

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม  
พฤษภาคม 2554

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม  
พฤษภาคม 2554

กฤตภาส สิงคิบุตร. (2554). การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ  
เศษอาหารในมหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต:  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: คณะกรรมการควบคุม:  
อาจารย์ ดร.วิชชากร จารุศิริ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษ  
อาหารที่มีความแตกต่างกันของกรณีตัวอย่าง คือ ระบบ Plug Flow ระบบ CSTR แบบ 1-Stage  
และ ระบบ CSTR แบบ AMR ซึ่งทั้ง 3 ระบบมีขนาดการรองรับเศษอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ  
200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน โดยศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าเพื่อ  
วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน มี  
เกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ อัตราผลตอบแทน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน  
และบำรุงรักษา ค่าเสียโอกาสที่ดิน โดยผลประโยชน์ประกอบด้วย ก๊าซชีวภาพ ปุ๋ย ลดกลิ่น อีกทั้ง  
เป็นการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมพร้อมยังเป็นการช่วยบรรเทาการปลดปล่อยก๊าซเรือน  
กระจก ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200 กิโลกรัมเศษ  
อาหารต่อวัน เติบโตระบบ 330 วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้แก๊สชีวภาพโดยเฉลี่ย 3,087  
กิโลกรัม(แอล พี จี)/ปี เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือ เทคโนโลยี Plug  
Flow อัตราผลตอบแทน IRR เท่ากับ 6.61 % และระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 9.34 ปี

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ ขยะเศษอาหาร การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

THE STUDY OF APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR BIOGAS PRODUCTION:  
A CASE STUDY OF UNIVERSITY CAFETERIA FOOD WASTE



AN ABSTRACT  
BY  
KRITTAPAS SINGKIBUTR

Present in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Master of Science Degree in Engineering Management  
At Srinakharinwirot University

May 2011

Krittapas Singkibutr.(2011). *The Study of Appropriate Technology for Biogas Production from Food Waste Among Universities*. Master of Science: Graduate School, Srinakharinwirot University: Advisor Lecturer Dr.Witchakorn Charusiri, Assistant Professor Pathomthat Chiradeja

This research is the Study of Appropriate Technology of Biogas Production from Food Waste in Different Case Studies. The three different case studies are 1) Plug Flow system 2) CSTR 1-Stage 3) CSTR AMR system. The full capacity of all systems are 200 kilograms of food waste per day. This research studied appropriate technology and worthiness of Biogas Production from Food Waste to analyze financial feasibility and investment, cost-benefit analysis and investment decision criteria such as rate of return, cost of investment, cost of operation and maintenance cost, and opportunity cost of land. The benefits are biogas, fertilizer, and reducing odor. Including, saving energy and Environment by reducing of greenhouse Gas. The results for the study is Biogas Production from Food Waste operated at full capacity of 200 kilograms per day operated at 330 day(s)/year(s), project period 15 year(s), produced Biogas in average of 3,087 kilogram(s) per year. The best worth technology for economic aspect is Plug Flow with IRR of 6.61% and SPP of 9.34 years.

Key words: Biogas, Food Waste, Economic Feasibility Analysis

ปริญญาบัตร  
เรื่อง  
การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย  
ของ  
กฤษฎาภาส สิงคบุตร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)  
วันที่ ..... เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2554

คณะกรรมการควบคุมปริญญาบัตร

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน  
(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

..... ประธาน  
(อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธีกุล)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จเรียบร้อยได้ก็ด้วยความเสียสละ ความอนุเคราะห์ และน้ำใจจาก บุคคลหลายฝ่าย ตลอดจนถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุน การศึกษาและการทำวิจัยพร้อมทั้งสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ ที่ดูแล ระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี ที่ได้ให้ข้อมูล ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณในการกรุณาของท่านมา ณ.โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ทุกท่านคือ ดร.วิษชากร จารุศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้แนวคิด และช่วยตรวจแก้ไขใน ส่วนที่บกพร่องต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งเขียนวิทยานิพนธ์สำเร็จเป็นรูปเล่ม

ขอขอบพระคุณในความเอื้อเฟื้อของคุณชาติรี วัฒนศิลป์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้าน เอกสารคำแนะนำต่างๆในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิจัย และนางวิจินรัตน์ สิงคิบุตร ภรรยา ที่ให้ กำลังใจในการทำงานวิจัย รวมไปถึงเพื่อนและพี่ที่เรียนด้วยกันที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ การจัดการ ทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษาต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ กราบขอบพระคุณ แม่ไข สิงคิบุตร บุพการีผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัย

กฤตภาส สิงคิบุตร

## สารบัญ

บทที่	หน้า
<b>1 บทนำ</b> .....	1
ความเป็นมาและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
การประเมินศักยภาพ.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	5
เทคโนโลยี.....	5
ขยะเศษอาหาร.....	23
แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....	31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
<b>3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b> .....	45
การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ ขยะเศษอาหาร.....	45
การเก็บตัวอย่างของของเสียที่เข้าระบบและของเสียออกจากระบบ.....	45
เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ.....	45
การประเมินศักยภาพของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ อาหาร.....	46
การหาปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบเท่าก๊าซหุงต้ม(LPG).....	46
การหาปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า.....	46
การหาปริมาณปุ๋ยจากการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	46
แนวคิดเกี่ยวกับดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าโครงการ.....	47
การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์.....	48
การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ จากขยะเศษอาหาร.....	49
อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<b>4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล</b> .....	51
การประเมินเทคโนโลยี.....	51
การคำนวณหาผลผลิตก๊าซชีวภาพ.....	69
การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	70
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 1 .....	71
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 2 .....	76
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 3 .....	71
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 4 .....	86
<b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	93
สรุปผลการวิจัย.....	93
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	95
<b>บรรณานุกรม</b> .....	96
<b>ภาคผนวก</b> .....	99
ภาคผนวก ก.....	100
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	109
ภาคผนวก ง.....	122
<b>ประวัติย่อผู้วิจัย</b> .....	131

## บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 เงื่อนไขการออกแบบเทคโนโลยี.....	54
2 ถังหมักก๊าซชีวภาพ.....	55
3 ระบบเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ.....	56
4 เครื่องบดเศษอาหาร.....	56
5 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ.....	57
6 ระบบความปลอดภัย.....	57
7 เปรียบเทียบสัดส่วนการป้อนเศษอาหาร.....	58
8 เปรียบเทียบสัดส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	59
9 ผลวิเคราะห์ของเสียเข้าและของเสียออกจากระบบจากห้องปฏิบัติการ.....	60
10 ประสิทธิภาพการกำจัด COD.....	61
11 ประสิทธิภาพการกำจัด TS.....	63
12 ประสิทธิภาพการกำจัด VS.....	64
13 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	64
14 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ.....	66
15 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ.....	66
16 ปริมาณก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้ที่ทำการศึกษาคำนวณได้จากสมการที่ 3.1.....	69
17 การเกิดก๊าซชีวภาพเทียบ แอล พี จี และพลังงานไฟฟ้า.....	70
18 การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อปี วันทำงานของแต่ละเทคโนโลยี คิดเท่ากันคือ 330 วันต่อปี.....	70
19 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 1 ในปีแรก.....	71
20 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี ในกรณีที่ 1 ในปีแรก.....	71
21 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 1 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ.....	72
22 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 1 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ.....	72
23 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี Plug Flow กรณีที่ 1.....	73
24 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 1.....	74

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
25 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR กรณีที่ 1.....	75
26 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 2 ในปีแรก.....	76
27 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 1 ในปีแรก.....	76
28 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 2 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ....	77
29 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 2 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ.....	77
30 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี Plug Flow กรณีที่ 2.....	78
31 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 2.....	79
32 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR กรณีที่ 2.....	80
33 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 3 ในปีแรก.....	81
34 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 3 ในปีแรก.....	81
35 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 3 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ.....	82
36 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 3 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ.....	82
37 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี Plug Flow กรณีที่ 3.....	83
38 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 3.....	84
39 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR กรณีที่ 3.....	85
40 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 4 ในปีแรก.....	86
41 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 4 ในปีแรก.....	86
42 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 4 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ...	87

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
43 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 4 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ.....	87
44 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี Plug Flow กรณีที่ 4.....	88
45 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 4.....	89
46 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR กรณีที่ 4.....	90
47 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ เศษอาหารในกรณีที่ 1.....	91
48 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ เศษอาหารในกรณีที่ 2.....	91
49 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ เศษอาหารในกรณีที่ 3.....	91
50 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ เศษอาหารในกรณีที่ 4.....	92

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ อากาศ (Aerobic Digestion) .....	6
3 ภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบไม่ใช้อากาศ(Anaerobic Digestion) .....	7
4 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ.....	8
5 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น.....	11
6 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	12
7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ.....	14
8 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนผสมสมบูรณ์.....	16
9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์.....	18
10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี.....	19
11 ถังกวนผสม.....	20
12 สมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ.....	22
13 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ.....	23
14 แผนผังแหล่งกำเนิดและประเภทขยะมูลฝอย.....	26
15 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบบ่อหมักกราง (Plug Flow) .....	51
16 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์แบบ 1 ขั้นตอน (CSTR 1-Stage) .....	52
17 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์ Anaerobic Mixing Reactor (CSTR-AMR) .....	52
18 เปรียบเทียบสัดส่วนการป้อนเศษอาหาร.....	58
19 ประสิทธิภาพการกำจัด COD แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	61
20 ค่า TS ของเสียเข้าระบบ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	62
21 ค่า TS ของเสียออกจากระบบ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	62
22 ค่า pH ของของเสียเข้าระบบ.....	65
23 ค่า pH ของของเสียออกจากระบบ.....	65
24 สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	67
25 สัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	68
26 สัดส่วนไฮโดรเจนในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้.....	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ในการเดินทางติดต่อและผลิตสิ่งของอุปโภคบริโภคต่าง ๆ ซึ่งเมื่อประชากรมีจำนวนมากขึ้นความต้องการพลังงานก็เพิ่มขึ้นตาม ปัจจุบันปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานที่ประเทศประสบอยู่ส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในระดับมหภาค รัฐบาลได้มีแนวนโยบายในการลดและประหยัดการใช้พลังงานในทุกภาคส่วนซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาด้านพลังงานจากต่างประเทศและลดการสูญเสียเงินตราสู่ภายนอกประเทศได้ การผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียน (renewable energy) หรือพลังงานสีเขียวเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ไบโอดีเซล แก๊สโซฮอล์ และก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ลงทุนต่ำสามารถทำในระดับเล็กได้ โดยก๊าซชีวภาพนี้สามารถผลิตได้จากของเสียที่เป็นอินทรีย์สารต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่นอกจากจะได้พลังงานมาใช้แล้วยังเป็นการบำบัดของเสียช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไปด้วยพร้อม ๆ กัน

ปัจจุบันแนวโน้มราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ประเทศไทยต้องเร่งจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ทั้งนี้ภาครัฐมีนโยบายสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง สำหรับพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในประเทศไทย ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ก๊าซชีวภาพ ชยะเชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล และไบโอดีเซล)

พลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่กระทรวงพลังงานได้ให้ความสำคัญและสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นพลังงานทดแทนจากการใช้วัตถุดิบภายในประเทศและสามารถช่วยแก้ไขปัญหาลังแวดล้อมควบคู่กันไป สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในประเทศไทยในเดือนตุลาคม 2552 พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ก๊าซชีวภาพ ชยะ เชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอลและไบโอดีเซล) และก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 12.94 โดยเป็นการใช้ในรูปของพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งสามารถทดแทนการใช้พลังงานทั้งหมดได้ในสัดส่วนเพียงร้อยละ 9.29 (กลุ่มสถิติและข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานจึงควรมีการสนับสนุนการผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ

หน่วยงานของรัฐและเอกชนได้มีความพยายามในการผลิตเชื้อเพลิงอื่นมาใช้ทดแทน จึงได้เกิดมาตรการหลาย ๆ อย่างขึ้น

มาตรการ/แนวทางการส่งเสริมพลังงานทดแทน

1. กำหนดให้พลังงานเป็นวาระแห่งชาติ
2. ภาครัฐมีนโยบายสนับสนุนพลังงานทดแทนที่ต่อเนื่อง ได้แก่
  - 2.1 มีมาตรการส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถึงปี 2554
  - 2.2 มีมาตรการ ESCO Fund เพื่อส่งเสริมการลงทุนและประกันความเสี่ยง
  - 2.3 มีมาตรการสนับสนุนเงินลงทุนเพื่อช่วยลดภาระการลงทุนเริ่มแรกในเทคโนโลยี

พลังงาน ทดแทนรูปแบบใหม่ ๆ รวมถึงเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำสำหรับการลงทุนด้านพลังงานทดแทนใหม่ ๆ

2.4 มีมาตรการส่งเสริมการลงทุนตามสิทธิประโยชน์ BOI สำหรับการลงทุนด้านพลังงานทดแทน และการลงทุนอุตสาหกรรมผลิตเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน

2.5 มีการชดเชยราคาขายปลีกน้ำมันดีเซลและเบนซินที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำกว่าราคาขายปลีกน้ำมันดีเซลและเบนซินธรรมดา

3. ภาครัฐดำเนินการจัดหาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการขยายตัวของพลังงานทดแทน เช่น การขยายระบบสายส่ง คลังสำหรับสำรองเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น

4. มีการปรับปรุงกฎหมายหรือกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน เช่น พระราชบัญญัติร่วมทุน พระราชบัญญัติผังเมือง กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการการนำเข้า – ส่งออก น้ำมันปาล์มดิบ เป็นต้น

5. จัดสรรงบประมาณเพื่อใช้ในการวิจัย พัฒนา สาธิต ส่งเสริม รณรงค์ เผยแพร่และประชาสัมพันธ์ด้านพลังงานทดแทนภายใต้กรอบการดำเนินงานของแผน

6. สามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลพลังงานทดแทน เช่น ศักยภาพพลังงานลม แสงอาทิตย์ เป็นต้น

7. กำหนดให้มีมาตรฐานเทคโนโลยีและการผลิตพลังงานทดแทน

พลังงานขยะมูลฝอยจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญและประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่กำลังประสบกับปัญหาการจัดการมูลฝอยอันเป็นผลมาจากการใช้ทรัพยากรเพื่อการพัฒนาประเทศทางด้านเศรษฐกิจ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยตรง จึงจำเป็นต้องได้รับการเอาใจใส่ในการแก้ไขปัญหาอย่างจริงจังและต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนองค์ประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ในอัตราที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นโดยสามารถนำมูลฝอยจำพวก พลาสติก แก้ว กระดาษ โลหะ อลูมิเนียมมารีไซเคิลได้ร้อยละ 30 – 35 และนำขยะอินทรีย์หรือขยะมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น ของเสียจากเศษอาหาร เปลือกผลไม้ เศษใบไม้ ใบหญ้า จากการตัดแต่งสวนหย่อมมาหมักทำปุ๋ยหรือไบโอแก๊สได้ร้อยละ 45 – 60

สถาบันอุดมศึกษามีกิจกรรมด้านการเรียนการสอน การค้นคว้าวิจัยและเป็นที่พักอาศัย ของนักศึกษาและบุคลากร จากกิจกรรมดังกล่าวมีการนำสินค้าและบริการมาใช้เพื่อการอุปโภคและ บริโภคซึ่งก่อให้เกิดมูลฝอยประเภทต่าง ๆ ที่รอการกำจัด ปริมาณขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยมี ปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อมหาวิทยาลัยในการจัดการมูลฝอยที่ดี ที่ต้องสูญเสีย ค่าใช้จ่ายไปกับการรวบรวม เก็บขนและการขนส่งมูลฝอยไปกำจัดที่อาจต้องเพิ่มขึ้นในอนาคต ขยะ ประเภทเศษอาหารที่จำเป็นต้องมีการจัดการและบำบัดอย่างเหมาะสมเนื่องจากของเสียดังกล่าวใน ปัจจุบันได้ถูกนำไปรวมกับของเสียจากกิจกรรมอื่น ๆ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหากลิ่นเหม็น น้ำชะขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของเชื้อโรค รวมทั้งการปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน

แนวคิดการจัดการขยะของเสียที่แหล่งกำเนิด โดยเฉพาะการนำเศษอาหารจากโรงอาหาร ในสถานศึกษาที่มีจำนวนมากในแต่ละวัน จึงเป็นแนวคิดหลักที่สำคัญในการส่งเสริมให้เกิดการ จัดการของเสียเศษอาหาร โดยใช้เทคโนโลยีที่ผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่เหมาะสมใน สถานศึกษาด้านอัตราการป้อนปริมาณเศษอาหารที่เหมาะสมกับระบบและเทคโนโลยีเพื่อนำมา วิเคราะห์ความเหมาะสมของการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

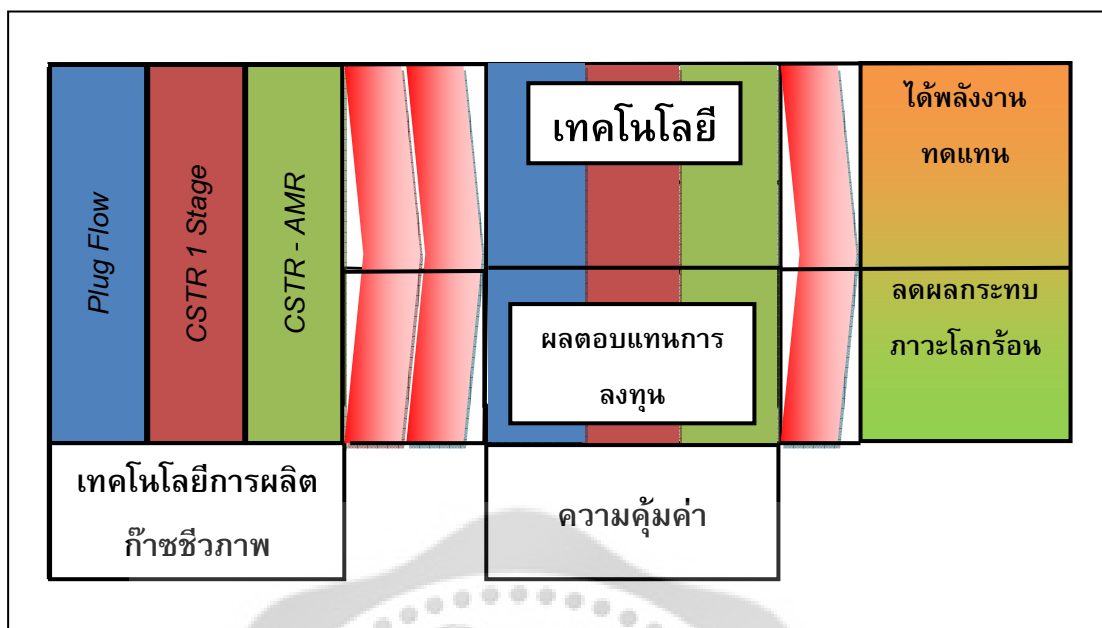
เพื่อศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน จากการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย 3 แห่ง คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดการวิจัย

ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในระบบที่มีเทคโนโลยี ขนาดและระยะเวลาเดินระบบที่มีความแตกต่างกันในด้านการผลิตพลังงานจากเศษอาหารในขนาด ต่าง ๆ กัน และมีผลต่อการลงทุนในแต่ละเทคโนโลยี



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจเลือกระบบเทคโนโลยีที่เหมาะสม ขนาดและปริมาณเศษอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในสถานศึกษา และได้รับข้อมูลเพื่อตัดสินใจด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ทฤษฎีเบื้องต้นของก๊าซชีวภาพ
2. ขยะเศษอาหาร
3. แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

ก๊าซชีวภาพ เป็นสสารที่อยู่ในรูปของก๊าซ เกิดจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิต ทั้งซากพืช ซากสัตว์และของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551: ออนไลน์) กระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติถ้ามีสภาพที่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้น

##### 2.1.1 องค์ประกอบของการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.1.1.1 สารอินทรีย์ – ซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรีย

2.1.1.2 แบคทีเรีย – แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กประเภทหนึ่ง แบคทีเรียมีทั้งกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต สำหรับแบคทีเรียที่เราจะกล่าวถึงซึ่งเป็นผู้ผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน

2.1.1.3 สิ่งแวดล้อมที่เป็นระบบปิด ไร้อากาศ

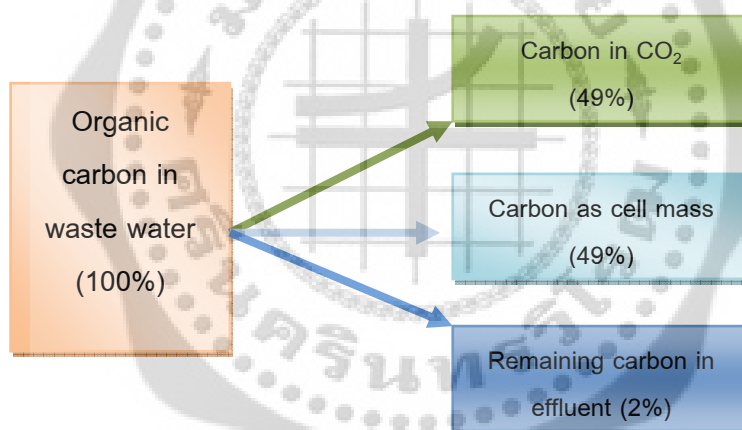
2.1.1.4 อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียแต่ละประเภท สภาพอากาศของเมืองไทยนับว่าเหมาะสมมากทุกฤดูกาล ในเกือบทุกพื้นที่ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยสารตั้งต้นของก๊าซชีวภาพ คือ สารอินทรีย์ที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียและของเสีย จะถูกแบคทีเรียหลายประเภทร่วมกันทำการย่อยสลาย โดยประมาณร้อยละ 80-90 ของสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) 50-70 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) 30-50 % ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และไอน้ำเป็นต้น ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อนประมาณ 21 เมกะจูลส์ต่อลูกบาศก์เมตรที่สัดส่วนของก๊าซมีเทน 60 %

สารอินทรีย์ + จุลินทรีย์ -----> เซลล์ + Carbondioxide + Methan + Ammonia + Hydrogen Sulfide

(มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2553: ออนไลน์)

### 2.1.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551: ออนไลน์)

สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นจำนวนมาก ซึ่งมีปฏิกริยาในการย่อยสลายคือ ข้อได้เปรียบของกระบวนการบำบัดแบบนี้คือระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการบำบัดสั้น แต่มีข้อเสียคือต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง เนื่องจากต้องมีการพ่นอากาศให้กับระบบ และยังต้องกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน นอกจากนี้กระบวนการบำบัดแบบนี้ไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก ๆ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการให้ออกซิเจนอย่างเพียงพอกับระบบ



ภาพประกอบ 2 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Digestion)

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2551): ออนไลน์

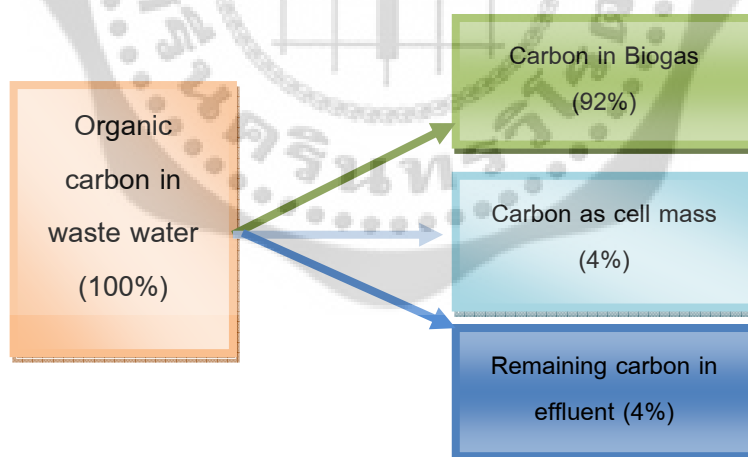
### 2.1.3 กลไกการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2551): ออนไลน์)

การย่อยทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายชนิด ในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จนกระทั่งได้ก๊าซชีวภาพ แบคทีเรียชนิดไม่ใช้อากาศหลายกลุ่มเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีวิธีการจำแนกหรือแบ่งกลุ่มได้หลายวิธี โดยในวิธีแรกอาจแบ่งตามลักษณะสภาวะการดำรงชีพของแบคทีเรียซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก ชนิดที่ 1 คือ แบคทีเรียที่

สามารถอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน ชนิดที่ 2 คือ แบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น ดังนั้นแบคทีเรียในกลุ่มนี้จึงไม่สามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือดำรงชีพอยู่ได้ หากระบบมีการละลายของออกซิเจนอิสระ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของแบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.1.3.1 แบคทีเรียชนิดสร้างกรด เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ

2.1.3.2 แบคทีเรียสร้างมีเทน เป็นแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้อากาศอย่างแท้จริง จะย่อยสลายพวกกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีการเจริญเติบโตได้ช้า โดยทั่วไปต้องการเวลากักเก็บตะกอนมากกว่า 4 วัน แบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรดและสร้างมีเทนจะต้องพึ่งพาซึ่งกันและกันแบคทีเรียกำจัดก๊าซซัลเฟต ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำเสีย โดยเป็นแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนซัลเฟตให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งนี้แบคทีเรียชนิดดังกล่าวจะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนๆ แต่ในขณะที่แบคทีเรียกำจัดซัลเฟตทำงานได้ดี จะส่งผลให้แบคทีเรียสร้างมีเทนลดการผลิตก๊าซมีเทนลง เนื่องจากช่วงความกรด-ด่างและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นในน้ำเสียที่มีซัลเฟตสูงจะต้องมีการปรับความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมอยู่เสมอ หรือทำการกำจัดซัลเฟตออกก่อนที่จะจ่ายน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551: ออนไลน์)

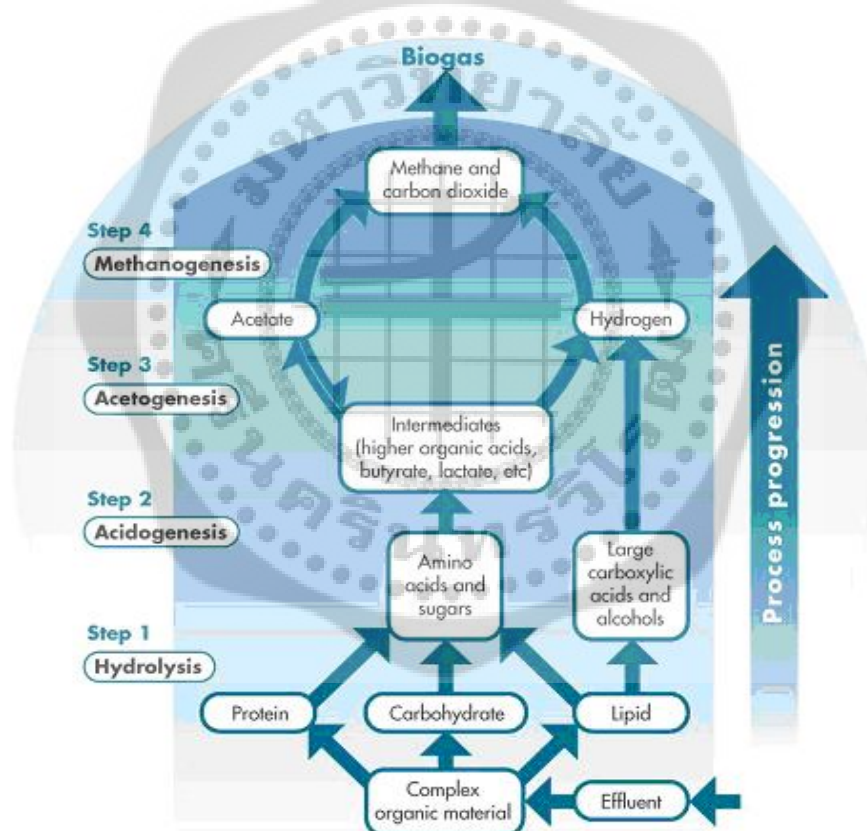


ภาพประกอบ 3 ภาพแสดงขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ(Anaerobic Digestion)

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2551): ออนไลน์

#### 2.1.4 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเนตเวิร์ค จำกัด. 2552: ออนไลน์)

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจะเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและสารละลาย กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน โดยอาจแบ่งขั้นตอนในการย่อยสลายได้เป็นสองระดับตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายคือการย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน และการย่อยสลายแบบที่มีการสร้างก๊าซมีเทน การย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน ในกระบวนการการสร้างมีเทนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการเปลี่ยนโมเลกุลขนาดใหญ่ของสารอินทรีย์จำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลงจนถึงขั้นของกรดไขมันระเหยง่ายขนาดเล็กเช่น กรดอะซิติก ซึ่งขั้นตอนนี้เรียกรวมกันว่าเป็นขั้นตอนการสร้างกรดโดยกลไกการสร้างกรดแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือกระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์และกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์



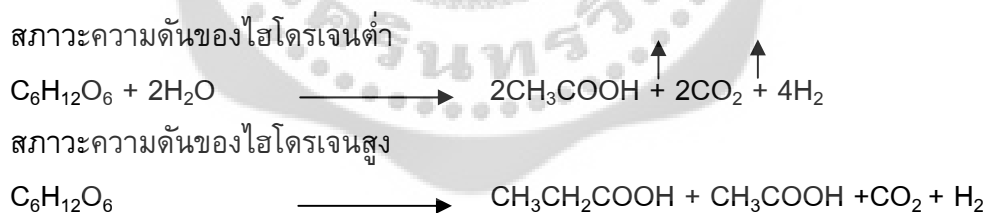
ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเนตเวิร์ค จำกัด. (2552): ออนไลน์

การย่อยสลายภายนอกเซลล์ ได้แก่ขั้นตอนที่ 1 สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย และ

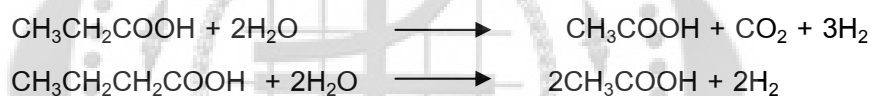
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอมไซม์ อุณหภูมิและการสัมผัสระหว่างเอมไซม์กับสารอินทรีย์ หลังจากเกิดกระบวนการย่อยสลายภายนอกเซลล์ การย่อยสลายก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการย่อยสลายภายในเซลล์ ซึ่งได้แก่ขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ในภาพที่ 3 โดยในขั้นตอนที่ 2 หรือการเกิดกระบวนการ เกิดกรด การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนนี้แรกเป็นสารตั้งต้น สำหรับแบคทีเรียประเภทสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหารดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก กรดไพรูวอิก กรดวาเลอริก และกรดแลคติก โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีส่วนของกรดอะซิติกสูงสุดและมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เป็นผลสืบเนื่องมาจากการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรีย หลายสายพันธุ์ กรณีที่กลุ่มของแบคทีเรียสร้างกรดมีการสร้างกรดมากเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาที่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวม เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนจะถูกยับยั้งการทำงาน เนื่องจากกรดที่มากเกินไปให้ค่ากรดต่าง ของระบบลดลงและส่งผลกระทบต่อการทำงานของกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ สำหรับแบคทีเรียในขั้นตอนการสร้างกรด คือแบคทีเรียในกลุ่มของ ไมโครอานา หรือ แบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้อีกด้วย

การกำหนดชนิดของผลผลิตในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ชนิดของสารตั้งต้นซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 1 และความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจน เช่น ในการย่อยสลายของกลูโคสในสภาวะที่ความดันของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าต่ำ ผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าในสภาวะที่มีความดันย่อยของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าสูง ผลผลิตที่ได้จะอยู่ในรูปของกรดอะซิติก กรดไพรูวอิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน



สำหรับการเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 3 หรือการเกิดกระบวนการ กรดอินทรีย์ระเหยเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนต้องการสารอาหารที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง โดยสารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประกอบไปด้วย กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมธิลามีน ไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมเกินกว่าสองอะตอม เช่น กรดไพรูวอิก กรดบิวทิริก เป็นสารอาหารในการผลิตก๊าซมีเทนโดยตรงได้ ดังนั้นในกรณีที่กรดไขมันระเหยง่าย ที่สร้างขึ้นยังอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของแบคทีเรีย จำเป็นที่จะต้องทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้มีอะตอมของคาร์บอนที่ลดลง เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปได้ ขั้นตอนที่

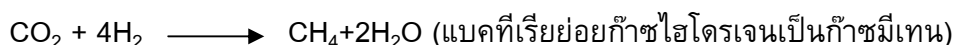
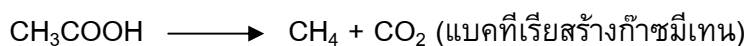
4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจาก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน โดยคิดเป็น 70% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8-7.2 อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิสและการสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน แบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้เป็นกรดอะซิติก ได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างไฮโดรเจน ผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีในภายใต้สภาวะ ความดันย่อยไฮโดรเจนต่ำ ดังสมการ



นอกจากการสร้างกรดด้วยกระบวนการทั้งสองชนิดแล้ว ยังพบว่ามีแบคทีเรียบางกลุ่มที่สามารถสร้างกรดอะซิติกได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ



กระบวนการย่อยสลายที่มีการสร้างมีเทน กระบวนการนี้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนที่ 4 เรียกว่ากระบวนการย่อยสลายเกิดก๊าซมีเทนโดยที่กรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนเกิดจากขั้นตอนการสร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซมีเทน การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรกคือเกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนนี้มีปริมาณเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซมีเทนสามารถเกิดขึ้นได้ในระบบ และอีกส่วนหนึ่งจะเกิดจากการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียประเภทสร้างก๊าซมีเทน ดังสมการ

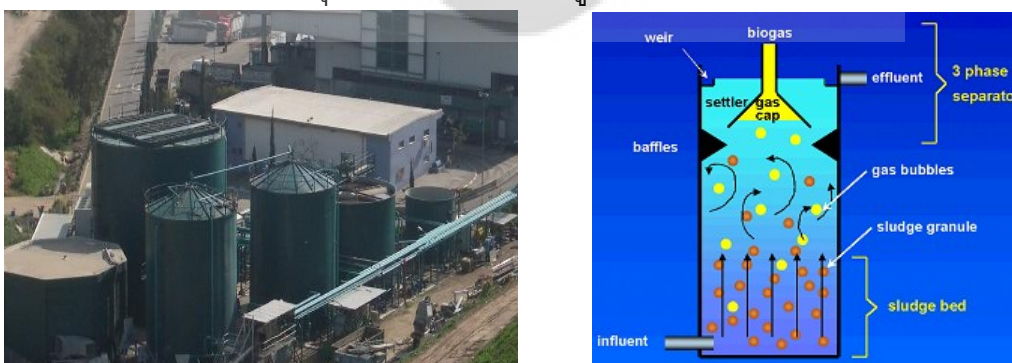


แบคทีเรียสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้แคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.8 - 7.2 และแบคทีเรียในกลุ่มที่มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ หรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่ต่ำ ต้องการสารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาของกลุ่มของแบคทีเรียที่อยู่ร่วมกันในระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลัก ในการควบคุมความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตช้าที่สุด และมีข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมของระบบมากกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆ

#### 2.1.5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (ชาตรี วัฒนศิลป์, 2553: 35)

ก๊าซชีวภาพที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาเป็นระบบที่มีการใช้งานภายในประเทศไทยโดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ทั้งหมด มี 5 แบบ ตามรายละเอียดดังนี้

2.1.5.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น (Upflow anaerobic Sludge Blanket: UASB) การทำงานคือชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น หรือระบบยูเอเอสบี เป็นระบบหนึ่งของระบบบำบัดทางชีววิทยาที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีการพัฒนาให้เกาะตัวกันในลักษณะเป็นเม็ดตะกอน ระบบนี้อาศัยการกวนผสมที่เกิดจากการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน และการกวนผสมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมการย่อยสลายเป็นสำคัญโดยตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำเสียด้วยอุปกรณ์แยก ของแข็ง ของเหลว ก๊าซ หรือ ทำให้สามารถรักษาจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไว้ในระบบได้ แสดงดังภาพที่ 4

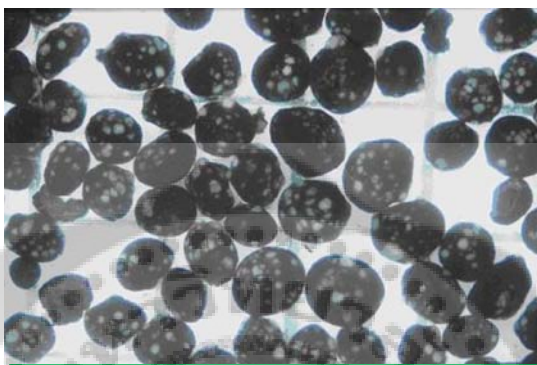


ภาพประกอบ 5 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น

ที่มา: Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co, Ltd, (2005): Online

### 1) การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น

ระบบการไหลขึ้น เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ จากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ขึ้นสู่ด้านบน โดยหัวใจสำคัญของระบบการไหลขึ้นอย่างหนึ่งคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะแขวนลอย ซึ่งอาศัยการยึดเกาะกันเองของจุลินทรีย์ หรือเรียกได้ว่าเม็ดตะกอน จุลินทรีย์ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพประกอบ 6 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ที่มา: Anaerobic Granules; source: Online

จากคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของถังหมักไร้อากาศแบบการไหลขึ้น ทำให้สามารถแบ่งส่วนประกอบภายในถังหมักได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นถังปฏิกริยาพร้อมด้วยระบบกระจายน้ำเสียซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างของถังและส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซบริเวณด้านบน โดยมีกลไกและลักษณะการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาจะอยู่ทางด้านล่างของถังซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ การไหลของน้ำเสียในถังจะเป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน มีการป้อนน้ำเสียจะป้อนเข้าทางด้านล่างของถังหมักผ่านทางระบบการกระจายน้ำเสีย ซึ่งการกระจายน้ำเข้าถังจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของถัง การเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในถังหมักจะควบคุมให้ตะกอนสะสมเป็นชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่น น้ำเสียที่ต้องการบำบัดจะไหลผ่านชั้นตะกอนแบคทีเรียในชั้นตะกอนซึ่งอยู่กันอย่างหนาแน่นจะเกิดการรวมกันเป็นเม็ด โดยเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูงจะจมตัวอยู่ด้านล่าง มีการจัดเรียงตัวจากขนาดใหญ่ขึ้นไปหาเล็กเหมือนชั้นทรายกรอง ส่วนกลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความเร็วในการจมตัวต่ำกว่าฟุ้งกระจายขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนแขวนลอย โดยฟองก๊าซที่เกิดขึ้นและการไหลของน้ำที่เข้ามาทางด้านล่างของถังจะช่วยทำให้เกิดการผสมขึ้นส่วนตกตะกอนและแยกก๊าซ เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและลดปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง และทำหน้าที่รวบรวมก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ น้ำเสียและแบคทีเรียในรูปตะกอนแขวนลอยไว้ด้านบนของถังซึ่งจะเรียกว่า

เป็นอุปกรณ์ แยกก๊าซโดยการออกแบบหลายลักษณะตามขนาดและรูปร่างของถังปฏิกิริยา แต่ใช้หลักการออกแบบเดียวกันคือ แยกน้ำกับก๊าซโดยอาศัยหลักการที่ว่าน้ำสามารถไหลเร็วกว่าไปมาได้ ในขณะที่ก๊าซมีการลอยตัวจากด้านล่างขึ้นสูงด้านบนเป็นเส้นตรงเท่านั้น ยกเว้นมีสิ่งกีดขวางหรือแผ่นปะทะใดๆ มาเปลี่ยนทิศทางการลอยตัวขึ้น หลังจากผ่านพื้นสิ่งกีดขวางนั้นแล้วก็จะลอยตัวเป็นเส้นตรงดังเดิม จึงออกแบบและติดตั้งแผ่นปะทะเพื่อขวางทิศทางการไหล ทำให้น้ำและก๊าซมาปะทะแล้วเบี่ยงเบนการไหลของน้ำและก๊าซออกจากกัน แยกตะกอนออกจากน้ำโดยทำให้เกิดการตกตะกอนของตะกอนแบคทีเรียที่ไหลขึ้นมา การแยกตะกอนจะเกิดในส่วนบนสุดของถัง โดยในส่วนนี้จะไม่มีการกักเก็บ มีความปั่นป่วนต่ำ สามารถแยกน้ำและตะกอนได้โดยง่าย ดังนั้น อุปกรณ์แยกก๊าซจึงต้องมีพื้นที่ส่วนที่เป็นน้ำนิ่งเพียงพอที่ตะกอนจะตกกลับมายังถังปฏิกิริยาได้

## 2) ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบการไหลขึ้น

(ชาติรี วัฒนศิลป์, 2553: 38)

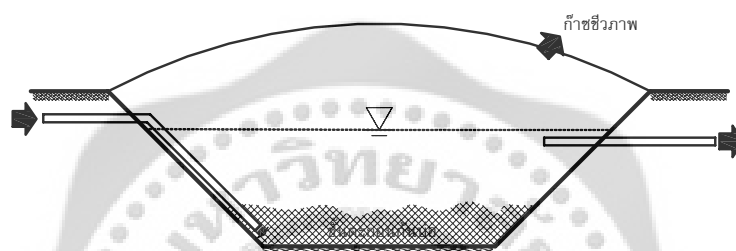
ข้อดี คือ มีความต้องการพลังงานต่ำ เนื่องจากไม่มีการเติมอากาศต้องใช้สารตัวกลางสำหรับให้แบคทีเรียเกาะ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง มีการเกิดตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินน้อย เนื่องจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศมีอัตรา การเจริญเติบโตต่ำกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศ สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำเสีย ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 2 - 10 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตร น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีของแข็งแขวนลอยต่ำในการเดินระบบมีการใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นต่าง และพีเอชของน้ำเข้า และสามารถหยุดระบบได้ทันทีที่ต้องการและพร้อมจะทำงานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพดังเดิมในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์

ข้อจำกัด ของระบบต้องการอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการกวนผสมน้ำเสียกับแบคทีเรียภายในระบบ ต้องเลี้ยงแบคทีเรียให้จับตัวเป็นเม็ด มิฉะนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลง ต้องพยายามรักษาตะกอนของแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม และควบคุมการล้างออก คือเป็นสภาวะที่ตะกอนเบาหลุดออกจากระบบอย่างมาก ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบค่อนข้างนานโดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3-6 เดือน ในกรณีที่ไม่มีตะกอนเม็ดเป็นตะกอนหัวเชื้อ แบคทีเรียโดยเฉพาะพวกผลิตมีเทน มีความสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงสภาวะเหมาะสมที่แคบ เช่น พีเอช 6.8-7.2 จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมค่าพีเอชที่ดีมีประสิทธิภาพ

### 2.1.5.2 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ (บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเน็ทเวอร์ค จำกัด, 2552: ออนไลน์)

เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาจากระบบบำบัดน้ำเสียดั้งเดิมแบบบ่อเปิด โดยเพื่อให้สามารถใส่ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายได้จึงทำการปิดคลุมบ่อด้วยพลาสติก ระบบนี้ได้รับความนิยมมากในประเทศไทย โดยสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 แบบตามลักษณะการคลุมบ่อคือบ่อปิดไม่ใช้อากาศแบบคลุมเฉพาะส่วน และบ่อปิดไม่ใช้อากาศแบบคลุมทั้งบ่อ แสดงดังภาพที่ 2.6 ระบบบ่อปิดแบบคลุมบ่อดังกล่าว เป็นระบบที่ต้นทุนการก่อสร้างต่ำไม่ต้องดูแลมาก มักนิยมใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีการเลี้ยงเป็นระบบที่มีการล้างคอกปศุสัตว์แบบฉีดล้างทำ

ให้ปริมาณของแข็งที่ออกมากับน้ำทิ้งมีปริมาณต่ำคือ น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งช่วยลดปัญหาการอุดตันในบ่อหมัก โดยบ่อดังกล่าวอาจดัดแปลงมาจากบ่อกักเก็บของเสียที่มีอยู่แล้วหรือขุดขึ้นมาใหม่



ภาพประกอบ 7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ

ที่มา: เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียและของเสียอินทรีย์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553): ออนไลน์

#### 1) การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ

โดยน้ำเสียจะถูกบ่อน้ำเข้าสู่ระบบด้านหนึ่งและไหลออกด้านตรงข้าม เพื่อให้ระยะเวลาที่น้ำเสียหรือระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในบ่อนานที่สุด โดยเมื่อน้ำเสียถูกบ่อน้ำเข้าสู่ระบบจุลินทรีย์ซึ่งแขวนลอยจะสัมผัสกับน้ำเสียและใช้สารอาหารจากน้ำเสียในการเจริญเติบโต ระบบก๊าซชีวภาพแบบบ่อปิดไม่ใช่อากาศเป็นระบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนทั้งการก่อสร้างและเดินระบบ โดยทั่วไปบ่อปิดประกอบด้วย ระบบรางน้ำเสีย บ่อรวบรวมน้ำเสีย ตะแกรงหยาบ บ่อตกตะกอน ชั้นต้น บ่อปิดไม่ใช่อากาศ แสดงดังภาพที่ 7

1.1) มีระบบแยกของแข็ง เช่น เศษไม้ หิน ดิน ทราย ที่ย่อยสลายยากหรือไม่ย่อยสลายออกจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการอุดตันในระบบท่อและการทับถมของของแข็งในบ่อบำบัดและทำให้ปริมาณไรซ์งานของบ่อลดลง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

1.2) ระบบรางขนส่งน้ำเสียนั้น มีการออกแบบให้แยกกันระหว่างน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกับน้ำอื่นๆ เช่น น้ำฝน หรือน้ำล้างที่ไม่มีความสกปรกหรือมีน้อย ทั้งนี้เพื่อลดภาระ ของระบบบำบัดน้ำเสีย

1.3) การเลือกใช้วัสดุในการต่อท่อเก็บก๊าซ ตลอดจนตัวบ่อบำบัด เป็นวัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ โดยอาจเป็นโลหะที่มีการเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อน หรือคอนกรีต

1.4) จุดป้อนอาหารกับจุดที่น้ำเสียไหลออกจากระบบ ควรอยู่ห่างกันมากที่สุด เพื่อให้น้ำเสียมีเวลาบำบัดนานที่สุดก่อนปล่อยออกจากระบบ

1.5) บ่อบำบัดน้ำเสียนั้นอาจมีความจำเป็นในบางฟาร์ม เพื่อพักน้ำเสีย ให้มีสมบัติคงที่ก่อนป้อน เข้าสู่ระบบถึงหมักต่อไป

1.6) ในการเลือกใช้วัสดุคลุมบ่อ ต้องเลือกวัสดุที่เหมาะสมโดย พิจารณาทั้งในแง่น้ำหนักของวัสดุ ความคงทนต่อการขยายตัว ตลอดจนความคงทนต่อแรงดึง

1.7) โดยทั่วไประบบบ่อบำบัดแบบไม่ใช้อากาศนี้มักใช้เวลาในการ บำบัดนานและใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากกว่าระบบอื่นๆ ตลอดจนมีรับภาระบรรทุกระบบการอินทรีย์ได้ ต่ำโดยถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่สูงนักเมื่อเทียบกับระบบบำบัดอื่นๆ แต่ก็ยังเป็นระบบ ที่ดูแลรักษาง่ายมีต้นทุนก่อสร้างต่ำและค่าดำเนินการต่ำกว่าระบบอื่นๆ

1) ข้อดีและข้อจำกัดของระบบก๊าซชีวภาพแบบปิดคลุมบ่อ  
(บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเนตเวอรัค จำกัด. 2552: ออนไลน์)

ข้อดี ก่อสร้างได้ง่ายและประหยัดค่าก่อสร้าง ไม่ต้องมีอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเติมในบ่อ ระบบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกระบบการอินทรีย์หรือสารพิษ เนื่องจากระบบมีขนาดความจุมากและมีเวลากักเก็บตะกอนนาน ประสิทธิภาพในการบำบัดของ ระบบสูง สามารถสร้างบ่อในลักษณะบ่อนุกรมได้ ต้องการการดูแลรักษาน้อย

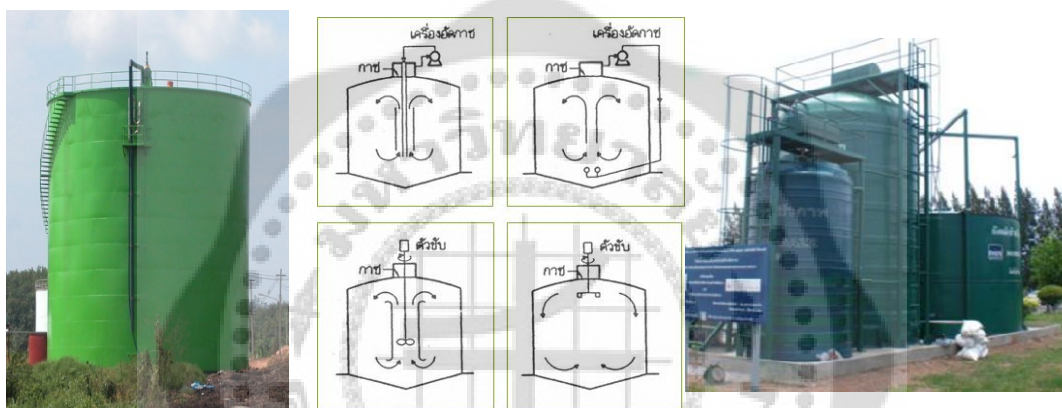
ข้อจำกัด การกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียเข้าในบ่อ ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ การควบคุมระบบทำได้ยาก เนื่องจากอาจเกิดการไหลลัดทางได้ หากการ กวนผสมไม่ดีต้องการพื้นที่มากจึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีราคาที่ดินสูง อาจมีการซึมของน้ำเสียในบ่อ ลงสู่ใต้ดิน กรณีที่ก๊าซชีวภาพยังไม่เกิดจะมีปัญหาเกี่ยวกับการท่วมขังของน้ำบนผ้าพลาสติกคลุม บ่อ ซึ่งต้องมีการสูบน้ำออก

2.1.5.3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์  
(บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเนตเวอรัค จำกัด. 2552: ออนไลน์)

ระบบแบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศ เป็นการเรียกตามลักษณะ ของสสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็น ถังปฏิกรณ์อุดมคติ แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดประเภทหนึ่ง ด้วย โดยถังกวนสมบูรณ์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากถังย่อยสลายซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการ กวนผสมไม่ดี ทำให้ระยะเวลาย่อยสลายยาวนาน

### 1) การทำงานของระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียและจากถังย่อยสลาย โดยมีการติดตั้งใบกวน เช่น แบบสกรู ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และ สารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียดีขึ้น ถังปฏิกรณ์ แบบนี้ระยะเวลาที่เก็บของแข็ง เท่ากับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย ทำให้ถังปฏิกรณ์จะมีขนาดใหญ่หากของเสียหรือน้ำเสียที่เป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยาก ใช้เวลานาน จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง มีสารแขวนลอยสูง หรือแม้กระทั่งมีสารพิษปนอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลา ทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น แสดงการทำงานของระบบดังภาพที่ 7



ภาพประกอบ 8 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์

ที่มา: บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเน็ทเวอร์ค จำกัด. (2552): ออนไลน์

### 2) ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์

(บริษัท กรีนเอ็นเนอร์ยีเน็ทเวอร์ค จำกัด. 2552: ออนไลน์)

**ข้อดี** รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี มีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี ดังนั้นถังปฏิกรณ์แบบนี้จึงเหมาะกับหรือของเสีย เช่น มูลสัตว์ เนื่องจากในมูลสัตว์มีจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศอยู่แล้วนั่นเอง

**ข้อจำกัด** ต้องการพลังงานในการกวนผสม น้ำเสียกับแบคทีเรียภายในถังหมักเพื่อการผสมที่ดี ยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียขาออกอยู่ในเกณฑ์สูง ในการกวนที่มากเกินไปความเหมาะสมอาจทำให้มีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงได้ ปัญหาคุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบ ไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอาหารภายในถัง ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์แบบถังกวนสมบูรณ์มักยังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่ ไม่สามารถปล่อยทิ้งได้

โดยตรง ทำให้ยังคงต้องทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดขั้นหลังต่อไป

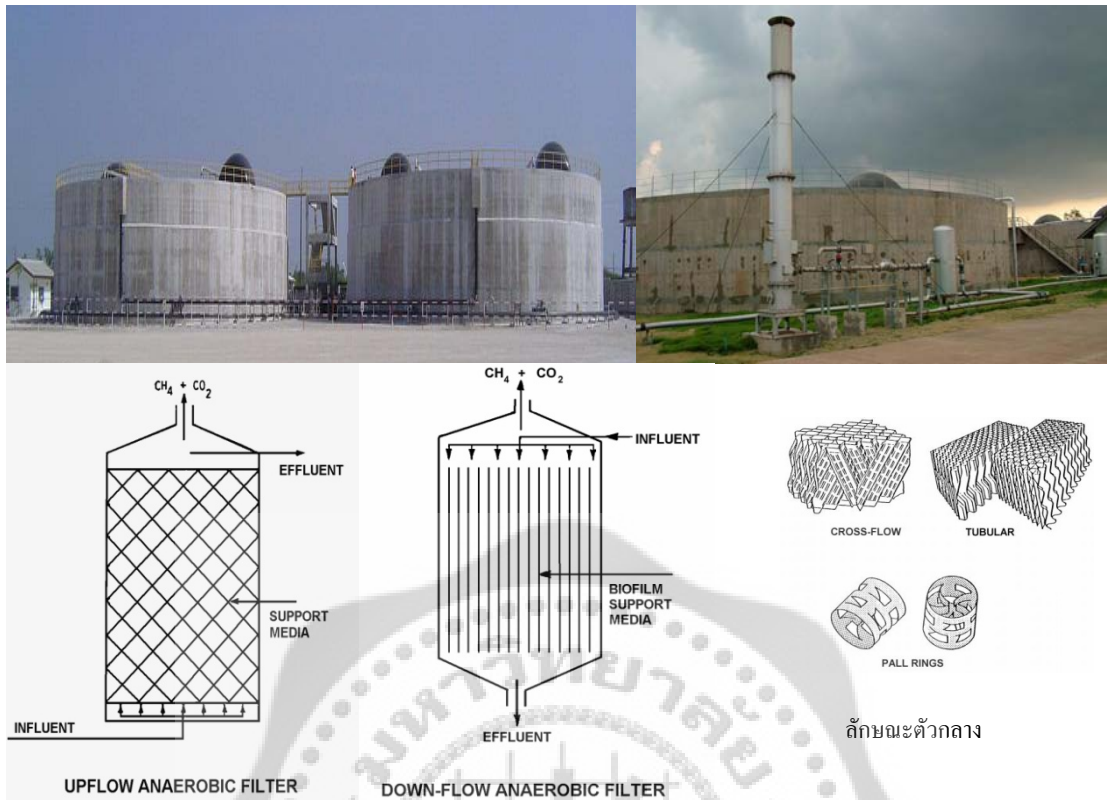
#### 2.1.5.4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์

(ชาติรี วัฒนศิลป์. 2553: 43)

ถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มมีลักษณะเด่นที่มีการบรรจุวัสดุตัวกลางอย่างเป็นระเบียบมีระยะห่าง มีการไหลของน้ำเสียสม่ำเสมอ โดยวัสดุตัวกลางที่ใช้เช่น เชือกไคนลอน ตาข่าย ตะแกรง ตะกร้อ เป็นต้น โดยการบรรจุวัสดุตัวกลางลักษณะนี้ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตแบบ ยึดเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ไร้อากาศมีทั้งที่เจริญเติบโตแบบยึดเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง แต่ส่วนใหญ่เจริญเติบโตแบบแขวนลอยอยู่ในสารละลายระหว่างช่องว่างของวัสดุตัวกลาง

