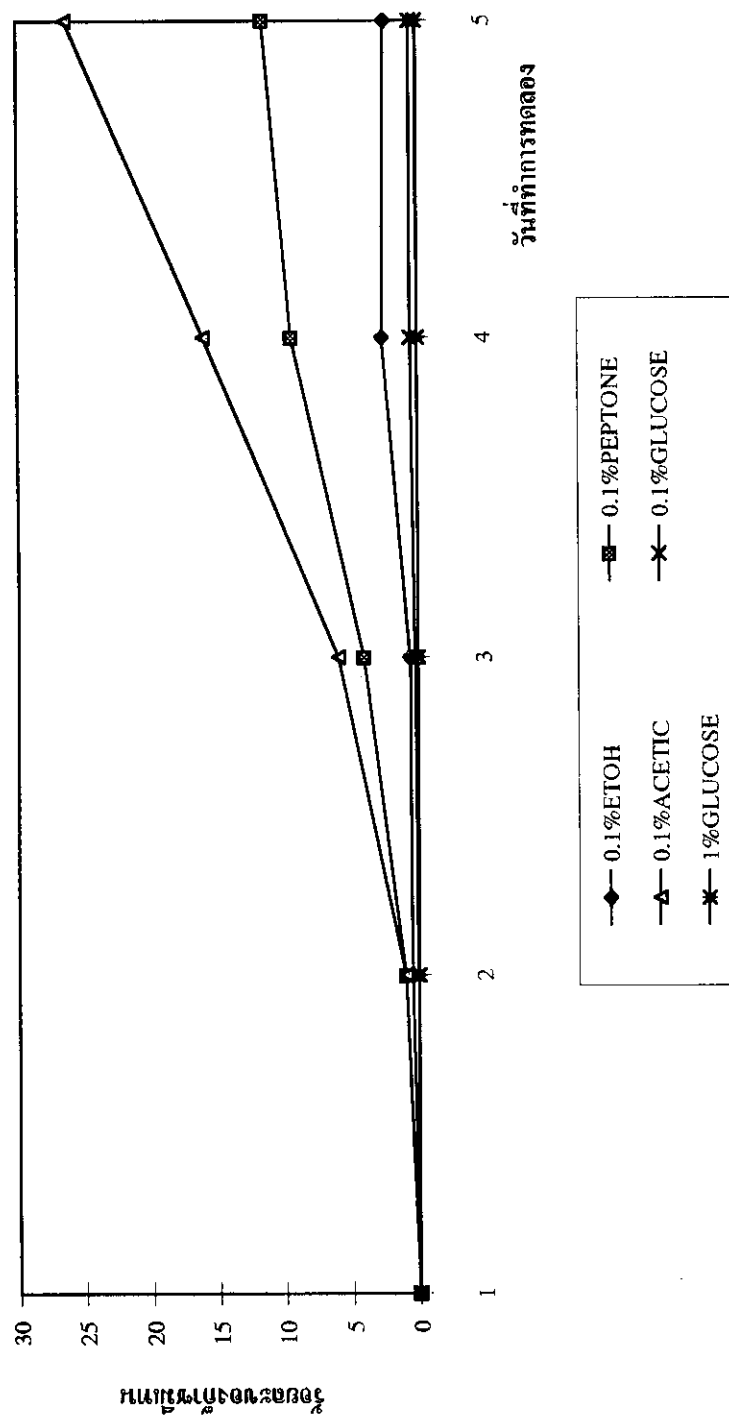
ภาพประกอบ 18 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากวัสดุแตกต่างๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรียสาร 0.5 กรัมต่อโอดต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)



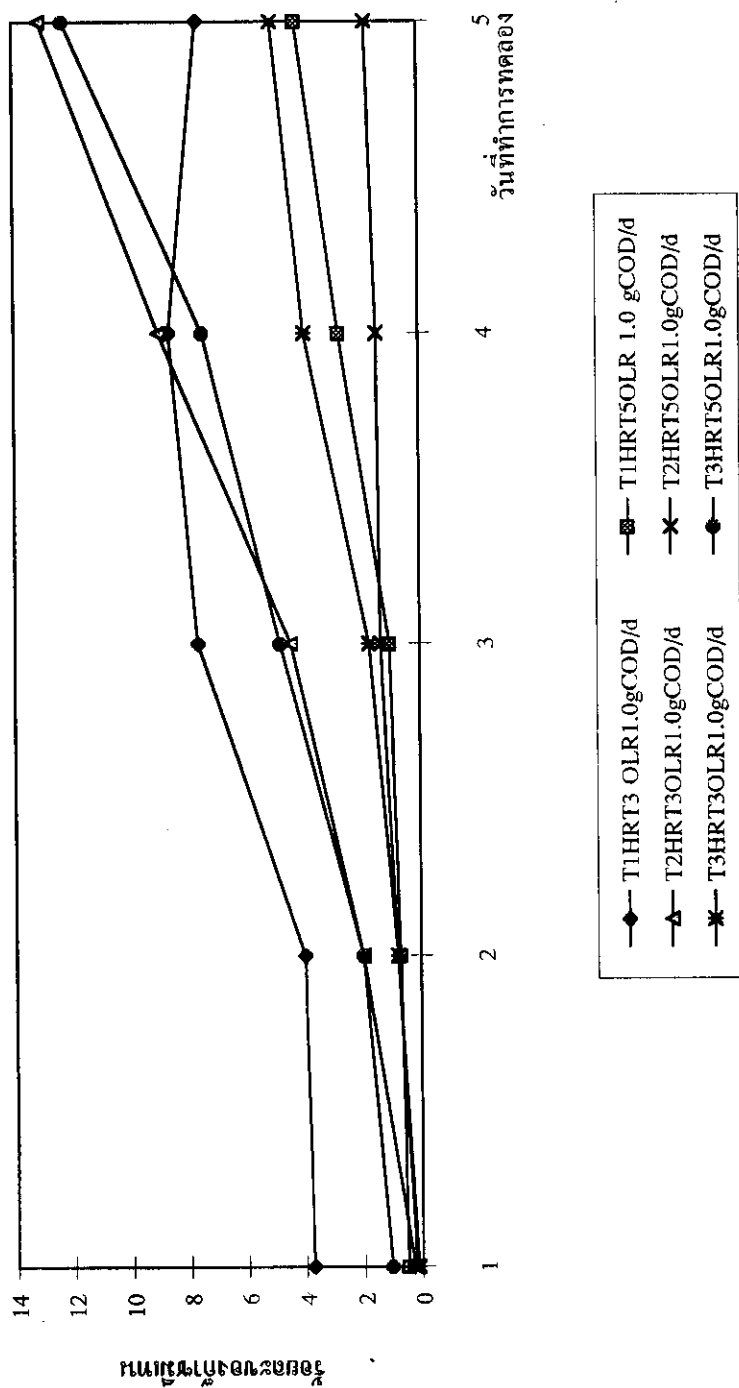
ภาพประกอบ 19 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซที่แตกต่างๆ ระยะเวลาเก็บกักวัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมต่อไอติต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส)