##### 1) การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์

เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียจะไหลผ่านชั้นจุลินทรีย์คล้ายการกรองจึงเรียกถังแบบนี้ว่า ถังกรองไร้อากาศ นอกจากนี้การจัดเรียงวัสดุที่แตกต่างกันยังส่งผลถึงการทำงานและเสถียรภาพของระบบในระยะยาวด้วย ระบบนี้อาจมีการป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ หรือป้อนจากด้านบน โดยระบบที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือระบบที่ป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เนื่องจากลดปัญหาการอุดตันลงได้มาก แสดงดังภาพที่ 9 ระบบตรึงฟิล์มนี้เริ่มทำงานโดยน้ำเสียจะถูกป้อนเข้าระบบ(มีทั้งจากด้านล่างขึ้นด้านบนและจากด้านบนลงล่าง) ผ่านท่อกระจายน้ำเสีย และ ไหลผ่านชั้นจุลินทรีย์ซึ่งยึดเกาะอยู่บนผิววัสดุตัวกลางเมื่อน้ำเสียไหลผ่านสัมผัสกับจุลินทรีย์ จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหารและ เกิดก๊าซชีวภาพไหลขึ้นทางด้านบนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนด้วยถังกรองไม่ใช้อากาศสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยและสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ โดยการดั่งสารอินทรีย์ เข้ามาใกล้ผิวแบคทีเรียที่เกาะติดอยู่บนผิวตัวกลางนอกจากนี้อาจมีแบคทีเรียบางส่วน อาศัยการเกาะติดบนผนังของถังปฏิกรณ์ตัวกลางที่ใช้ในระบบถังกรองไม่ใช้อากาศ สามารถใช้ได้หลายแบบ เช่น กรวด หิน โฟม พลาสติก เป็นต้น โดยตัวกลางที่ดีจะต้องมีพื้นที่ผิวสูงเพราะทำให้มีบริเวณที่ให้แบคทีเรียอาศัยได้มาก ปกติตัวกลางที่ใช้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ อยู่ในช่วง 90-300 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร-ปริมาตรตัวกลาง ในช่วงแรกแบคทีเรียจะเป็นชนิดที่เกาะติด บนตัวกลางอย่างเดียว เมื่อระบบเดินไปได้ระยะหนึ่งจะมีแบคทีเรียที่หลุดและเติบโตอยู่ในช่องว่างของตัวกลางในลักษณะแขวนลอย ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวกลางจะมีความสำคัญน้อยกว่าความสามารถในการรักษาตะกอนเหล่านี้ไว้



ภาพประกอบ 9 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์

ที่มา: เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียและของเสียอินทรีย์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553): ออนไลน์

2) ข้อดี และ ข้อจำกัดของระบบก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (ชาติรี วัฒนศิลป์. 2553: 44)

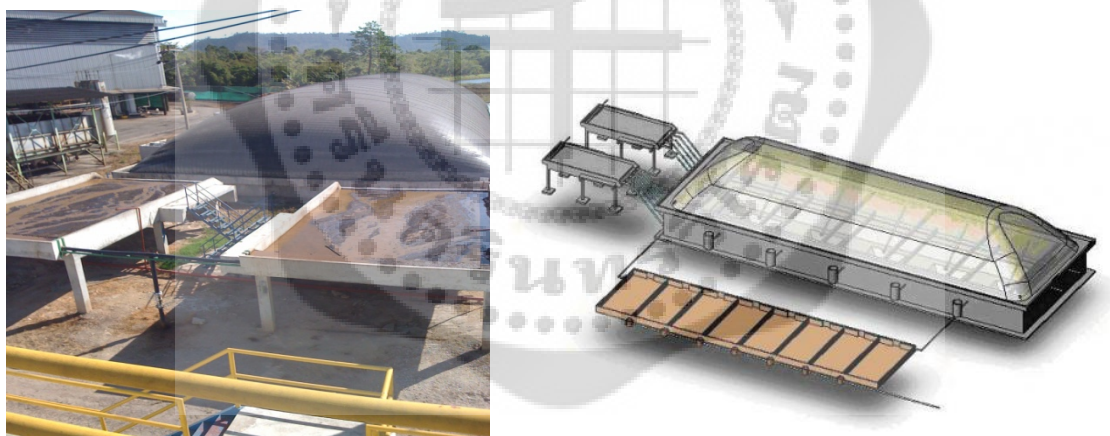
ข้อดี ระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี และสามารถรองรับชนิดน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน เช่น กรด-ด่าง ความเข้มข้นของสารอาหารและน้ำเสียที่มีสารที่เป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเปลี่ยนแปลงปริมาณขึ้นลงกะทันหัน ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบซึ่งยึดเกาะอยู่บนวัสดุตัวกลางอย่างแน่นหนา ทำให้ไม่ถูกหลุดออกนอกถังปฏิกรณ์ได้ง่ายเหมือนระบบจุลินทรีย์แขวนลอย นอกจากนี้ฟิล์มจุลินทรีย์เหล่านี้ยังความสามารถในการทนต่อสารพิษ เนื่องจากสารพิษต่างๆจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ชั้นในซึ่งทนพิษได้ดีกว่าได้ยาก ทำให้ระบบยังคงทำงานอยู่ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าระบบจุลินทรีย์ยึดเกาะนี้สามารถเริ่มการทำงานได้ใหม่ ภายหลังจากที่ระบบล้มเหลวได้เร็วกว่าระบบจุลินทรีย์แขวนลอย

ข้อจำกัด ของระบบนี้ยังคงอยู่ที่ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากค่าวัสดุตัวกลางที่ใช้และในระบบที่มีขนาดใหญ่ การติดตั้งตัวกลางอย่างเป็นระบบจำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีฝีมือค่าใช้จ่ายจึงสูง นอกจากนี้ระบบที่ใช้วัสดุตัวกลางแบบไม่สม่ำเสมอก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องการอุดตันและเกิดการไหลล้นวงจร ของน้ำเสียด้วย

#### 2.1.5.5 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี

(ชาติรี วัฒนศิลป์. 2553: 45)

เป็นระบบก๊าซชีวภาพที่มุ่งเน้นในการแก้ปัญหาของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดปัญหาของระบบในหลายๆเรื่อง เช่น การเกิดผลึก การสะสมตัวของตะกอนที่ก้นบ่อ และไม่สามารถดึงออกได้ ขนาดของระบบและพื้นที่เก็บก๊าซเป็นต้น จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีจากระบบที่มีอยู่เดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเป็นระบบผสมรวมเทคโนโลยี อย่างเช่น นำเอาข้อดีของระบบกวนสมบูรณ์มาสร้างความปั่นป่วนทำให้โอกาสในการสัมผัสของสารอินทรีย์และแบคทีเรียเกิดได้มาก และระบบการไหลขึ้นมา ช่วยในการรักษาปริมาณเชื้อให้อยู่ในระบบได้ดี นอกจากนี้ยังมีการหมุนเวียนเชื้อที่ทำงานได้ดีในระบบอีกด้วย แสดงดังภาพที่ 9

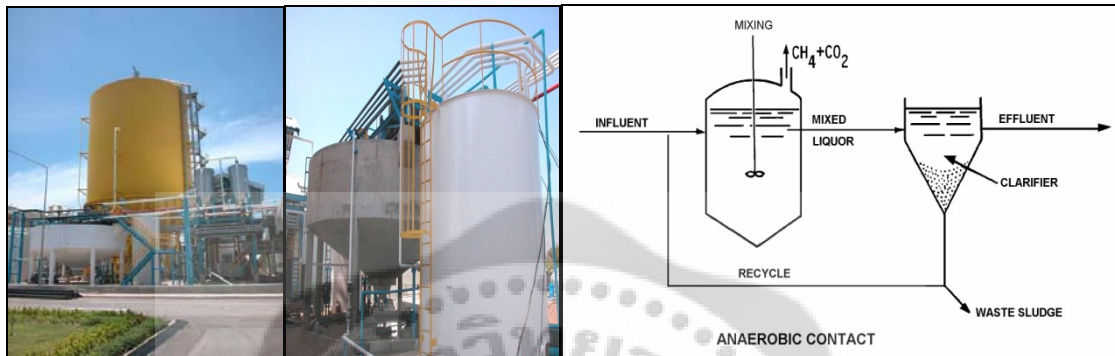


ภาพประกอบ 10 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี

ที่มา: เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียและของเสียอินทรีย์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553): ออนไลน์

- 1) การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีการผสมเทคโนโลยีระหว่างแบบการไหลขึ้นกับ แบบกวนสมบูรณ์ เป็นระบบที่มีการดัดแปลงมาจากถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ โดยมีการ

เพิ่มส่วนของถังตกตะกอนลงไป จึงทำให้ระบบมีลักษณะเหมือนกับถังปฏิกิริยาแบบตะกอนเร่ง จนบางครั้งมีผู้เรียกกันว่าเป็นระบบตะกอนเร่งแบบไม่ใช้อากาศ โดยทำการหมุนเวียนตะกอนเพื่อเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนให้นานขึ้น ซึ่งทำให้ถังปฏิกิริยาแบบนี้ทำงานได้ดีกว่าแบบกวนผสมธรรมดา อย่างไรก็ตามหากตะกอนภายในถังอยู่ในสภาวะที่ตกตะกอนได้ยาก อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์หรือเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอน แสดงดังภาพที่ 11



ภาพประกอบ 11 ถังกวนผสม

ที่มา: เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียและของเสียอินทรีย์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553): ออนไลน์

มีการกวนผสมและการรักษาตะกอนแบคทีเรียให้อยู่ในระบบได้นานขึ้นและมีการคัดเลือกตะกอนที่มีประสิทธิภาพเก็บไว้ในระบบ โดยใช้การหมุนเวียนตะกอนที่หลุดไปกับน้ำเสียกลับเข้ามาในระบบ การยัดตรงแบคทีเรียไว้กับตัวกลาง หรือการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจะทำให้ตะกอนมีความสามารถในการย่อยสลายได้เร็วขึ้น เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีอัตราการย่อยสลายสูงอาจแบ่งโดยอาศัยรูปแบบของการเลี้ยงแบคทีเรียภายในถังได้เป็นสามประเภทคือ

1) แบบเชื้อแขวนลอย เป็นระบบที่มีการกวนผสมเพื่อให้แบคทีเรียผสมกับน้ำเสียให้ทั่วถึง โดยระบบประเภทนี้อาจจำเป็นต้องมีถังตกตะกอน เพื่อแยกน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากตะกอนเชื้อแบคทีเรีย และหมุนเวียนตะกอนกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

2) ถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้อากาศที่มีการเลี้ยงเชื้อแขวนลอย โดยจะมีเครื่องกวนเพื่อให้แบคทีเรียและน้ำเสียที่เข้ามาผสมกันได้อย่างทั่วถึง เพื่อไม่ให้เกิดการไหลลัดทางหรือมีบริเวณที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์ ถังปฏิกิริยาแบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง การกวนผสมกันอย่างทั่วถึงทั้งถัง จะช่วยลดความรุนแรงของสารพิษที่อาจหลุดเข้ามาในระบบได้ เนื่องจากการเจือจางกับน้ำที่มีอยู่ในถัง นอกจากนี้ระบบถังกวนแบบผสม ยังไม่ต้องให้ความสำคัญกับคุณสมบัติในการตกตะกอนของตะกอนภายในถัง แต่อย่างไรก็ตามการที่ระบบมีเวลาเก็บกัก

ตะกอนเท่ากับเวลากักเก็บน้ำ ทำให้มีความสามารถในการรับสารอินทรีย์ได้ต่ำเมื่อเทียบกับระบบบำบัดชนิดที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงในแบบอื่น ๆ ทั้งนี้หากต้องการเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบจำเป็นต้องขยายถังปฏิกริยาให้ใหญ่ขึ้นหรือสร้างถังใหม่ รวมทั้ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบมีประสิทธิภาพที่ไม่สูงนัก รายละเอียดของถังปฏิกริยาแบบถังกวนผสม

3) ข้อดีและข้อจำกัดของระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี (ชาติรี วัฒนศิลป์. 2553: 47)

ข้อดี ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบผสมเทคโนโลยี คือระบบที่พัฒนานำข้อดีแต่ละระบบมาทำงานร่วมกันเพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำงานนั้นสูงสุด จะมีข้อดีคือมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นสูงที่สุด

ข้อจำกัด เนื่องจากเป็นการผสมรวมเทคโนโลยีจึงทำให้ต้นทุนของระบบนั้นสูงกว่าระบบอื่น ๆ และความเหมาะสมในการเลือกเทคโนโลยีไปใช้งานจริง

## 2.1.6 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

### 2.1.6.1 ด้านพลังงาน

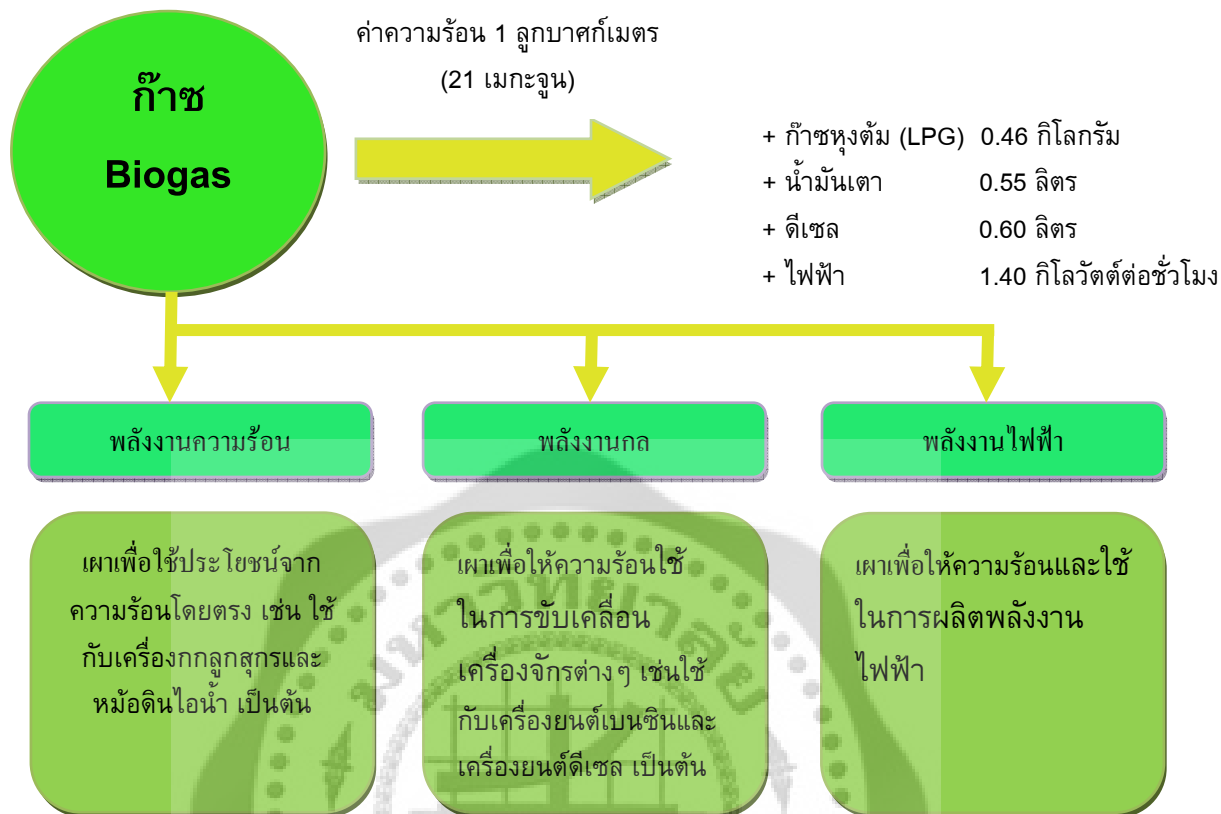
เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลักจึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น

1) เผาไหม้เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เช่น ใช้สำหรับทำอาหารภายในครัวเรือน ใช้กับเครื่องกลูกสุกและหม้อต้มไอน้ำ เป็นต้น

2) เผาไหม้เพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น

3) เผาไหม้เพื่อให้ความร้อนและใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว การลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม และไฟฟ้า



ภาพประกอบ 12 สมบัติและประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2553): ออนไลน์

#### 2.1.6.2 ด้านสิ่งแวดล้อม

การนำมูลสัตว์และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อหมักก๊าซชีวภาพนั้นจะเป็นการช่วยกำจัดมูลในบริเวณที่เลี้ยงทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลง และผลจากการหมักมูลสัตว์ในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ใน มูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิดเช่นโรคบิดและพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ด้วยกัน นอกจากนี้แล้วยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ และเนื่องจากก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวหนึ่งที่ส่งผลรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 21 เท่า ดังนั้นหากปล่อยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสู่บรรยากาศจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจกหรือเร่งให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นพลังงานจึงเป็นการช่วยลดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ด้วย

### 2.1.6.3 ด้านการเกษตร

การทำเป็นปุ๋ย โดยนำกากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพนั้นสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ และปุ๋ยคอกทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมักไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหาร สัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ควรใส่ปริมาณระหว่าง 5-10 กิโลกรัมต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติ และเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย



ภาพประกอบ 13 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2553): ออนไลน์

## 2.2 ขยะเศษอาหาร

### 2.2.1 ความหมายของขยะ (ขยะกับภาวะโลกร้อน, มหาวิทยาลัยนเรศวร: ออนไลน์)

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานฉบับ พ.ศ. 2525 กล่าวว่า มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเยื่อ ขยะ หมายถึง หยากเยื่อ มูลฝอย

พระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความ มูล ฝอย หมายถึง สิ่งต่าง ๆ ที่เราไม่ต้องการ ที่เป็นของแข็งหรืออ่อน มีความชื้น ได้แก่ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร กุ้งพลาสติก ภาชนะกล่องใส่อาหาร แก้ว มูลสัตว์ หรือซากสัตว์รวมตลอดถึงวัตถุอื่น สิ่งใดที่เก็บกวาดได้จากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความของคำว่า ของเสีย หมายความว่า ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสารหรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้าง

จากสิ่งเหล่านั้น ที่อยู่ใสภาพของแข็งของเหลวหรือก๊าซในทางวิชาการจะใช้คำว่า ขยะมูลฝอย ซึ่งหมายถึง บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง จะเนาเปื่อยหรือไม่ก็ตาม รวมตลอดถึง ถ้ำ ซากสัตว์ มูลสัตว์ ฝุ่นละออง และเศษวัตถุที่ทิ้งแล้วจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ต่าง ๆ รวมถึงสถานที่สาธารณะ ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้น อูจจาระ และ ปัสสาวะของมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งปฏิภูล วิธีจัดเก็บและกำจัดแตกต่างไปจากวิธีการจัดขยะมูลฝอย ปัจจุบัน วิทยาการก้าวหน้า ประชากรเพิ่มอย่างรวดเร็ว อัตราการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้นเพื่อผลิตเครื่องอุปโภค บริโภค อาหาร ที่อยู่อาศัย เป็นเหตุให้เศษสิ่งเหลือใช้มีปริมาณมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาของขยะมูลฝอย