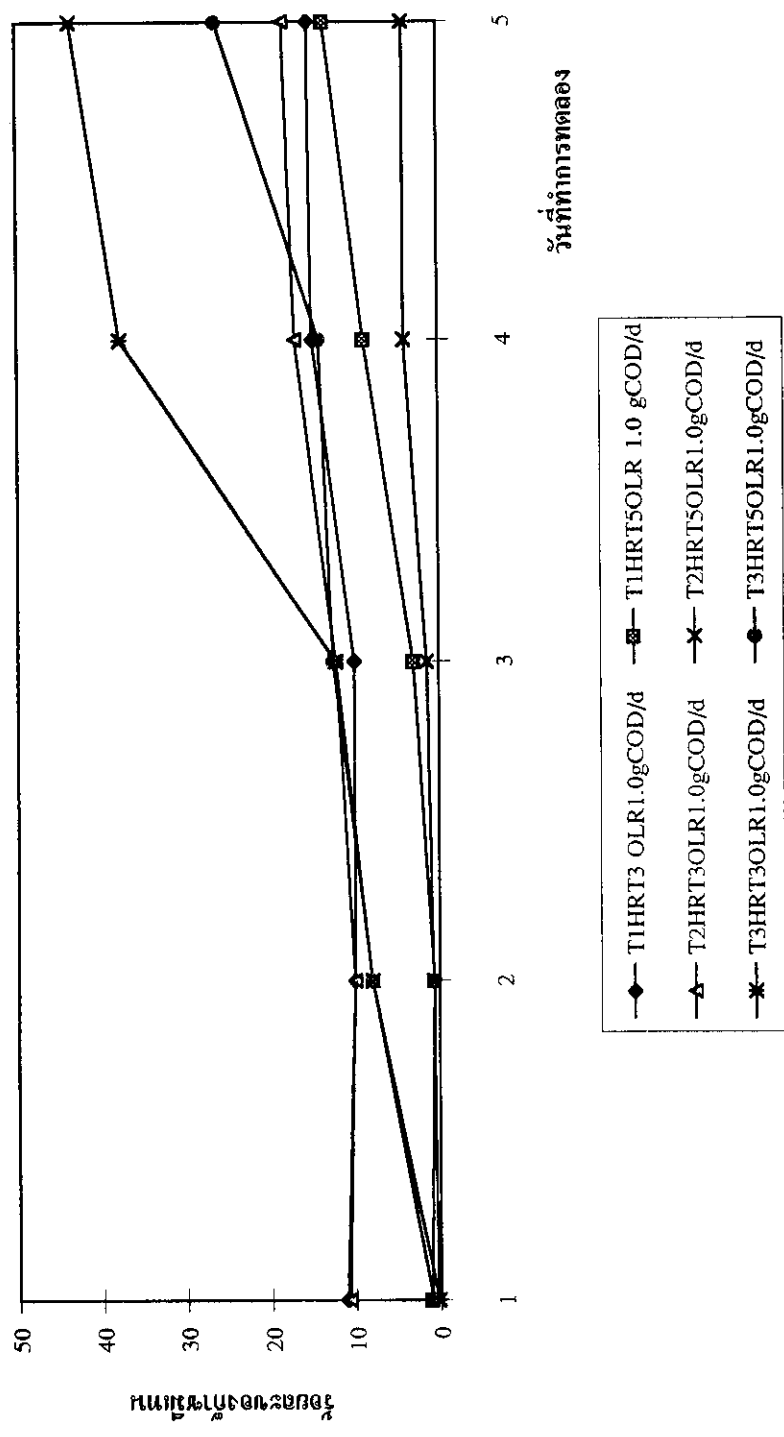
ภาพประกอบ 120 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากวัสดุต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัม ซีไอ ต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



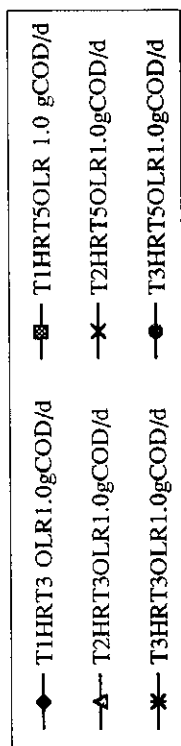
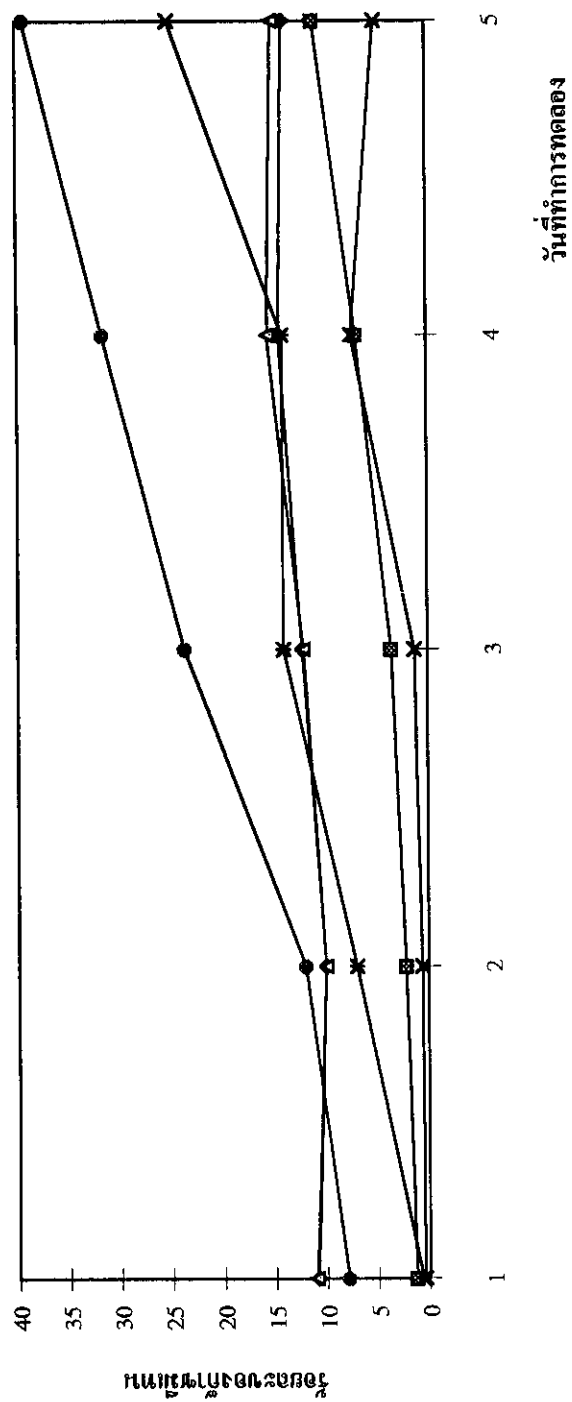
ภาพประกอบ 21 แสดงความสามารถของกลีเซอรีนในการผลิตก๊าซมีเทนจากซัสเตรตต่างๆที่ระยะเวลาเก็บกักวันอัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมซีไอต่อวัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส)



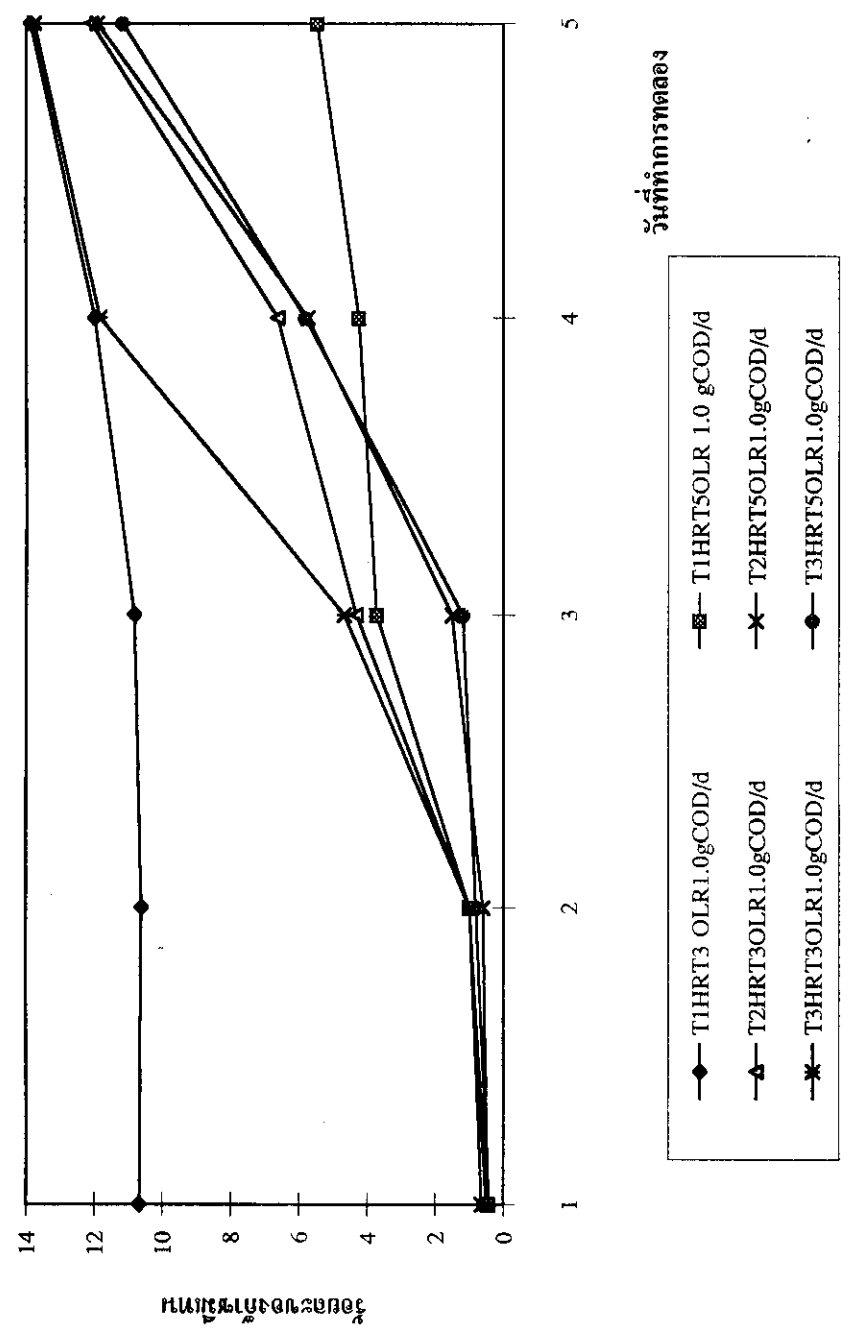
ภาพประกอบที่ 22 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้ของเสียจากกระบวนการหมัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างๆกัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต)



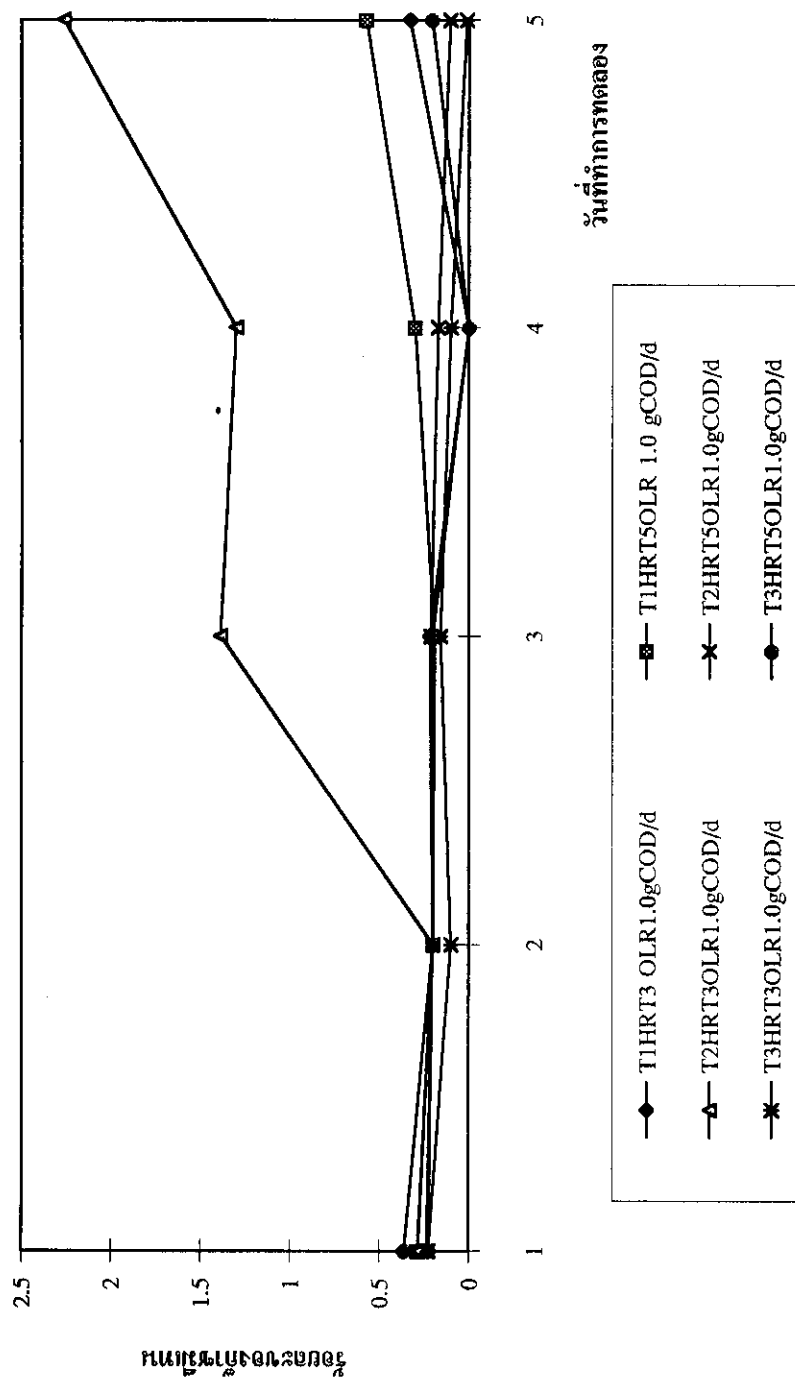
ภาพประกอบ 23 แสดงความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกากและอัตราการผลิตอินทรีย์สารต่างกัน (เต็มเซลล์ระบบคาร์บอนเต)



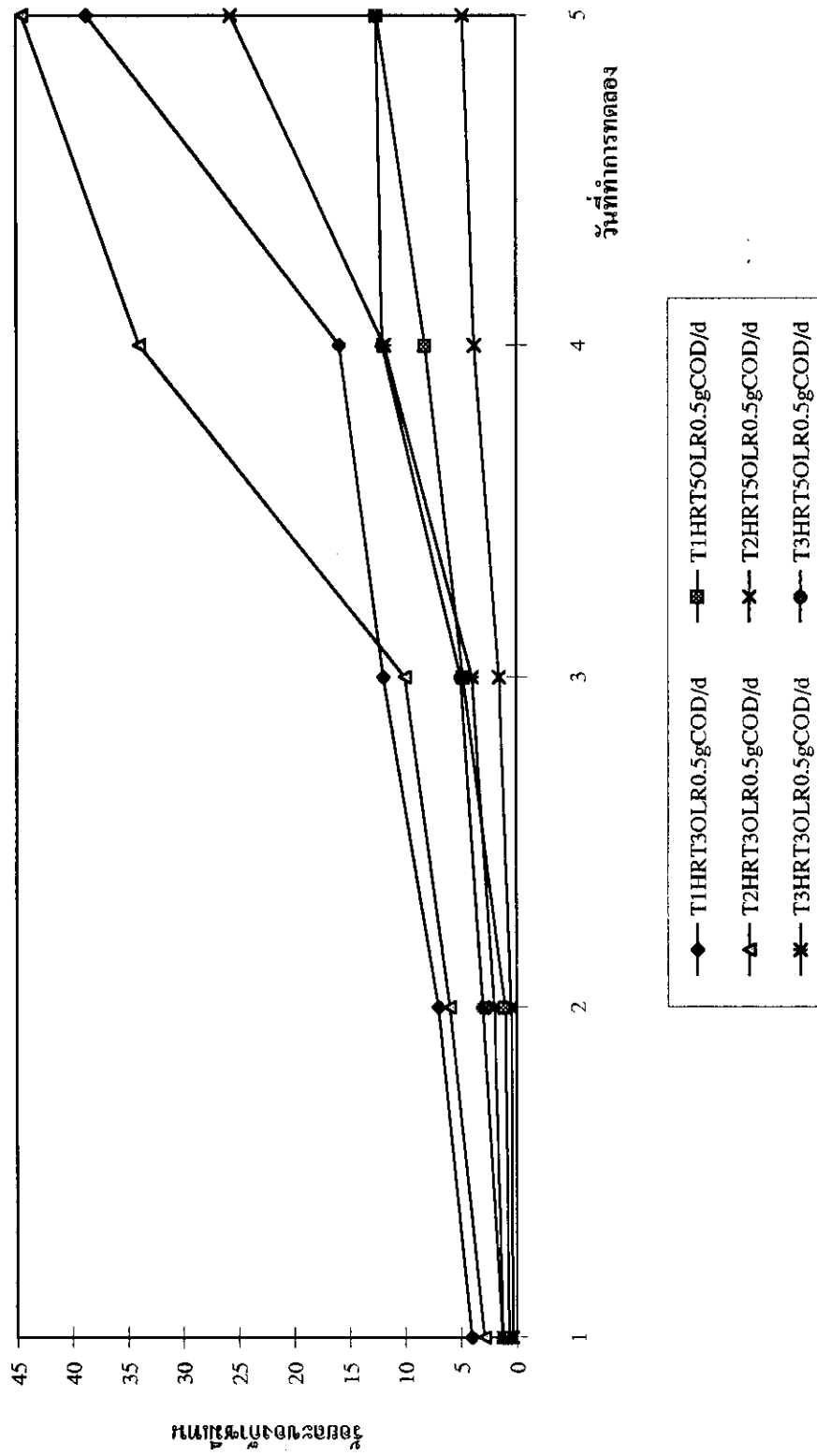
ภาพประกอบ 24 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (เดินเคลเซียมคาร์บอเนต)