ขยะ หรือ มูลฝอย หรือ ของเสีย เป็นเหตุสำคัญประการหนึ่งก่อก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และมีผลต่อสุขภาพอนามัย มูลฝอยหรือของเสียกำลังมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพราะสาเหตุจากการเพิ่มของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและทางอุตสาหกรรม นับเป็นปัญหาที่สำคัญของชุมชนซึ่งต้องจัดการและแก้ไข ปริมาณกากของเสียและสารอันตราย ได้แก่ ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิภูล และสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ดิน และอากาศ ตลอดจนบางส่วนตกค้างอยู่ในอาหาร ทำให้ประชาชนทั่วไปเสี่ยงต่ออันตรายจากการเป็นโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง และ โรคผิดปกติทางพันธุกรรม เป็นต้น สถานที่บางแห่งก็มีคนทิ้งขยะกันตามสะดวก โดยนำไปเทกองรวมกัน ไว้ริมทางเดินบ้าง โคนต้นไม้บ้าง ทำให้มีการหมักหมมเนาเปื่อยสิ่งกลิ่นเหม็นคั่ง บางครั้งอาจมองเห็นหนอนจำนวนมากมายไต่ยั่วเย้าออกมาจากกองขยะ ดูน่าขยะแขยง นอกจากนั้นกองขยะยังเป็นแหล่งชุมนุมของสัตว์น้ำโรคสารพัดชนิด เช่น ยุง แมลงวัน หนูแมลงสาบ ฯลฯ ยามที่ฝนตกลงมา น้ำฝนก็จะเอาสิ่งสกปรกเนาเหม็นในกองขยะไหลไปยังพื้นที่ใกล้เคียง และอาจจะไหลลงท่อระบายน้ำและแม่น้ำลำคลองใกล้ ๆ อีกด้วย

การทิ้งขยะลงท่อระบายน้ำทำให้เกิดผลเสียอย่างร้ายแรง คือ ทำให้ท่อระบายน้ำอุดตัน เมื่อฝนตกก็ไม่สามารถระบายน้ำฝนได้ จึงเกิดสภาพน้ำท่วมขังตามถนนสายต่าง ๆ ตามตรอกซอกซอย และผลที่ตามมาก็คือ การเดินทางไปตามเส้นทางเหล่านั้นลำบากขึ้น การจราจรก็ติดขัดและถนนหนทางอาจจะได้รับความเสียหาย ซึ่งเมื่อน้ำลดลงสู่สภาพปกติก็ต้องซ่อมแซมใหม่ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณ

บ้านเรือนที่มีขยะมูลฝอยรกรุงรังอยู่ภายในบ้านเรือนบริเวณบ้าน นอกจากจะดูสกปรกไม่น่าดูอยู่แล้ว ก็ยังเป็นทีชุมนุมของหนู แมลงวัน แมลงสาบ ซึ่งเป็นพาหะนำโรคทางเดินอาหารมาสู่คนและยังก่อความรำคาญให้อีกด้วย

2.2.2 แหล่งกำเนิดขยะ ขยะเป็นสิ่งที่เหลือใช้ หรือสิ่งที่ไม่ต้องการอีกต่อไป สามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

2.2.2.1 ของเสียจากอุตสาหกรรม ของเสียอันตรายทั่วประเทศไทย 73 % มาจากระบบอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการที่เหมาะสมโดยทั้งกระจายอยู่ตามสิ่งแวดล้อมและทิ้งร่วมกับมูลฝอยรัฐบาลได้ ก่อตั้งศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมขึ้นแห่งแรกที่แขวงแสมดำ

เขตบางขุนเทียน เริ่มเปิดบริการตั้งแต่ 2531 ซึ่งก็เพียงสามารถกำจัดของเสียได้บางส่วน(ขยะกับ ภาวะโลกร้อน, มหาวิทยาลัยนเรศวร: ออนไลน์)

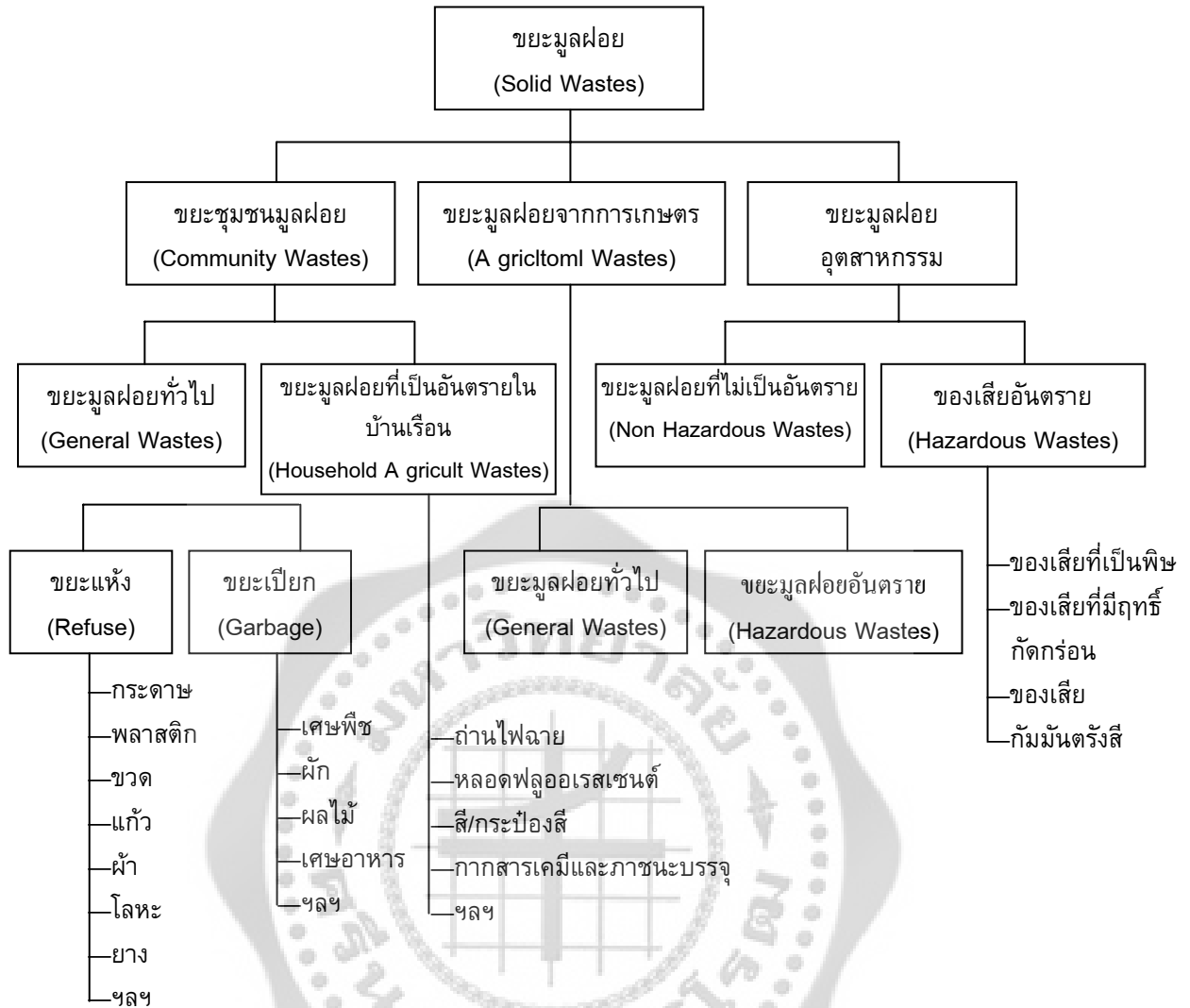
2.2.2.2 ของเสียจากโรงพยาบาลและสถานศึกษาวิจัย ของเสียจากโรงพยาบาล เป็นของเสียอันตรายอย่างยิ่ง เช่น ขยะติดเชื้อ เศษอวัยวะจากผู้ป่วย และการรักษาพยาบาล รวมทั้ง ของเสียที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี สารเคมี ได้ทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยปะปนกับมูลฝอยสิ่งปฏิกูลเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคและสารอันตราย

2.2.2.3 ของเสียจากภาคเกษตรกรรม เช่น ยาฆ่าแมลง ปุ๋ย มูลสัตว์ นำทิ้งจากการ ทำปศุสัตว์ ฯลฯ

2.2.2.4 ของเสียจากบ้านเรือนแหล่งชุมชน เช่น หลอดไฟ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ แก้ว เศษอาหาร พลาสติก โลหะ หินไม้ กระเบื้อง ผนัง ยาง ฯลฯ

2.2.2.5 ของเสียจากสถานประกอบการในเมือง เช่น ภัตตาคาร ตลาดสด วัด สถานเริงรมย์

แหล่งชุมชน กิจกรรมอุตสาหกรรม และกิจกรรมเกษตร จัดได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดของ ขยะมูลฝอยที่สำคัญ เมื่อประชากรเพิ่มขึ้นขยะมูลฝอยก็จะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ประกอบกับมีการ พัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ก็ยิ่งทำให้มีขยะมูลฝอยใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมาย ขยะมูลฝอยเหล่านี้ มีทั้งขยะมูลฝอยทั่วไปและของเสียอันตราย แต่ละประเภทมีลักษณะแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 14 แผนผังแหล่งกำเนิดและประเภทขยะมูลฝอย

ที่มา: มหาวิทยาลัยนเรศวร. ออนไลน์

**2.2.3 ประเภทของขยะมูลฝอย จำแนกประเภทได้ดังนี้**

2.2.3.1 ขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ เช่น เศษไม้ ใบหญ้า พลาสติก กระดาษ ผ้า สิ่งทอ ยาง ฯลฯ

2.2.3.2 ขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่ เศษโลหะ เหล็ก แก้ว กระจก เปลือกหอย หิน ฯลฯ

2.2.3.3 ขยะมูลฝอยที่ไม่เป็นพิษหรือขยะมูลฝอยทั่วไป ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เกิดจากบ้านเรือน ร้านค้า เช่น พวงเศษอาหาร กระดาษ พลาสติก เปลือกและใบไม้ เป็นต้น

2.2.3.4 ขยะมูลฝอยที่เป็นพิษ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์ตลอดจนสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ ของเสียที่มีส่วนประกอบของสารอันตรายหรือของเสียที่มีฤทธิ์กัดกร่อน

หรือติดไฟง่าย หรือมีเชื้อโรคติดต่อบะปนอยู่ เช่น ซากถ่านไฟฉาย ซากแบตเตอรี่ ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ กากสารเคมี สำลี และ ผ้าพันแผลจากโรงพยาบาล

#### 2.2.4 แบ่งประเภทขยะตามลักษณะของส่วนประกอบของขยะมูลฝอย มีประเภทต่าง ๆ ดังนี้

2.2.4.1 กระดาษ กระจก กระดาษ กลัง ลัง เศษกระดาษจากสำนักงาน

2.2.4.2 พลาสติก มีความทนทานต่อการทำลายได้สูง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก เช่น ภาชนะ ของเด็กเล่น ของใช้

2.2.4.3 แก้ว เช่น ขวด หลอดไฟ เศษกระจก ฯลฯ

2.2.4.4 เศษอาหาร ผัก ผลไม้ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ ย่อยสลายได้ง่าย เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้ขยะเกิดกลิ่นเหม็นและส่งกลิ่นรบกวนหากไม่มีการเก็บขนออกจากแหล่งทิ้งทุกวัน

2.2.4.5 ผ้าสิ่งทอต่าง ๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ และใยสังเคราะห์ เช่น ผ้าใน ล่อน ขนสัตว์ ลินิน ผ้าย

2.2.4.6 ยางและหนัง เช่น รองเท้า กระเป๋า

2.2.4.7 ไม้ เศษเฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ เก้าอี้ ฯลฯ

2.2.4.8 หิน กระจก กระจก และเปลือกหอย พวกนี้ไม่เน่าเปื่อย พบมากในแหล่งก่อสร้างตึกที่ทุบทิ้ง

2.2.4.9 โลหะต่าง ๆ เช่น กระจัง ลวด สายไฟ ตะปู

2.2.4.10 อื่นๆ ที่ไม่อาจจัดกลุ่มได้

#### 2.2.5 การกำจัดขยะ

วิธีการกำจัดขยะมูลฝอย ( Method of Refuse Disposal ) มีหลายวิธีด้วยกัน เป็นวิธีที่ดีถูกสุขลักษณะบ้างไม่ถูกสุขลักษณะบ้าง เช่น นำไปกองไว้บนพื้นดิน นำไปทิ้งทะเล นำไปฝังกลบ ใช้ปรับปรุงพื้นที่ เฝ้า หมักทำปุ๋ย ใช้เลี้ยงสัตว์ ฯลฯ การจัดการและการกำจัดขยะ แต่ละวิธีต่างมีข้อดีข้อเสียต่างกัน การพิจารณาว่าจะเลือกใช้วิธีใดต้องอาศัยองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ ปริมาณของขยะที่เกิดขึ้น รูปแบบการบริหารของท้องถิ่น งบประมาณ ชนิด - ลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอย ขนาด สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่จะใช้กำจัดขยะมูลฝอย เครื่องมือเครื่องใช้ อาคารสถานที่ ความร่วมมือของประชาชน ประโยชน์ที่ควรจะได้รับ คุณสมบัติของขยะ เช่น ปริมาณของอินทรีย์ อนินทรีย์สาร การปนเปื้อนของสารเคมีที่มีพิษและเชื้อโรค ปริมาณของของแข็งชนิดต่าง ๆ ความหนาแน่น ความชื้น

ขยะที่เกิดขึ้นในชุมชนเมืองมีแหล่งที่มาจาก อาคาร บ้านเรือน บริษัท ห้างร้าน โรงงาน อุตสาหกรรม โรงพยาบาล ตลาด และสถานที่ราชการ ขยะที่ทิ้งในแต่ละวันจะประกอบด้วย เศษอาหาร กระดาษ เศษแก้ว เศษไม้ พลาสติก เศษดิน เศษหิน ขี้เถ้า เศษผ้า และใบไม้ กิ่งไม้ โดยมีปริมาณของสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

#### 2.2.5.1 การแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทำให้เกิดการปนเปื้อนของพื้นดิน แหล่งน้ำและอากาศ ทำให้บ้านเมืองไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย ไม่เป็นที่เจริญของผู้ที่ได้พบเห็น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยทั่วไป การแก้ไขปัญหาของขยะมูลฝอย จึงควรปฏิบัติเพื่อป้องกันและแก้ไขผลเสียที่จะเกิดขึ้น สำหรับการป้องกันและแก้ไขที่สมควรพิจารณาถึงต้นเหตุที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยขึ้นมา หมายถึง มนุษย์ หรือผู้สร้างขยะมูลฝอย นั้นเอง การป้องกันและการแก้ไขปัญหาของขยะมูลฝอย เริ่มต้นด้วยการสร้างจิตสำนึกแก่มนุษย์ให้รู้จักรับผิดชอบในการรักษาความสะอาดทั้งในบ้านเรือนของตัวเอง และภายนอกบ้าน ไม่ว่าจะเป็นถนนหนทาง สถานที่ทำงาน หรือที่สาธารณะอื่น ๆ ให้รู้จักทิ้งขยะมูลฝอยลงในภาชนะให้เป็นที่เป็นที่ถูกทาง ไม่มกง่ายทิ้งขยะเกลื่อนกลาด ทั้งนี้เป็นการช่วยให้พนักงานเก็บขยะนำไปยังสถานที่กำจัดได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

#### 2.2.5.2 การเก็บและกำจัดขยะมูลฝอย (ขยะกับภาวะโลกร้อน, มหาวิทยาลัยนเรศวร: ออนไลน์)

การเก็บและกำจัดขยะมูลฝอยรวมถึงการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยเพื่อส่งไปกำจัดที่สถานกำจัดขยะมูลฝอย มีขั้นตอนดังนี้

##### 1) การใช้เตาเผา

เป็นการเผาไหม้ทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งต้องใช้ความร้อนระหว่าง 1,300-1,800 องศาฟาเรนไฮต์ จึงจะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากความแตกต่างและลักษณะขององค์ประกอบของขยะมูลฝอยในแต่ละแห่ง ดังนั้นรูปแบบของเตาเผาจึงแตกต่างกันไปด้วย เป็นต้นว่า ถ้าชุมชนที่มีขยะมูลฝอยซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เผาไหม้ได้ง่าย เตาเผาขยะอาจใช้ชนิดที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นช่วยในการเผาไหม้ แต่ถ้าองค์ประกอบของขยะมูลฝอยมีส่วนที่เผาไหม้ได้ง่ายต่ำกว่าร้อยละ 30 (โดยน้ำหนัก) หรือมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 เตาเผาที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ต้องมีเชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้

นอกจากนี้เตาเผาขยะมูลฝอยทุกแบบ จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ คว้น ไอเสีย ผงและขี้เถ้าที่อาจปนออกไปกับคว้นและปลิวออกมาทางปล่องคว้น เตาเผาที่มีประสิทธิภาพจะต้องลดปริมาณของขยะมูลฝอยลงไปจากเดิมให้มีเหลือน้อยที่สุด และส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้นั้นก็จะต้องมีลักษณะคงรูป ไม่มีการย่อยสลายได้อีกต่อไป และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

## ข้อดี

- 1.1) ใช้พื้นที่ดินน้อย เมื่อเทียบกับวิธีฝังกลบ
- 1.2) สามารถทำลายขยะมูลฝอยได้เกือบทุกชนิด
- 1.3) สามารถสร้างเตาเผาในพื้นที่ที่ไม่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิด

ขยะ ทำให้ประหยัดค่าขนส่ง

- 1.4) ไม่ค่อยกระทบกระเทือนเมื่อสภาพแวดล้อมของลมฟ้าอากาศ

เปลี่ยนแปลง

- 1.5) ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ (ขี้เถ้า) สามารถนำไปถมที่ดินได้

หรือทำวัสดุก่อสร้างได้

## ข้อเสีย

ค่าลงทุนในการก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม บำรุงรักษา  
ค่อนข้างสูงและอาจเกิดปัญหาภาวะมลพิษทางอากาศได้

## 2) การฝังกลบ

วิธีการฝังกลบที่ถูกสุขลักษณะนั้น จะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษ  
ต่อสภาพแวดล้อม รวมทั้งเหตุรำคาญอื่น ๆ เช่น กลิ่นเหม็น คิว้น ผุนละออง และการปลิวของ  
กระดาษ พลาสติกและอื่น ๆ ซึ่งจะต้องควบคุมให้อยู่ภายในขอบเขตจำกัด ไม่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย  
แก่ทัศนียภาพของพื้นที่และบริเวณใกล้เคียง

วิธีการฝังกลบขยะมูลฝอย อาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ (ขยะกับ  
ภาวะโลกร้อน, มหาวิทยาลัยนเรศวร: ออนไลน์)