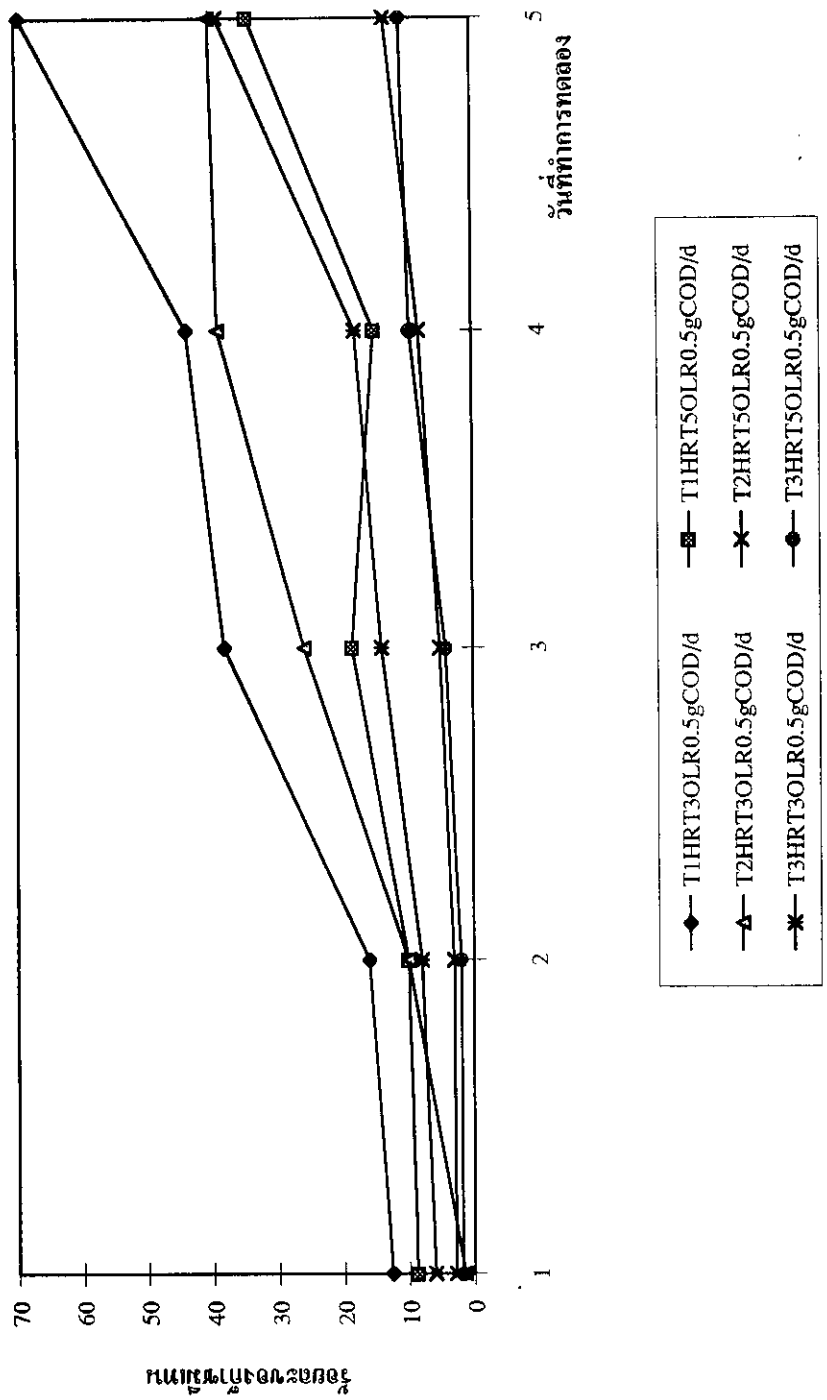
ภาพประกอบ 25 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 ในช่วงเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างๆ กัน (เดินเครื่องแบบคาร์บอน)



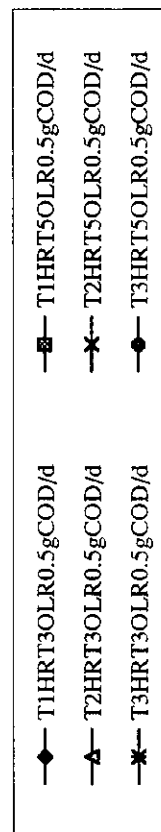
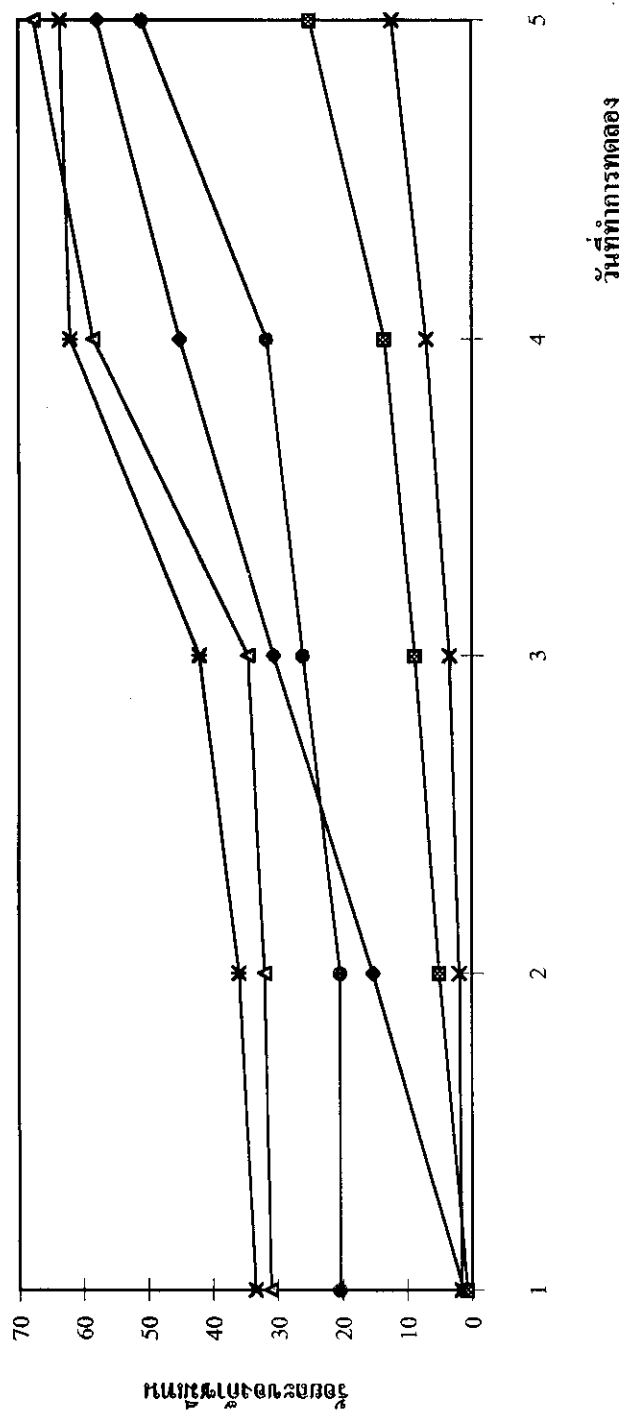
ภาพประกอบ 26 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (เต็มเซลล์เชื่อมคาร์บอนเตต)