2.1) แบบถมที่ เป็นการฝังกลบขยะมูลฝอยในพื้นที่ที่เป็นหลุม เป็น  
บ่อ หรือเป็นพื้นที่ที่ต่ำอยู่ก่อนแล้ว และต้องการถมให้พื้นที่แห่งนั้นสูงขึ้นกว่าระดับเดิม เช่น บริเวณ  
บ่อดินลูกรัง ริมตลิ่ง เขื่อนสร้างหรือบริเวณที่ดินที่ถูกขุดออกไปทำประโยชน์อย่างอื่นมาก่อนแล้ว  
เป็นต้น ในพื้นที่เช่นนี้เราเทขยะมูลฝอยลงไป แล้วเกลี่ยขยะให้กระจายพร้อมกับบดทับให้แน่น  
จากนั้นก็ใช้ดินกลบ แล้วจึงบดทับให้แน่นอีกเป็นครั้งสุดท้าย

2.2) แบบขุดเป็นร่อง เป็นการกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบใน  
พื้นที่ราบ ซึ่งเป็นที่สูงอยู่แล้วและไม่ต้องการที่จะให้พื้นที่แห่งนั้นสูงขึ้นไปอีก หรือสูงขึ้นไม่มาก  
นัก แต่ในขณะที่เดียวกันก็ต้องการใช้พื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยให้ได้จำนวนมาก ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธี  
ขุดเป็นร่องก่อน การขุดร่องต้องให้มีความกว้างประมาณ 2 เท่าของขนาดเครื่องจักรที่ใช้ เพื่อความ  
สะดวกต่อการทำงานของเครื่องจักร และมีความยาวตลอดพื้นที่ที่จะฝังกลบ ส่วนความลึกขึ้นอยู่กับ  
ระดับน้ำใต้ดิน จะลึกเท่าไรก็ได้แต่ต้องไม่ให้ถึงระดับน้ำใต้ดิน ส่วนมากจะขุดลึกประมาณ 2-3 เมตร  
และต้องทำให้ลาดเอียงไปทางด้านใดด้านหนึ่ง เพื่อไม่ให้น้ำขังในร่องเวลาฝนตก ดินที่ขุดขึ้นมาจาก  
ร่องก็กองไว้ทางด้านใดด้านหนึ่ง สำหรับใช้เป็นดินกลบต่อไป นอกจากนั้นยังสามารถใช้ทำเป็นคัน  
ดิน สำหรับกั้นมิให้ลมพัดขยะออกไปนอกบริเวณได้อีกด้วย ส่วนวิธีการฝังกลบขยะมูลฝอยก็ทำ

เช่นเดียวกับแบบถมที่คือ เมื่อเศษขยะมูลฝอยลงไปในเรื่องแล้วก็เกลี่ยให้กระจาย บดทับแล้วใช้ดินกลบ และบดทับอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อฝังกลบขยะมูลฝอยในพื้นที่นั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว อาจใช้พื้นที่นั้นเป็นประโยชน์ เช่น เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สนามเทนนิส สนามกอล์ฟ ที่จอดรถ สนามกีฬา ศูนย์การค้าหรือก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยที่ไม่สูงเกินไป หรืออาจปรับปรุงคุณภาพดินให้เหมาะแก่การปลูกพืช ซึ่งอาจจะนำหญ้า ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้นมาปลูก เพื่อตกแต่งให้สวยงามเป็นระเบียบยิ่งขึ้น

### 3) การทำปุ๋ย

การนำขยะไปหมักทำปุ๋ย โดยแยกขยะอันตราย ขยะติดเชื้อออกไปกำจัดเป็นพิเศษเสียก่อน ส่วนขยะพวกสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย พวกผักผลไม้ไม่ต้องการ เมื่อปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเปื่อย สามารถนำขยะที่ผ่านการย่อยสลายนั้นมาใส่ปรับปรุงคุณภาพดินได้ นำขยะไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับใช้บำรุงดินเพื่อการเกษตรการย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ (Composting) เป็นการนำขยะประเภทอินทรีย์วัตถุไปรวมกันไว้ แล้วปล่อยให้ขยะถูกย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติหรือโดยวิธีช่วยกระตุ้นให้ขยะถูกย่อยสลายเร็วขึ้น

การกำจัดขยะโดยวิธีนี้จะมีปัญหาอยู่ที่การแยกขยะประเภทอินทรีย์วัตถุออกมาจากขยะประเภทอื่น ๆ บริเวณที่รวมขยะอาจไม่อยู่ห่างไกลจากชุมชนและขยะที่นำมากรวมไว้ในปริมาณมากจะส่งกลิ่นเหม็น ทำให้แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียงเน่าเสีย เกิดทัศนียภาพที่ไม่น่าดู และจำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะเป็นบริเวณกว้าง ขยะประเภทอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายได้ก็นำไปรวมกันไว้จะอาศัยกระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุที่ค่อนข้างคงรูป ที่เรียกว่า “ ปุ๋ย ” มีสีเทา หรือน้ำตาลเข้มเกือบดำ ไม่มีกลิ่น กากที่เหลือจากการย่อยสลายจะมีลักษณะคล้ายดินร่วน มีความร่วนซุยสูง มีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำได้ดี ดูดซึมน้ำได้ดี แลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้ากับผิวดินได้ดีเท่ากับดินเหนียว จึงเหมาะที่จะนำปุ๋ยนี้ไปใช้ในการปรับปรุงสภาพดิน แม้ดินทรายเมื่อนำปุ๋ยนี้ไปใส่ จะทำให้อุ้มน้ำได้ดีขึ้น หรือใช้กับดินเหนียวจะทำให้ดินร่วนซุยขึ้น และยังสามารถนำไปเป็นอาหารของพืชเพื่อบำรุงต้นไม้ได้ดี มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ไม่ทำให้ดินเป็นกรดหรือด่าง

ขยะที่เก็บมากองรวมกันไว้นั้น มักจะมีอินทรีย์วัตถุปนอยู่ไม่น้อย ซึ่งขยะประเภทนี้เป็นอาหารของ จุลินทรีย์ในธรรมชาติ จะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์สารด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งมีอยู่ 2 กลุ่มใหญ่ คือ Aerobic organisms ซึ่งมีความร้อนเกิดจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ อันเป็นความร้อนเกิดจากการสลายตัวของขยะ สูงถึง 65 องศา เมื่อทำการหมักในเวลานาน ก็จะทำให้เชื้อโรคและพยาธิถูกทำลายไปได้ กับอีกกลุ่มคือ Anaerobic organisms ก็มีความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา แม้จะไม่สูงมากนัก แต่เชื้อจุลินทรีย์และพยาธิต่าง ๆ ก็จะสามารถตายได้เหมือนกัน ความร้อนนำไปใช้เป็นพลังงานได้ การหมักด้วย Aerobic process จะต้องปรับปรุงสภาวะของขยะให้เหมาะสมก่อนหมัก เช่น ขนาดของขยะไม่ควรโตกว่า 5 ซม. ความชื้น 40 – 65 % ต้องพยายามคัดแยกวัตถุพวกที่ไม่ย่อยสลายออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถึงหมักจะต้องมีช่องให้

อากาศผ่านได้ โดยอาจจะต้องใช้เครื่องเป่าอากาศช่วย พร้อมทั้งจะต้องมีการกลับขยะให้สัมผัสอากาศอยู่เสมอ จึงจะย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ระยะเวลาที่ใช้หมักประมาณ 5 – 20 วัน แต่การหมักด้วย Anaerobic Process ไม่ต้องใช้อากาศช่วย จึงหมักได้ในถังปิดหรือในหลุมดิน ความชื้นควรสูงเกินกว่า 70°C ขึ้นไป ถ้าใช้ถังปิดจะต้องมีท่อระบายก๊าซออก ขยะจากกิจกรรมและพวกมูลสัตว์ จะได้พวกก๊าซชีวภาพ ( Bio – gas ) ซึ่งมีปริมาณมีเทน ( CH<sub>4</sub> ) ประมาณอยู่ 40 – 70 % โดยปริมาตรทำให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการ หุงต้ม แสงสว่าง ตู้เย็น เครื่องยนต์ เกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้



ข้อดี ของการกำจัดขยะมูลฝอยแบบหมักทำปุ๋ย

1.1) ได้ปุ๋ย ไปใช้

2.2) ตั้งโรงงานกำจัดในเขตชุมชนได้ ถ้าหากมีมาตรการป้องกัน

ความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม และเหตุรำคาญ ประหยัดค่าขนส่ง

2.3) การแยกขยะมูลฝอย ก่อนหมักทำปุ๋ย จะได้เศษโลหะแก้ว

กลับไปทำประโยชน์ได้อีก

ข้อเสีย

2.4) ถ้าดำเนินการไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะเกิดปัญหากลิ่นเหม็น เนื่องจากการย่อยสลายไม่สมบูรณ์

2.5) สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการแยกขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายไม่ได้ เพื่อนำไปกำจัดโดยวิธีอื่น(มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2553, ออนไลน์)

## 2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในมหาวิทยาลัย มีแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

### 2.3.1 แนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้

การศึกษาความเป็นไปได้ ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเลือกใช้ทรัพยากรไปอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้จุดมุ่งหมายหรือความต้องการของสังคม โดยจะเป็นการประเมินถึงผลตอบแทนและต้นทุนของโครงการ โดยการศึกษาความเป็นไปได้จะเน้นการประเมินความคุ้มค่าของโครงการ โดยโครงการจะมีความคุ้มค่า เมื่อผลตอบแทนมีค่าสูงกว่าต้นทุน ดังนั้นในการวิเคราะห์หรือศึกษาความเป็นไปได้โครงการ จึงจัดเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการตัดสินใจคัดเลือกและดำเนินโครงการ เพราะหลังจากที่ได้มีการวางแผนโครงการแล้ว ผู้จัดทำโครงการ ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้โครงการ เพื่อที่จะได้มีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในเบื้องต้น ว่าการลงทุนของโครงการนั้น มีหนทางพอที่จะดำเนินการต่อไปได้หรือไม่ ก่อนที่จะได้มีการนำเสนอให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจพิจารณาโครงการต่อไป (หฤทัย มีนะพันธ์, 2550: 67)

การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis) หรือการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน เป็นการวิเคราะห์การลงทุนของเอกชนเป็นสำคัญ โดยจะรวมไปถึงการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมกับโครงการ เพื่อให้ทราบว่าถ้ามีการดำเนินงานโครงการแล้ว จะไม่มีปัญหาทางการเงินเกิดขึ้น ในทุกขั้นตอนตลอดอายุของโครงการ นอกจากนี้การวิเคราะห์ยังใช้ในการพิจารณาว่าโครงการมีผลประโยชน์มากพอที่จะจูงใจให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียตัดสินใจที่จะเข้าร่วมโครงการด้วยหรือไม่ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ (Economic Analysis) หรือการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนต่อระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของประเทศ หรือไม่เพียงพอ เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ได้รับผลประโยชน์ต่อส่วนรวมมากที่สุด การวัดต้นทุนและผลตอบแทน และการเปรียบเทียบการลงทุนต่างๆ จะช่วยกำหนดว่า การลงทุนทางใด ที่จะช่วยส่งเสริมสวัสดิการของเศรษฐกิจทั้งระบบดีที่สุด

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจและการเงิน มีหลักการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันที่สำคัญ 3 ประการ คือ

2.3.1.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ จะใช้ราคาที่แน่นอน เพื่อที่จะสะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงทางสังคมหรือทางเศรษฐกิจที่ดีกว่า โดยราคาที่ถูกรับค่านี้นี้เรียกว่า ราคาเงา (Shadow prices) หรือราคาในทางบัญชี (accounting prices) ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงินจะใช้ราคาตลาด (Market prices) ซึ่งในการวิเคราะห์ทางการเงินได้รวมเอาภาษีและเงินอุดหนุนเข้าไว้ด้วย

2.3.1.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ในรายการภาษี (taxes) และเงินอุดหนุน (subsidies) ถือเป็นรายการเงินโอน (transfer payment) โดยภาษีจัดเป็นส่วนหนึ่งของผลประโยชน์รวมของโครงการ ซึ่งโอนไปให้แก่สังคมส่วนรวม และเงินอุดหนุนถือเป็นต้นทุนของสังคม เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายของสังคมที่ใช้ไปในการดำเนินงานโครงการ ส่วนการวิเคราะห์ทางการเงิน การปรับค่างดังกล่าวไม่มีความจำเป็น เพราะภาษีถือเป็นต้นทุน และเงินอุดหนุนถือเป็นผลตอบแทนโครงการ

2.3.1.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ดอกเบี้ยของทุนจะไม่ถูกแยก และหักออกจากผลตอบแทนเบื้องต้น เพราะเป็นผลตอบแทนที่ให้กับสังคม ส่วนการวิเคราะห์ด้านการเงิน ดอกเบี้ยจัดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่าย ที่ต้องหักออกจากผลประโยชน์ ดอกเบี้ยที่จ่ายให้กับผู้ร่วมโครงการ ไม่น่ามาคิดว่าเป็นต้นทุน แต่ถือเป็นส่วนหนึ่งของผลตอบแทนทางการเงินซึ่งผู้ร่วมโครงการได้รับ นอกจากนี้การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ ยังให้ความสนใจกับผลทางอ้อม (indirect effect) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางการเงิน โดยผลทางอ้อม คือ ต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการมีโครงการ แต่มิได้เพิ่มพูนให้กับโครงการ ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) เช่น ผลจากมลพิษทางอากาศ ที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อม (indirect benefits) เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำ เพื่อกักเก็บน้ำ อาจเป็นผลประโยชน์ต่อการท่องเที่ยวและการประมง

### 2.3.2 แนวคิดเกี่ยวกับดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้หรือการวิเคราะห์โครงการ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ มีความสำคัญอย่างมากในการ ที่จะยอมรับ หรือปฏิเสธโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่ เพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมี 3 ตัว คือ (เรวัตร์ ชาตรีวิศิษฎ์. 2539: 230)

2.3.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วของโครงการ หรือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนลบด้วยผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิอาจมีค่าเป็นบวก ลบหรือศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit: PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost: PVC) สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n [(B_t - C_t)/(1+r)^t]$$

$$= PVB - PVC$$

เมื่อ  $B_t$  = ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการในปีที่  $t$

$C_t$  = ต้นทุนของโครงการในปีที่  $t$

$r$  = อัตราคิดลดที่เหมาะสม (Discount Rate)

$t$  = ปีของโครงการ คือปีที่ 1, 2, 3...  $n$

$n$  = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่ามากกว่า ศูนย์หมายความว่า มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนซึ่งแสดงถึง การลงทุนคุ้มค่า

2.3.2.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุของโครงการซึ่งเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n [(B_t)/(1+r)^t]}{\sum_{t=1}^n [(C_t)/(1+r)^t]}$$

$$= PVB/PVC$$

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ต้องมีค่ามากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้เพราะเมื่อ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่งหมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการจะมีมากกว่าต้นทุนที่เสียไปในโครงการ

2.3.2.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุน หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยใดก็ตามที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์สำหรับอัตราผลตอบแทนภายในโครงการจะทำการศึกษา ดังนี้

1) Financial Internal Rate of Return (FIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านการเงินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุน หรืออัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืม ถ้า FIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าการลงทุนด้านการเงิน

2) Economic Internal Rate of Return (EIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทรัพยากรที่นำมาใช้ในโครงการ หรือค่าเสียโอกาสเงินทุน ซึ่งถ้าค่า EIRR มีค่ามากกว่าค่าเสียโอกาสเงินทุน ถือว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

โดยสูตรการคำนวณค่า IRR เขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$IRR = \sum_{t=1}^n [(B_t - C_t) / (1 + r)^t] = 0$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ มีค่าสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้จะคุ้มค่าเพราะผลตอบแทนของเงิน ที่ใช้ไปในโครงการจะสูงกว่าใช้เงินไปในทางเลือกอื่น

### 2.3.3 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนและค่าใช้จ่าย

ต้นทุนและค่าใช้จ่ายของโครงการ หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่นำมาใช้กับโครงการ ดังกล่าว หลักการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจึงต้องอิงอยู่กับหลักค่าเสียโอกาสของทรัพยากร นั่นคือ ระบบเศรษฐกิจจะต้องเสียสละทรัพยากรให้กับโครงการนี้ แทนที่จะนำไปใช้กับโครงการอื่น ผลประโยชน์ที่เสียสละไปนี้ เรียกทั่วไปว่า ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ดังนั้นค่าใช้จ่ายทางเศรษฐกิจของโครงการ อาจจะมี ความหมายที่แตกต่างไปจากค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการก็ได้ ถ้าราคาตลาดของทรัพยากรที่นำมาใช้กับโครงการไม่ใช่ค่าเสียโอกาสของทรัพยากรนั้น เช่น ราคาตลาดอาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าเสียโอกาสทรัพยากร เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้ย่อมจะเกิดขึ้นได้เสมอ ถ้าระบบเศรษฐกิจมีการแข่งขันไม่สมบูรณ์ สำหรับต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการอาจแบ่งออกได้เป็น ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางตรง (direct costs) หรือ ค่าใช้จ่ายขั้นต้น (primary costs) และค่าใช้จ่าย

หรือ ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) หรือ ค่าใช้จ่ายขั้นสำรอง (secondary costs) (วันชัย ริจิรวิช; ชุ่ม พลอยมีค่า, 2547: 21)

2.3.3.1 ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางตรง (direct costs) หมายถึง มูลค่าการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตเพื่อการลงทุน ตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายเบื้องต้นของโครงการ ซึ่งในการก่อสร้างและการดำเนินโครงการต้องใช้ปัจจัยการผลิตหลายประเภท ได้แก่ ที่ดิน สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักรอุปกรณ์และการติดตั้ง รวมทั้งการดำเนินงานและบำรุงรักษา ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และอื่นๆ เป็นต้น

2.3.3.2 ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายหรือมูลค่าที่เกิดจากมีโครงการหรือความเสียหายที่กลุ่มคนได้รับจากการมีโครงการโดยไม่ได้รับการชดเชย โดยไม่ใช้ต้นทุนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะเกิดกับบุคคลหรือกลุ่มบุคคลภายนอกโครงการ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะเกิดขึ้น เมื่อโครงการลงทุนมีผลกระทบในทางลบต่อสภาพแวดล้อมผลกระทบทางด้านนี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากปัญหาทางด้านเทคนิคของโครงการ ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่าผลเสียหายภายนอกด้านเทคนิค เช่น การส่งเสริมอุตสาหกรรมอาจมีผลทำให้ปลาลดน้อยลงเนื่องจากเมื่อมีโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว โรงงานปล่อยน้ำเสียลงในแม่น้ำ เป็นต้น ผลกระทบภายนอกทางเทคนิคนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะต้องมีการระบุให้ชัดเจนและตีค่าออกมาเป็นตัวเลข เพื่อนำไปรวมไว้เป็นค่าใช้จ่ายของโครงการ