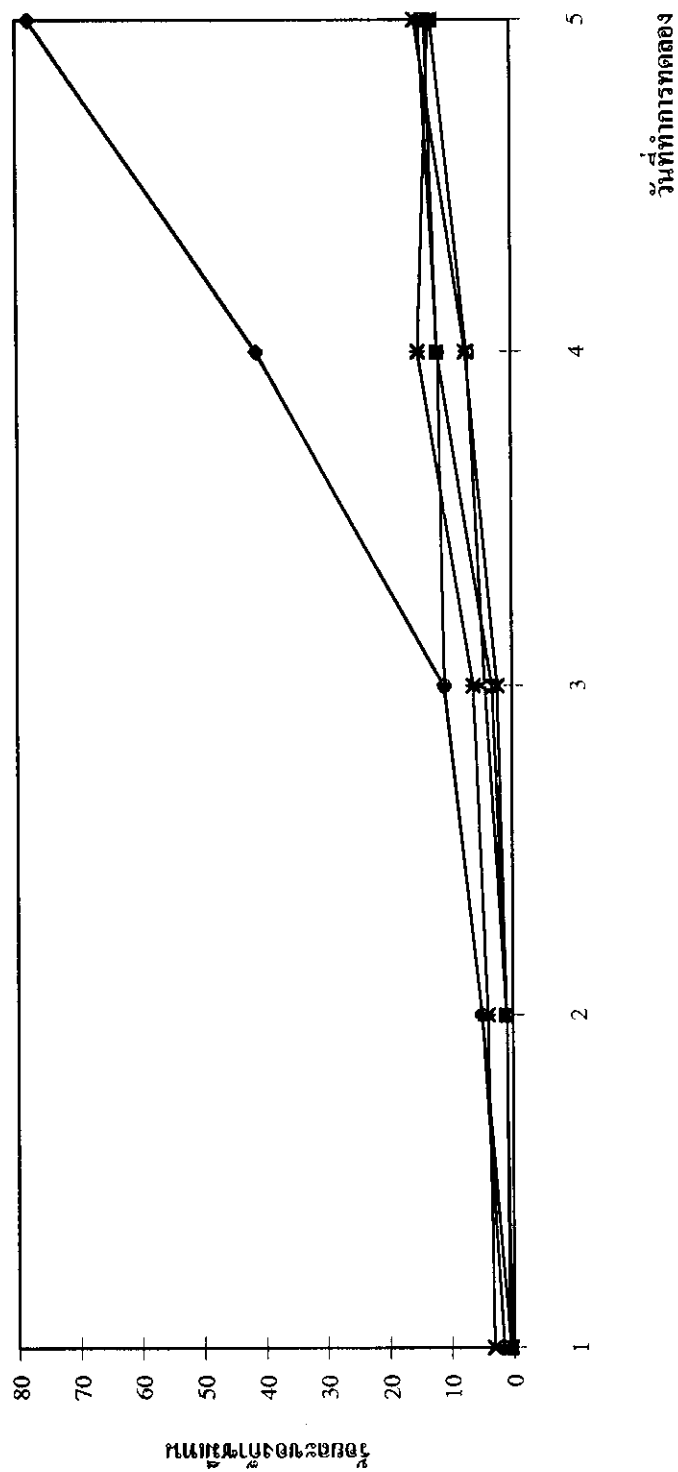
ภาพประกอบ 27 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างๆกัน (เดิมแคลเซียมคาร์บอเนต)



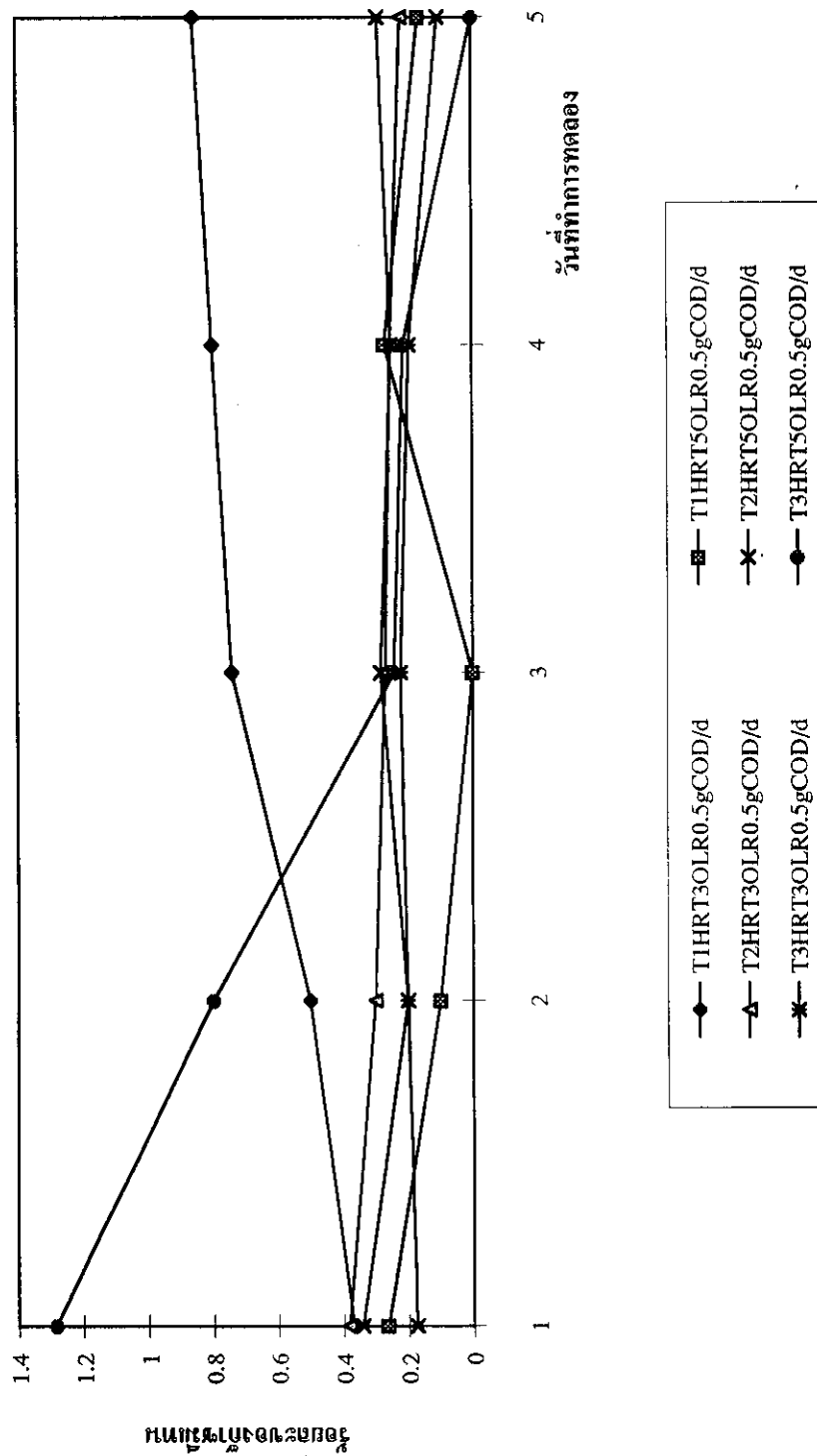
ภาพประกอบ 28 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้ไปโตเนชั่นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการผลิตอินทรีย์สารต่างกัน (เดินเครื่องระบบบ่อนค)



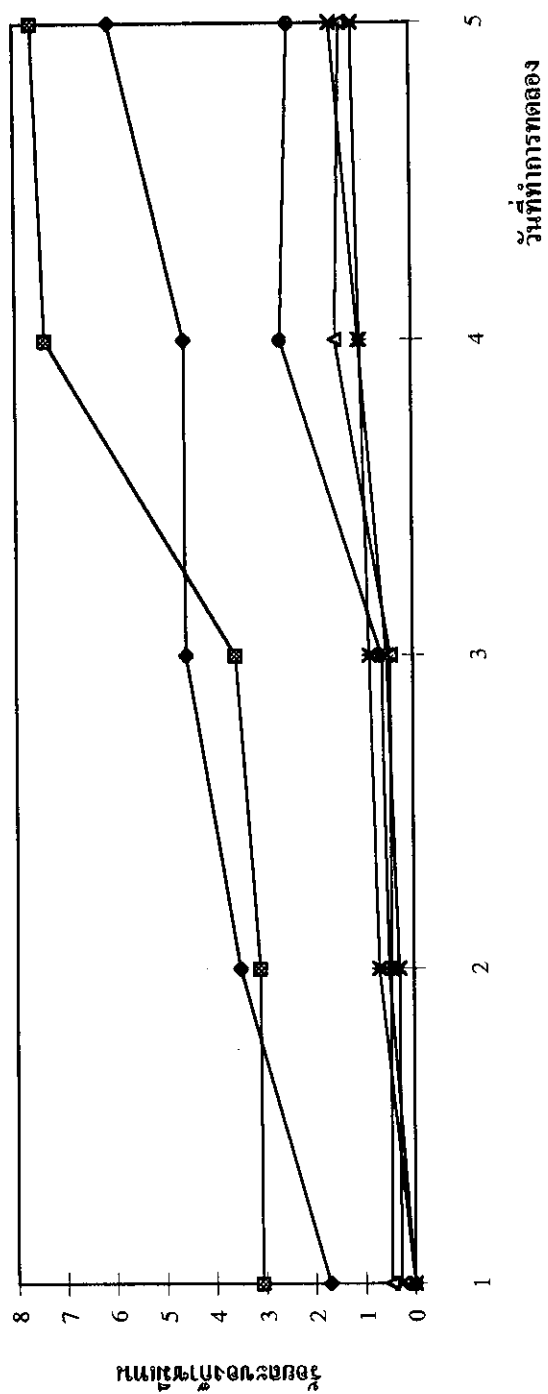
ภาพประกอบ 29 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (เดินแบบเต็มคาร์บอน)



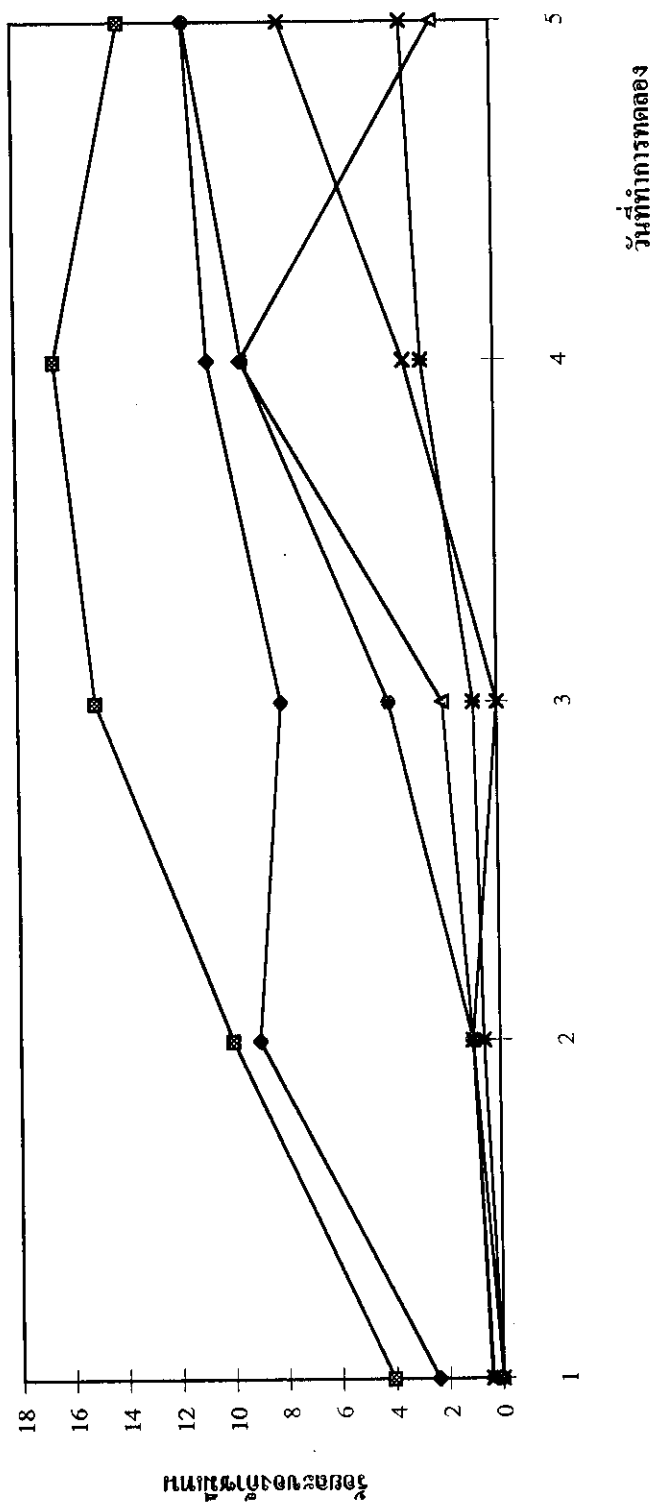
ภาพประกอบ 30 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในช่วงเวลาเก็บและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (เดินแคลเซียมคาร์บอเนต)



ภาพประกอบ 31 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (เต็มเซลล์เรซินคาร์บอน)