สำหรับรายการค่าใช้จ่าย ที่ไม่ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ได้แก่รายการดังต่อไปนี้

1) ค่าภาษี (tax) ค่าภาษีที่โครงการจ่ายให้แก่รัฐบาลไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบภาษีทางตรงหรือภาษีอื่นใดก็ตาม แม้จะมีการจ่ายเป็นภาษีไปจริงก็ตาม แต่สำหรับการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจถือเป็นเพียงรายจ่ายโอน จากผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการไปสู่รัฐบาล มิได้มีส่วนต่อการใช้ทรัพยากรจริงๆ ของโครงการแต่ประการใด ดังนั้นกรณีที่ค่าภาษีได้มีการรวม ไว้ในค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการแล้ว ก็ต้องมีการหักรายการภาษีออก

2) ค่าชำระหนี้ (debt service) ค่าชำระหนี้เป็นรายการโอนประเภทหนึ่งของโครงการเมื่อโครงการได้รับเงินกู้มา จะเป็นผลให้โครงการมีทุนหมุนเวียนของโครงการลดน้อยลง ในทางบัญชีการเงินจึงถือว่าเงินกู้รับเป็นรายได้ ส่วนการชำระหนี้เป็นรายจ่าย แต่สำหรับการวิเคราะห์โครงการโดยส่วนรวมทางเศรษฐกิจแล้ว รายการเงินกู้และการชำระหนี้ จะเป็นเพียงรายการโอนกันในรูปแบบกระแสการเงินหรือในทางบัญชีการเงินเท่านั้น มิได้เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรจริงๆ ไปเพื่อผลิตเป็นสินค้าและบริการแต่ประการใด และจะต้องหักออกจากค่าใช้จ่ายหากมีรายการนี้

3) ค่าเสื่อมราคา (depreciation) ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ จะไม่รวมค่าเสื่อมราคาไว้เป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายโครงการ เพราะเมื่อมีการซื้อสินค้าประเภททุนหรือทรัพย์สินถาวรมาใช้กับโครงการในปีใด ก็จะมีการพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายในปีนั้นไปแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการหักค่าเสื่อมราคาของการใช้ในปีต่อๆ มาอีก

4) ต้นทุนจม (sunk cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นก่อนที่จะประเมินโครงการ และไม่อาจจะหลีกเลี่ยง แม้ว่าโครงการจะเกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ควรตัดออกจากต้นทุนของโครงการ ซึ่งเราจะรวมเฉพาะต้นทุนที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เมื่อไม่มีโครงการเกิดขึ้นเท่านั้น

5) เงินสำรองจ่าย (contingencies) ในทางเศรษฐกิจนั้นจะคิดเฉพาะเงินสำรองจ่ายที่กันไว้เฉพาะรายการและราคาที่เราคาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ไม่รวมถึงเงินสำรองจ่ายสำหรับเงินเพื่อเพราะเงินเพื่อเป็นการเพิ่มราคา ให้กับสินค้าโดยทั่วไป โดยกระทบราคาที่ใช้คำนวณต้นทุน และผลประโยชน์ในอัตราเดียวกัน จึงไม่ส่งผลกระทบต่อราคาโดยเปรียบเทียบ (relative price) แต่ถ้การเปลี่ยนแปลงราคานั้น ทำให้ราคาสินค้าแต่ละชนิดขึ้นลงไม่ทัน เป็นผลให้ราคาโดยเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น ต้องมีการปรับราคาตามที่ได้คาดคะเนไว้

### 2.3.4 แนวคิดเกี่ยวกับผลประโยชน์

ผลประโยชน์ของโครงการสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ (ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ; ชาย กิตติคุณาภรณ์. 2543: 73)

2.3.4.1 ผลประโยชน์ทางตรง (direct benefits) หรือผลประโยชน์ขั้นต้น (primary benefits) หมายถึง ผลประโยชน์ตอบแทนใดๆของโครงการที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แล้วจัดเป็นผลตอบแทนโดยตรงของโครงการนั้น

นอกจากนี้การแบ่งผลประโยชน์ของโครงการ อาจแบ่งได้เป็น ผลประโยชน์ที่วัดได้ และผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ (Tangible and intangible benefits) ผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ คือ ผลตอบแทนที่วัดไม่ได้ในแง่ของปริมาณ หรือจากแง่ของมูลค่าในรูปตัวเงิน ส่วนผลประโยชน์ที่วัดได้ เป็นผลตอบแทนที่วัดมูลค่าได้เป็นตัวเงิน โดยผลประโยชน์ที่วัดได้หรือไม่ได้นั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถวัดได้เลย แต่การวัดได้หรือไม่ได้นั้น มักจะขึ้นอยู่กับพิจารณาในทางปฏิบัติว่าวัดได้หรือไม่ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงใด ผลประโยชน์บางชนิดอาจวัดไม่ได้ในเวลาหนึ่งแต่สามารถวัดได้ในเวลาต่อมา

2.3.4.2 ผลประโยชน์ทางอ้อม (indirect benefits) หรือผลประโยชน์ขั้นรอง (secondary benefits) หมายถึง ผลตอบแทนอื่นๆของโครงการ ซึ่งไม่ใช่ผลตอบแทนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ แต่เป็นผลพลอยได้ของโครงการ

นอกจากนี้การแบ่งผลประโยชน์ของโครงการ อาจแบ่งได้เป็น ผลประโยชน์ที่วัดได้ และผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ (Tangible and intangible benefits) ผลประโยชน์ที่วัดไม่ได้ คือ ผลตอบแทนที่วัดไม่ได้ในแง่ของปริมาณ หรือจากแง่ของมูลค่าในรูปตัวเงิน ส่วนผลประโยชน์ที่วัดได้ เป็นผลตอบแทนที่วัดมูลค่าได้เป็นตัวเงิน โดยผลประโยชน์ที่วัดได้หรือไม่ได้นั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถวัดได้เลย แต่การวัดได้หรือไม่ได้นั้น มักจะขึ้นอยู่กับพิจารณาในทางปฏิบัติว่าวัดได้หรือไม่ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงใด ผลประโยชน์บางชนิดอาจวัดไม่ได้ในเวลาหนึ่งแต่สามารถวัดได้ในเวลาต่อมา

### 2.3.5 แนวคิดเกี่ยวกับการปรับราคาให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจของโครงการลงทุน มูลค่าของต้นทุน และผลตอบแทนที่ได้รับ จะคิดโดยการใช้ ราคาเงา (Shadow price) ซึ่งเป็นราคาที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นราคาที่จะสะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร โดยราคาเงานี้อาจเป็นราคาตลาด (Market price) ของสินค้าและบริการในตลาดที่มีการแข่งขันสมบูรณ์ซึ่งราคานี้จะสะท้อนถึงความเต็มใจที่จะจ่ายของผู้บริโภค (Willingness to pay) อีกด้วย แต่เนื่องจากการที่ราคาตลาด ไม่ได้สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากร จึงต้องมีการปรับราคาให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (นันทยา. 2533: 35)

การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ในการวิเคราะห์ต้องใช้ราคาเงา ซึ่งในกรณีที่ผู้วิเคราะห์ต้องคำนวณราคาเงาเป็นจำนวนมาก การวิเคราะห์จะเสียเวลามากขึ้น ดังนั้นอีกทางเลือกหนึ่งของการวิเคราะห์ คือ การแปลงมูลค่าทางการเงิน ให้เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ โดยใช้ค่าแปรราคาเงา (Conversion Factors: CF) ของแต่ละสินค้าและบริการ การวิเคราะห์ตามระบบที่กล่าวนี้เป็นวิธีการของ Little and Mirrler และเป็นวิธีการเดียวกับที่เสนอโดย Squire and Van der Tak ในการคำนวณค่าแปรราคาเงา (CF) ของแต่ละสินค้านั้นปัญหาต่างๆที่ทำให้ราคาถูกบิดเบือน และระดับความแตกต่างกันระหว่างสินค้าส่งออกหรือนำเข้า (traded goods) และสินค้าที่ไม่มีการส่งออกหรือนำเข้า (non traded good) ได้รับการปรับให้ถูกต้องนอกจากนี้สถาบันการเงินระหว่างประเทศ เช่น ธนาคารโลกได้คำนวณค่าแปรราคาเงา ของสินค้าและบริการแต่ละชนิดในแต่ละประเทศไว้ ซึ่งค่าแปรราคาเงาสำหรับการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจในประเทศไทยที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกันมาในแต่ละปี

ดังนั้นเมื่อการคำนวณหาค่าแปรราคาเงา (Conversion Factors: CF) ที่แท้จริงต้องใช้เวลามากแทนที่จะทำการคำนวณหาราคาทางเศรษฐกิจโดยตรง ก็ใช้วิธีการแปลงมูลค่าทางการเงิน (Financial account) มาเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจ (Economic account) โดยใช้ค่าแปรราคาเงา (Conversion Factors: CF) ซึ่งปัจจุบันมีหน่วยงานที่ได้ทำการคำนวณไว้ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงการต่างๆ ได้

### 2.3.6 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราคิดลด

การเลือกอัตราคิดลด (Choosing the discount rate) เพื่อใช้ในการหามูลค่าปัจจุบัน สามารถแยกออกได้เป็น 3 อัตรา (ชูชีพ พิพัฒนศิริ; ชาย กิตติคุณภรณ์. 2543: 75)

1. อัตราตัดขาด (cut-off rate)
2. อัตรากู้ยืม (borrowing rate)
3. อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (social time preference rate)

อัตราคิดลดแบบ อัตราตัดขาด (cut-off rate) ใช้สำหรับคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน หรืออัตราต่ำกว่านี้ จะไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับอัตราผลตอบแทนภายในลดลง

สำหรับการวิเคราะห์ทางการเงิน อัตราตัดขาด (cut-off rate) โดยปกติคือต้นทุนหน่วยสุดท้ายของเงินตรา (marginal costs of money) ที่มีต่อกิจการ หรืออัตราที่รัฐวิสาหกิจสามารถกู้ยืมเงินได้ ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐกิจ อัตราตัดขาด (cut-off rate) ที่ใช้คือ ค่าเสียโอกาสเงินทุน (opportunity costs of capital) ซึ่งเป็นอัตราที่สะท้อนถึงการเลือกของสังคมโดยส่วนรวมระหว่างผลตอบแทนในปัจจุบันและอนาคตไม่มีใครเลยที่จะทราบว่าค่าเสียโอกาสที่แท้จริงเป็นเท่าใด ค่าเสียโอกาสของทุนในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่จะมีค่าในรูปที่แท้จริง (inreal terms) อยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 15 ต่อปี ดังนั้น อัตราที่เลือกใช้กันทั่วไปตาม (the rule of thumb) คือร้อยละ 12 ต่อปี

อัตราคิดลดที่เลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจแบบที่สองคืออัตรากู้ยืม (Borrowing rate) ที่ประเทศต้องจ่าย เพื่อที่จะใช้กับโครงการเมื่อประเทศคาดว่าจะมีอัตรากู้ยืมเงินจากต่างประเทศมาเพื่อการลงทุนโครงการ

อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (Social time preference rate) โดยทั่วไปใช้อัตราคิดลดที่ใช้กับผลตอบแทนอนาคตต่อสังคมโดยส่วนรวมจะมีค่าต่ำกว่าอัตราคิดลดต่อบุคคล เพราะสังคมมีช่วงเวลา (time horizon) ที่ยาวนานกว่าบุคคลนั่นเอง ซึ่งหมายความว่าอัตราคิดลดที่ใช้กับโครงการสาธารณะ (public project) จะต่ำกว่าที่ใช้กับโครงการเอกชน (private project) อัตราความชอบตามเวลาทางสังคมนี้จะแตกต่างไปจากค่าเสียโอกาสของทุนตรงที่ว่าค่าเสียโอกาสของทุนได้จากกิจกรรมการลงทุนทั้งภาครัฐและเอกชน

โดยในการศึกษารั้งนี้ จะเลือกใช้อัตราคิดลดร้อยละ 10 เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งอัตราคิดลดของประเทศที่กำลังพัฒนา อัตราคิดลดจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8-15

### 2.3.7 แนวคิดเกี่ยวกับอายุโครงการ

อายุโครงการ หมายถึง ช่วงเวลาที่โครงการยังคงให้ผลตอบแทน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่โครงการยังคงสามารถทำได้ หรือพิจารณาตามอายุการใช้งานทางเทคนิคของทรัพย์สินประเภททุนที่สำคัญ โดยยึดเหตุผลทางวิศวกรรม (ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ; ชาย กิตติคุณาภรณ์. 2543: 74)

### 2.3.8 แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

ในโลกของความเป็นจริง อนาคตเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน เนื่องจากเกิดความเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ต่างๆ มากมาย เช่น อาจมีความเปลี่ยนแปลงของความต้องการด้านตลาดที่คาดไว้ในอนาคต การเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิง ต้นทุนและผลประโยชน์เกิดการเปลี่ยนแปลง ราคาของผลผลิต อัตราคิดลด ซึ่งจะทำให้มีผลต่อการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่าหากข้อสมมติและเหตุการณ์ต่างๆตามที่กำหนดไว้เดิม เกิดเปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลกระทบต่อความเป็นไปได้โครงการ โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอน ได้แก่ (หฤทัย มีนะพันธ์. 2550: 657)

2.3.8.1 ผลผลิตของโครงการ ผลผลิตของโครงการเป็นผลประโยชน์หลักของโครงการ ซึ่งหากผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่คาดการณ์เอาไว้ ก็จะทำให้มีผลต่อมูลค่าของผลประโยชน์ของโครงการ

2.3.8.2 ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายของโครงการที่ได้มีการประมาณการเอาไว้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ

2.3.8.3 ราคาที่นำมาใช้ในการประเมินค่า เนื่องจากราคาที่นำมาใช้ในการประเมินต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการจะใช้ราคาปัจจุบันคงที่ ซึ่งอาจจะทำให้ผลการประเมินผิดพลาดได้ โดยในความเป็นจริงแล้วราคาของปัจจัยการผลิตที่ใช้ประเมิน ย่อมไม่คงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการซึ่งในอนาคตราคาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ

ซึ่งปัจจัยต่างๆที่ได้กล่าวมานี้ ทำให้โครงการเกิดความเสี่ยงและความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อดูว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วจะมีผลอย่างไรต่อความเป็นไปได้ของโครงการโดยในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทั้งทางด้านการเงินและทางเศรษฐศาสตร์ ภายใต้ข้อสมมติของการศึกษา ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านต้นทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ผลประโยชน์คงที่ ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะทางเศรษฐกิจที่มีความผันผวนตลอดเวลา เนื่องจากการปรับตัวของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของโครงการ เช่น ราคาน้ำมัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อราคาสินค้าในปัจจุบัน

กรณีที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านผลประโยชน์โดยกำหนดให้ผลประโยชน์ลดลงร้อยละ 30 ต้นทุนคงที่ จากความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากฤดูกาล ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลนกะลาปาล์ม และเหตุขัดข้องทางเทคนิคของเครื่องจักรทำให้ต้องหยุดการเดินเครื่อง

### 2.3.9 แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบภายนอก

ทฤษฎีทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดแก่สังคม โดยศาสตร์ทางด้านนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจ ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้ทรัพยากร โดยทรัพยากรถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยการผลิตในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งแต่เดิมนั้นมิได้คำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (โรบิน แบต; และ ไมเคิล ปาร์กิน. 2548: 233)

จากการใช้ทรัพยากรเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตนี้ ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดสินค้าและบริการในระบบเศรษฐกิจแล้ว ยังก่อให้เกิดผลกระทบภายนอกต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากรายการที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ บางส่วนสามารถทดแทนขึ้นใหม่ แต่บางส่วนใช้แล้วหมดไป เมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้น การนำทรัพยากรมาใช้เพื่อเป็นปัจจัยการผลิตในการผลิตสินค้าและบริการก็

เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผลกระทบภายนอกที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

ปัจจุบันผลกระทบภายนอก ที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม จึงถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุน เพื่อให้สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของสินค้าและบริการที่ทำการพิจารณาอยู่

ดังนั้นผลกระทบภายนอก หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจจากการใช้ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลทำให้สถานภาพของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยอาจมีผลทำให้สิ่งแวดล้อมมีสภาพเลวลงหรือดีขึ้นก็ได้ โดยสภาพดังกล่าวนี้ ไม่สามารถนำมาตกลงกันโดยอาศัยกลไกตลาด และไม่มีการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น

ผลกระทบภายนอกจากการใช้ทรัพยากรที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนี้ อาจเป็นผลกระทบภายนอกเชิงลบ (negative externalities) โดยมีผลทำให้คุณภาพสิ่งแวดล้อมแย่ลงกว่าระดับเดิม ผลกระทบดังกล่าวนี้ก่อให้เกิด ต้นทุนภายนอก (external costs) ซึ่งปัญหาผลกระทบภายนอกเชิงลบนี้ มักจะไม่มีผู้รับผิดชอบโดยตรง จึงมักไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งมีผลทำให้ราคาของสินค้าและบริการไม่สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ไม่มีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ โดยผลกระทบภายนอกที่มีต่อสิ่งแวดล้อมนั้นบางครั้งอาจถูกเรียกว่า มลพิษ (pollution)

### 2.3.10 แนวคิดเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบภายนอก

โดยการประเมินมูลค่าผลกระทบภายนอก มี 3 วิธีการด้วยกัน ได้แก่ (โรบิน แบด; และ ไมเคิล พาร์กิน. 2548: 234)

2.3.10.1 การประเมินโดยใช้มูลค่าตลาด (Market Value Approach) โดยสิ่งแวดล้อมเปรียบเสมือนปัจจัยการผลิต การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในผลิตภาพและต้นทุนการผลิต และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงราคาและระดับผลผลิต ซึ่งวิธีการประเมินโดยใช้มูลค่าตลาด ประกอบด้วย

- 1) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพ (Change in Productivity)
- 2) ต้นทุนความเจ็บป่วย (Cost of Illness)
- 3) ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost)
- 4) ต้นทุนในการทดแทน (Replacement Cost)
- 5) ต้นทุนในการป้องกัน (Preventive Expenditure)

2.3.10.2 การประเมินโดยใช้มูลค่าตัวแทน (Surrogate Value Approach) โดยการใช้มูลค่าตลาดของสินค้าทดแทน ทางอ้อมนี้ เพราะสินค้าบริการที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมีลักษณะทดแทนกันได้ดีกับสินค้าและบริการทั่วไปที่ผ่านระบบตลาด ซึ่งมูลค่าของสิ่งแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เลือกมาเป็นตัวแทน ประกอบด้วย

- 1) มูลค่าทรัพย์สินหรือที่ดิน (Property or Land Value)
- 2) ความแตกต่างของค่าจ้างแรงงาน (Wage Differential)
- 3) ต้นทุนในการเดินทาง (Travel Cost)