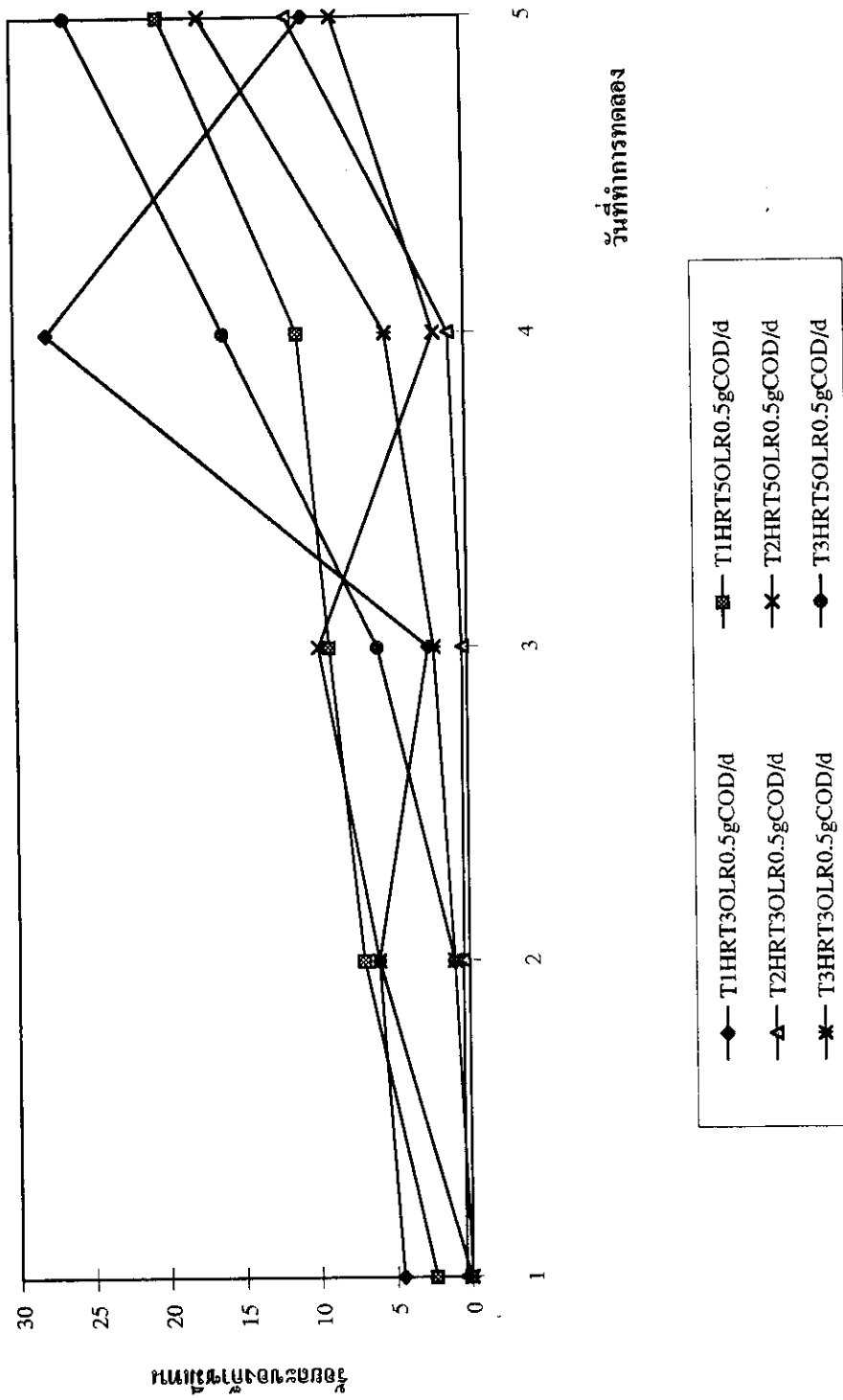


ภาพประกอบ 32 แสดงความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้พืชนานอลงในน้ำร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวและอัตราการป้อนอินทรีชีสารต่างกัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

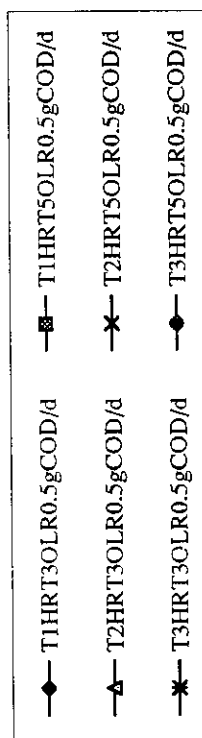
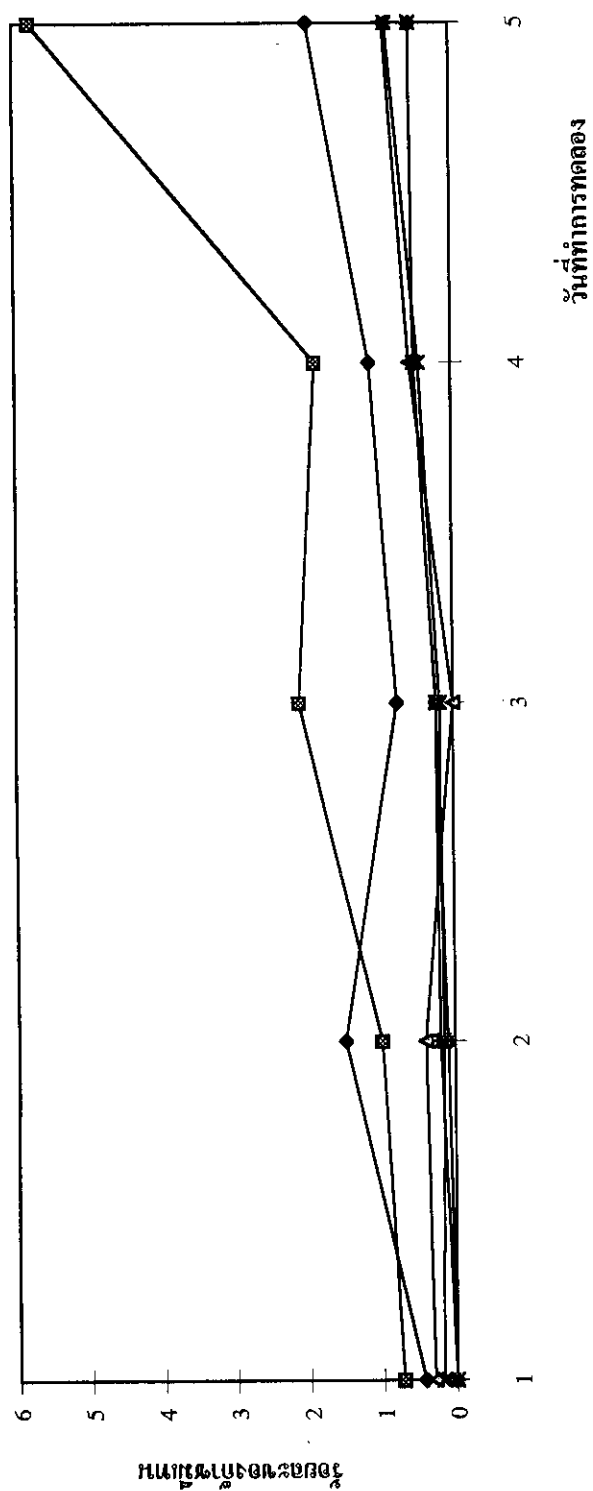


ภาพประกอบ 33 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้เปปโตเนชั่นเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาที่กักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน

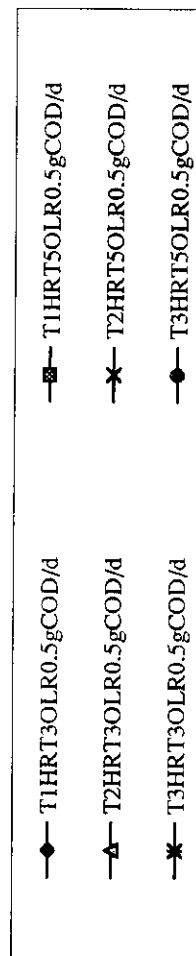
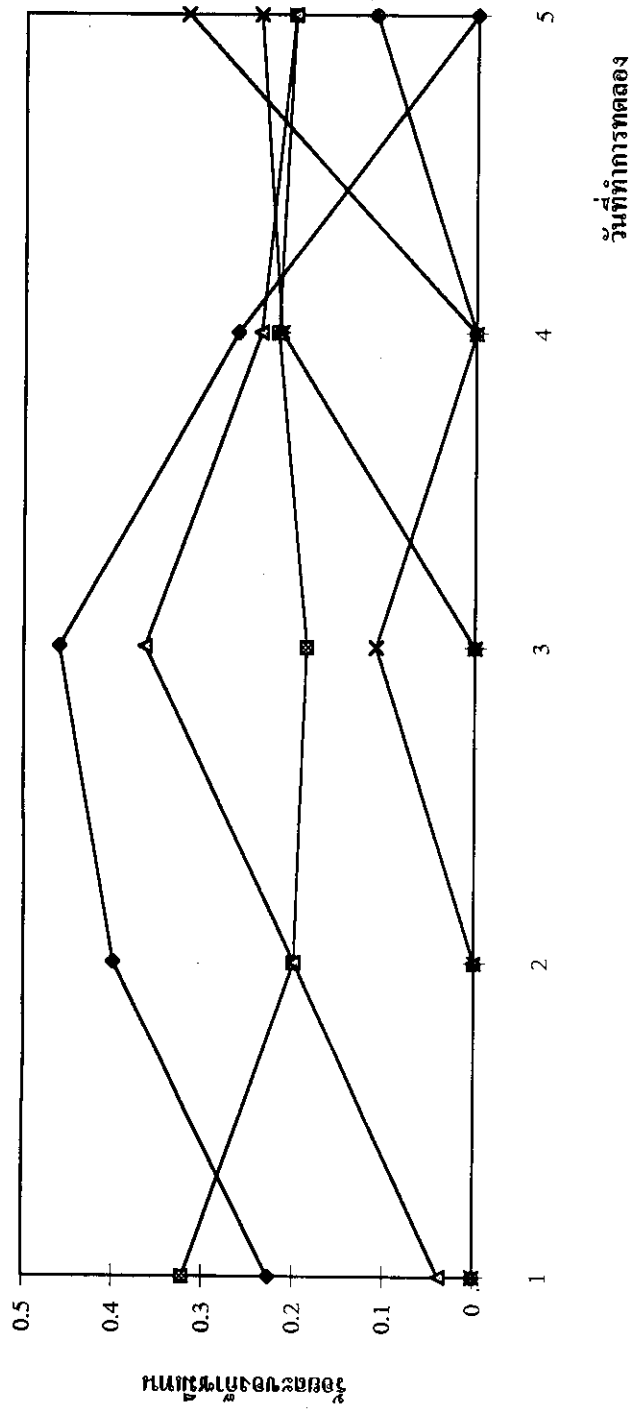
(ไม่เต็มเซลล์เชิงคาร์บอน)



ภาพประกอบ 34 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้การคอกะฉิกที่เข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน (ไม่เต็มเซลล์เรียบอบคาร์บอน)



ภาพประกอบ :35 แสดงความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างกัน
(ไม่ได้มีเคลือบคาร์บอน)



ภาพประกอบ 36 แสดงความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากการใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่ระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่างๆกัน (ไม่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต)

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายสุวัฒน์ ช่อสกุล เผ่าพงษ์ไทย

เกิดวันที่ 21 เดือนมิถุนายน พุทธศักราช 2501

สถานที่เกิด อำเภอพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 85/5 ซอยพหลโยธิน 35
ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพฯ 10900

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน อาจารย์ 2 ระดับ 6

สถานที่ทำงานปัจจุบัน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
กระทรวงศึกษาธิการ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2523 กศ.บ. (เคมี) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ. 2539 วท.ม. (เคมีชีวภาพ) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมะเขือเทศโดยจุลินทรีย์
ที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

บทคัดย่อ
ของ
สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกเคมีชีวภาพ
พฤษภาคม 2539

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นกากมะเขือเทศ ระยะเวลาเก็บกักกาก อุณหภูมิ ค่อนข้างและปริมาณสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์จากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ขนาด 1.5 ลิตร หมักกากมะเขือเทศเพื่อให้ได้กรดอินทรีย์โดยใช้กากมะเขือเทศผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัม และ 20 กรัมต่อลิตร ทำการหมักให้มีระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน และ 5 วัน และนำน้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่างๆ มาปรับสภาพ pH ให้เป็น 7.0 เพื่อใช้เป็นป้อนเป็นวัตถุดิบสำหรับขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ในถังปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร ให้มีอัตราการป้อนอินทรีย์สารลงสู่ถังปฏิกรณ์ 0.5 และ 1.0 กรัมชีโอดีต่อวันและมีระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน และ 5 วัน ศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำหมักกากมะเขือเทศผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นจาก 10 กรัมต่อลิตร เป็น 20 กรัมต่อลิตร และระยะเวลาเก็บกักกากนานขึ้นจาก 3 วัน เป็น 5 วัน จะให้ปริมาณอินทรีย์สาร และกรดอินทรีย์ระเหยมากขึ้นโดยปริมาณอินทรีย์สารในน้ำหมักสูงสุดเท่ากับ 1,324 มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร เมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิห้อง มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน ประสิทธิภาพการขจัดอินทรีย์สารสูงสุดเท่ากับร้อยละ 57.50 ของของแข็งทั้งหมด เมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักกากนาน 3 วัน

ปริมาณของกรดอะซิติกในน้ำหมักจะสูงสุดเท่ากับ 2.9 มิลลิโมลาร์ เมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร หมักที่อุณหภูมิห้อง มีระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน ปริมาณของกรดโพรพิโอนิก กรดบิวทีริก และ กรดแวลริกสูงสุดเท่ากับ 2.74 2.83 และ 3.39 มิลลิโมลาร์ เมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 20 กรัมต่อลิตรหมักที่ 37 องศาเซลเซียส มีระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน ปริมาณกรดไอโซบิวทีริกสูงสุดเท่ากับ 3.15 มิลลิโมลาร์ เมื่อใช้กากมะเขือเทศที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร หมักที่ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลาเก็บกักกาก 3 วัน pH ของน้ำหมักในถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์อยู่ในช่วง 5.42-6.29

ความสามารถในการขจัดอินทรีย์สารในรูปชีโอดี สูงสุดร้อยละ 88.87 ที่ระยะเวลาเก็บกักกาก 5 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่หมักที่ 37 องศาเซลเซียส ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทนต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอินทรีย์สารสูงขึ้นจาก

0.5 กรัมชีโอดีต่อวันเป็น 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกักคงที่ จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงและเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นจาก 3 วันเป็น 5 วัน ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สารคงที่คือ 0.5 กรัมชีโอดีต่อวันหรือ 1.0 กรัมชีโอดีต่อวัน พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่เติม ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.3 ลิตรต่อวัน มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซผสมระหว่าง CH_4 และ CO_2 เท่ากับร้อยละ 61.28 ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 0.5 กรัมชีโอดีต่อวัน ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ใช้น้ำหมักจากถังปฏิกรณ์ผลิตกรดอินทรีย์ที่หมักที่อุณหภูมิห้อง

นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการใช้ซับสเตรตต่างๆ เพื่อเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน พบว่าจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ทุกถังที่ใช้ศึกษา สามารถให้ปริมาณก๊าซมีเทนเมื่อใช้กรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) และเปปโตเนเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) สูงกว่าเมื่อใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) และกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) แต่จุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนไม่สามารถใช้กลูโคสเข้มข้นร้อยละ 1.0 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) หรือใช้น้อยมาก ในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

The research was carried out to study on two stage anaerobic digestion of tomato solid wastes. The effects of various conditions, i.e. the concentration of tomato solid waste, the solid retention time (SRT) and temperature on the acidogenic stage were investigated. The experiments were performed by using 1.5 litre reactor and the tomato solid waste mixed with the acidogenic inoculum into the concentration of 10 g/litre and 20 g/litre were used as raw material. The experiments were carried out at various solid retention time of 3 and 5 days. The filtered liquor was feeded semicontinuously into 4 litre biogas reactor at various organic loading rate of 0.5 and 1.0 g COD/day and fermented at various hydraulic retention time of 3 and 5 days. The results showed that the organic content, in term of mgCOD/litre, and volatile fatty acid content in the filtered liquor when using 20 g/litre tomato solid waste are higher than those of using 10 g/litre tomato solid waste, compared with the same temperature. At the longer solid retention time, the higher contents of organic compound and volatile fatty acid were found. The highest organic content is 1,324 mg COD/litre when using 20 g/litre tomato solid waste, 5-day SRT at room temperature. The highest organic destruction is 57.50 % of total solid when using 20 g/litre tomato solid waste, 3-days SRT at 55 °C. The highest acetic acid content is 2.9 mM when using 20 g/litre tomato solid waste, 3-day SRT at room temperature. The highest contents of propionic acid, butyric acid and valeric acid are 2.74 ,2.83 and 3.39 mM when using 20g/litre tomato solid waste, 5 day SRT at 37 °C .The highest content of isobutyric acid is 3.15 mM when using 10g/litre tomato solid waste, 3-day SRT at 37 °C, pH of the filtered liquor is in the range of 5.42-6.29

The effect of the hydraulic retention time (HRT) and organic loading rate on

biogas, the efficiency of gas production, COD reduction and TVA reduction will increase when the HRT increases.

When the organic loading rate increase from 0.5 g COD/day to 1.0 g COD/day, at the constant HRT, the efficiency of gas production will decrease. When the HRT increase from 3 to 5 days, at the constant organic loading rate, the efficiency of gas production will increase. The maximum efficiency of gas production is 0.6 litre/g COD added the amount of biogas is 0.3 litre/day with the methane content in the combined gas between carbondioxide and methane of 61.28 when using 0.5 gCOD/day organic loading rate, 5-days HRT and the filterd liquor fermented at room temperature was used. The highest organic destruction in term of COD destruction in the methanogenic stage is 88.87% when the filtered liquor fermented at 37 °C was used at 1 g COD/day organic loading rate and 5-days HRT

The activity of microorganism in using various substrates as carbon source for methane production was also studied. It showed that the methane contents produced by the microorganism from each reactors studied using acetic acid (0.1% v/v) and peptone (0.1% w/v) were higher than those using ethanol (0.1 % v/v) and glucose (0.1 % w/v) whereas at 1% (w/v) glucose the gas produced was only carbondioxide.