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วุฒิกัญจน์ คุมรินทร์ (2544) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่ความเข้มข้นสูงโดยการหมักแบบชั้นกรองไร้อากาศ 2 ชั้นตอนร่วมกับวิธีการวนน้ำหมัก โดยมีการวนน้ำหมักระหว่าง 2 ถัง ถึงไปที่ 1 บรรจุขยะเศษอาหารเพื่อเพิ่มผลิตรกรดอินทรีย์และหมุ่หมวนกรดอินทรีย์ป้อนเข้าถังไปที่ 2 ซึ่งมีการบรรจุตัวกลางพลาสติก (Bio – media) น้ำหมักที่ผ่านการย่อยสลายจะถูกหมุ่หมวนกลับเข้าถึงผลิตรกรดในอัตราที่เท่ากันตามปริมาตรที่ต้องการเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของขยะเศษอาหารและการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราการหมุ่หมวนที่ต่างกัน

ขยะเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นเศษอาหารจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน  $0.345 \text{ m}^3/\text{kg.COD}$  ประสิทธิภาพการย่อยสลายในรูป COD 97% ระยะเวลาการหมัก 65 วัน การทดลองหมักในถังหมัก 2 ชั้นตอน ปริมาตร 200 ลิตรพบว่าขยะเศษอาหารในถังผลิตรกรดอินทรีย์เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วได้กรดอินทรีย์เข้มข้นสูง  $19,340 \text{ mg/l}$  ค่า COD  $120,000 \text{ mg/l}$  การหมุ่หมวนเข้าถึงผลิตรกรดมีเทนเป็นช่วงๆ เกิดการผลิตก๊าซมีเทนในอัตราที่ต่ำและไม่สม่ำเสมอ ค่า TVA/COD ของกรดอินทรีย์มีค่า 0.11 และถึงผลิตรกรดมีเทนมีค่า 0.20–0.39 การหมุ่หมวนน้ำหมักเข้าถึงผลิตรกรดมีเทนแบบต่อเนื่อง ระบบสามารถรับภาระสารอินทรีย์และผลิตรกรดมีเทนได้สูงกว่าการป้อนกรดอินทรีย์แบบเป็นช่วง ๆ ค่า TVA/COD ของระบบมีค่า 0.68–0.98 ที่อัตราการป้อนกรดอินทรีย์  $0.55 \text{ Kg.COD/m}^3/\text{Day}$  อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ที่ 70–160 ลิตรต่อวัน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์เป็น 1–2  $\text{Kg. COD/m}^3/\text{Day}$  อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 100–200 ลิตรต่อวัน โดยมีประสิทธิภาพการย่อยสลาย COD 95–96% และลดลงเป็น 78% เมื่อป้อนสารอินทรีย์กรดอินทรีย์ในอัตรา  $2.0 \text{ Kg.COD/m}^3/\text{Day}$  การหมุ่หมวนกรดอินทรีย์เข้าถึงผลิตรกรดมีเทนในอัตราที่สูงขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้เพิ่มขึ้นแต่ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนคงที่ที่  $0.24 \text{ m}^3/\text{Kg.COD}$  คิดเป็น 70% ของศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของขยะเศษอาหารและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเฉลี่ย 120 ลิตร/วัน

จากผลการทดลอง ชั้นตอนที่ 1 เป็นข้อจำกัดของระบบในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารด้วยการหมักแบบชั้นกรองไร้อากาศ 2 ชั้นตอนร่วมกับวิธีการหมุ่หมวนน้ำหมัก คือ ชั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตรกรดมีเทน

อาริยา วิรัชวรกุล (2546) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองชั้นตอน ระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 27.73 ลิตร และถังหมักก๊าซมีปริมาตรการหมัก 52.83 ลิตร ซึ่งถึงปฏิกิริยาทั้งสองขั้นตอนนี้ มีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์ ดำเนินระบบด้วยสารละลายเศษอาหารที่มีค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 4 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 35, 30, 25 และ 20 วัน คิดเป็นอัตราการป้อน

สารอินทรีย์เท่ากับ 5.77 6.39 8.30 และ 10.27 กรัม ซีไอดี/ลิตร-วัน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 82.11 – 90.13 % ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 75.29 – 84.34% ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 83.15 – 89.29% และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 61.75 – 83.93% โดยที่ระยะเวลาเก็บเก็บ 35 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.77 กรัม ซีไอดี/ลิตร-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงที่สุดเท่ากับ 90.13% ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น 31.19 ลิตรต่อวัน โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเป็น 57.32% ส่วนที่ระยะเวลาเก็บเก็บ 20 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 10.27 กรัม ซีไอดี/ลิตร-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 82.11% แต่มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นสูงสุดคือ 54.35 ลิตรต่อวันและมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนเท่ากับ 61.26 %

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบเมื่อดำเนินระบบโดยใช้ระยะเวลาเก็บเก็บ 35, 30, 25 และ 20 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.77, 6.39, 8.30 และ 10.27 กรัม ซีไอดี/ลิตร-วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ 0.093, 0.103, 0.096 และ 0.091 ลิตร/กรัม ซีไอดี

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำหนักมวลสารอินทรีย์ที่เติมเข้าระบบ เมื่อดำเนินระบบโดยใช้ระยะเวลาเก็บเก็บ 35, 30, 25 และ 20 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.77, 6.39, 8.30 และ 10.27 กรัม ซีไอดี/ลิตร-วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้ 0.053, 0.063, 0.055 และ 0.056 ลิตร/กรัม ซีไอดี

วิลาวัลย์ ชาญณรงค์ (2549) การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ Semi-pilot Scale. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาการศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินการของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ Semi-pilot Scale ประกอบไปด้วยถังหมักกรดขนาด 250 ลิตร จำนวน 1 ถัง ปริมาตรการหมัก 180.2 ลิตร และถังหมักมีเทนขนาด 1,100 ลิตร ปริมาตรการหมัก 881.44 ลิตร จำนวน 3 ถัง มีระยะเก็บเก็บสารอินทรีย์ 25 วัน พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อเพิ่มค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารที่เข้าระบบจาก 4 เป็น 5 และ 7% (น้ำหนักต่อปริมาตร) ตามลำดับ พบว่ามีค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารที่เข้าระบบเท่ากับ 5% คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 กรัม ซีไอดีต่อลิตร-วัน ปริมาณก๊าซมีเทนในองค์ประกอบของก๊าซทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 46.35 % มีก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1,355.80 ลิตรต่อวัน ประสิทธิภาพการลดค่าของแข็งทั้งหมดสูงสุด เท่ากับ 90.62% และประสิทธิภาพการลดของแข็งระเหยสูงสุดเท่ากับ 94.56%

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนต่อสารอินทรีย์เข้าระบบ ซึ่งในการศึกษาการผลิตก๊าซจากชีวภาพจากเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ semi-pilot scale นี้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อสารอินทรีย์ (COD.added, TS.added, TSS.added

และ TSV.added ตามลำดับ) ที่เข้าระบบมีค่าที่สภาวะสมดุลเฉลี่ยเท่ากับ 0.74, 0.80, 1.12 และ 0.87 ลิตรต่อสารอินทรีย์เข้าระบบและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อสารอินทรีย์ที่เข้าระบบมีค่าที่สภาวะสมดุลเฉลี่ยเท่ากับ 0.34, 0.37, 0.51 และ 0.40 ลิตรต่อสารอินทรีย์เข้าระบบ

ภาวิณี ชัยประเสริฐ, อรรณพ นพรัตน์, ศักรินทร์ ภูมิรัตน์, มรกต ตันติเจริญ (2546), ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศที่ มจร. พัฒนาขึ้นนี้ได้มีการก่อสร้างและดำเนินการจริงในระดับอุตสาหกรรมแล้ว โดยก่อสร้างถึงปฏิกรณ์ขนาด 5,200 ลบ.ม. เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปงข้าว โดยออกแบบระบบให้รับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในปริมาณวันละ 2,000 ลบ.ม. ความเข้มข้นของน้ำเสียในรูปซีโอดี 5,500 มก./ล. แต่ทั้งนี้โรงงานได้นำเทคโนโลยีสะอาดเข้ามาใช้ ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำเสียลงเหลือประมาณ 1,200 ลบ.ม. ระบบบำบัดได้ดำเนินงานมาตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2542 โดยปัจจุบันยังคงมีเสถียรภาพที่ดี ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 80-90 ตามที่คาดหวัง และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้วันละ 2,500 – 3,000 ลบ.ม. ปัจจุบันได้ติดตั้งเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทดแทนการใช้ไฟฟ้าของโรงงานได้วันละประมาณ 3,000 kWh ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนการใช้ไฟฟ้า ระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศที่สร้างขึ้นในโรงงานแปงข้าวนี้เมื่อใช้ร่วมกับบ่อเปิดเดิมที่มีอยู่ สามารถบำบัดน้ำทิ้งสุดท้าย ให้มีค่าบีโอดีต่ำกว่า 20 มก./ล. ได้ตามเกณฑ์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากบ่อบำบัดเดิมซึ่งเป็นปัญญากับโรงงานเนื่องจากส่งผลกระทบต่อชุมชนข้างเคียง

นุจรี เพชรรัตน์ (2548). ศึกษาการประเมินโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการดำเนินโครงการส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ รวบรวมปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินโครงการ โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ ในด้านผลตอบแทนการลงทุนและด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 5,000 ลูกบาศก์เมตร เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลจะวิเคราะห์เชิงพรรณนาและเชิงปริมาณ โดยอาศัยตัวบ่งชี้ของโครงการ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ จากการศึกษาพบว่า การดำเนินโครงการนั้นมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนโดยตัวของโครงการเอง แต่การตัดสินใจลงทุนในระบบดังกล่าว ยังไม่จูงใจให้เจ้าของฟาร์มร่วมลงทุนมากนัก เนื่องจากระบบมีราคาแพงและผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังขาดสภาพคล่องของเงินลงทุนดังนั้นควรมีการประสานงานกับแหล่งเงินทุนอื่น เช่น กองทุนสิ่งแวดล้อมในการสนับสนุนปล่อยกู้ด้วยอัตราดอกเบี้ยต่ำ การกำหนดนโยบายช่วยเหลือเจ้าของฟาร์มที่ลงทุนระบบแล้วผลิตไฟฟ้าได้และสามารถขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในราคาที่เหมาะสมและคุ้มทุน

เอส ราไซ (2006). ศึกษาสารประกอบในก๊าซชีวภาพจากโรงผลิตก๊าซชีวภาพต่างๆ เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพไปเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยมีก๊าซ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไนโตรเจน สารอินทรีย์ระเหย และสารกำมะถันได้จากการวัดค่าองค์ประกอบของก๊าซในตัวอย่างของก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ในถังหมักไร้อากาศ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์

มีเทนอยู่ในช่วงจาก 48 – 65 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จาก 36 – 41 เปอร์เซ็นต์ และ ไนโตรเจน จาก 1 – 17 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณออกซิเจนในก๊าซทั้งสาม คือ 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ มีเทนสูงสุดเกิดที่ขึ้นในก๊าซจากระบบการหมักจากของเสีย ในขณะที่ปริมาณมีเทนต่ำสุด และ สูงสุด มีปริมาณไนโตรเจนพบในก๊าซจากระบบหมัก ในช่วงฤดูหนาว ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมด แตกต่างกัน 5-268 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และได้ต่ำสุดในก๊าซชีวภาพจากฟาร์ม ก๊าซซัลไฟด์ ไฮโดรเจน กำมะถัน และสารอื่นๆที่เกิดขึ้นในก๊าซจากการฝังกลบ และ ก๊าซชีวภาพจากฟาร์ม อินทรีย์สารซิลิคอนพบยังอยู่ในการฝังกลบและก๊าซจากระบบการหมักน้ำเสีย ก๊าซชีวภาพใน โรงงานผลิตที่แตกต่างกัน แตกต่างกันโดยเฉพาะในการติดตามปริมาณสารประกอบนี้ ควรจะ พิจารณาเพื่อในวางแผนการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อให้เกิดเป็นพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

ธีระพล จินดาวงศ์ (2544). ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในระบบ ผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกร โดยศึกษาสภาพเศรษฐกิจ สังคม การจัดการของเสีย ความคิดเห็น ของผู้ประกอบการฟาร์มสุกรในการลงทุนระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เปรียบเทียบลักษณะที่ก่อสร้างและ ไม่ก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ประกอบการฟาร์มสุกรในพื้นที่ปศุสัตว์เขต 7 จำนวน 147 ฟาร์ม เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลข คณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบสมมติฐาน เป็นการศึกษานี้ 1 และส่วนที่ 2 ทำการ วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของฟาร์มทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ ฟาร์มขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาด 50 100 และ 1,000 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยมีการวิเคราะห์ผลประโยชน์เปรียบเทียบ เกณฑ์ที่ใช้ ในการพิจารณา คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนของ โครงการ ณ อัตราคิดลดร้อยละ 8, 10 และ 14 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ฟาร์ม ขนาดกลางให้ผลต่อการลงทุนคุ้มค่าและมีความเป็นไปได้ต่อการลงทุนมากที่สุด รองลงมาคือ ฟาร์ม ขนาดใหญ่และฟาร์มขนาดเล็ก ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร เพื่อหาความเหมาะสมของขนาดในแต่ละระบบและศักยภาพในการผลิตของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในมหาวิทยาลัย 3 แห่ง โดยมีรายละเอียดของวิธีการดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

1. Plug Flow (Dry Fermentation Technology)
2. CSTR/Completely Mixed System 1-Stage Digester
3. CSTR/Completely Mixed System Anaerobic Mixing Reactor (AMR)

#### 3.2 การเก็บตัวอย่างของของเสียที่เข้าระบบและของเสียออกจากระบบ

ส่งผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์แบ่งตามพารามิเตอร์ซึ่งแสดงค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่า COD
- 2) ค่า pH
- 3) ค่า Total Volatile Solids (VS)
- 4) ค่า Total Solids (TS)

#### 3.3 เก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

ส่งผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์แบ่งตามองค์ประกอบของก๊าซ ซึ่งแสดงค่าต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ค่า Hydrogen
- 2) ค่า Methane
- 3) ค่า Carbondioxide

### 3.4 การประเมินศักยภาพของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

การประเมินศักยภาพการเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร ในมหาวิทยาลัย 3 แห่ง โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของเทคโนโลยีทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกัน ในด้านการผลิตพลังงานจากเศษอาหารในขนาดต่าง ๆ กัน และมีผลต่อการลงทุนในแต่ละเทคโนโลยี โดยกำหนดให้

$$BG_i = 0.25 \times F_i \times \% \text{COD Removal} \times (\text{Nm}^3 / \text{kg COD Removal}) \quad (3.1)$$

$BG_i$  = ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้  
 $F_i$  = ปริมาณขยะเศษอาหาร

### 3.5 การหาปริมาณก๊าซชีวภาพ เทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG)

จากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้แต่ละเทคโนโลยีนำมาคิดหาปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG)

$$\text{LPG} = BG_i \times 0.46 \quad (3.2)$$

$\text{LPG}$  = ปริมาณก๊าซหุงต้ม

### 3.6 การหาปริมาณก๊าซชีวภาพ เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า

จากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้แต่ละเทคโนโลยีนำมาคิดหาปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า

$$P_w = BG_i \times 2.185 \quad (3.3)$$

$P_w$  = พลังงานไฟฟ้า

### 3.7 การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณปุ๋ยที่ผลิตได้ในแต่ละเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ ราคาผลตอบแทนปุ๋ยที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ดังสมการที่ 3.4

$$FC_i = (F_i \times \% \text{TS} \square 100) \times 5 \quad (3.4)$$

โดยกำหนดให้  $FC_i$  = มูลค่าจากการขายปุ๋ย (บาท/ปี)

$\text{TS}$  = ประสิทธิภาพการกำจัด TS removal

### 3.8 แนวคิดเกี่ยวกับดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้หรือการวิเคราะห์โครงการ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ มีความสำคัญอย่างมากในการ ที่จะยอมรับ หรือปฏิเสธโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่ เพื่อนำมาใช้สำหรับเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมี 3 ตัว คือ

3.8.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้วของโครงการ หรือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนลบด้วยผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิอาจมีค่าเป็นบวก ลบหรือศูนย์ ก็ได้ขึ้นอยู่กับขนาดมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit: PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost: PVC) สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^n [(Bt - Ct)/(1+r)^t] \quad (3.5)$$

$$= PVB - PVC$$

เมื่อ Bt = ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราคิดลดที่เหมาะสม (Discount Rate)

t = ปีของโครงการ คือปีที่ 1, 2, 3... n

n = จำนวนปีทั้งสิ้นของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่ามากกว่าศูนย์ หมายความว่า มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนซึ่งแสดงถึงการลงทุนคุ้มค่า

3.8.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุของโครงการซึ่งเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$BCR = \sum_{t=1}^n [(Bt/(1+r)^t) / \sum_{t=1}^n [Ct/(1+r)^t] \quad (3.6)$$

$$= PVB/PVC$$

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการ คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ต้องมีค่ามากกว่าหนึ่ง ทั้งนี้เพราะเมื่อ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่งหมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการจะมีมากกว่าต้นทุนที่เสียไปในโครงการ

3.8.3. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการลงทุน หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยได้ก็ตามที่ใช้เป็นอัตราคิดลดซึ่งมีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์สำหรับอัตราผลตอบแทนภายในโครงการจะทำการศึกษาดังนี้

3.8.3.1 Financial Internal Rate of Return (FIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านการเงินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุน หรืออัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืม ถ้า FIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าการลงทุนด้านการเงิน

3.8.3.2 Economic Internal Rate of Return (EIRR) ใช้สำหรับการวิเคราะห์โครงการด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทรัพยากรที่นำมาใช้ในโครงการ หรือค่าเสียโอกาสเงินทุน ซึ่งถ้าค่า EIRR มีค่ามากกว่าค่าเสียโอกาสเงินทุน ถือว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

โดยสูตรการคำนวณค่า IRR เขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$IRR = \sum_{t=1}^n [(B_t - C_t) / (1 + r)^t] = 0 \quad (3.7)$$

เกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าสูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน แสดงว่าการลงทุนในโครงการนี้จะคุ้มค่าเพราะผลตอบแทนของเงินที่ใช้ไปในโครงการจะสูงกว่าใช้เงินไปในทางเลือกอื่น

### 3.9 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

โดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost - Benefit Analysis) ของโครงการ โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา ด้วยดัชนีชี้วัดความคุ้มค่า คือ การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Economic Internal Rate of Return: EIRR) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ จะแตกต่างจากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน คือ การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ราคาที่ใช้ คือ ราคาเงา (Shadow Price) ซึ่งเป็นราคาที่สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของทรัพยากรสำหรับการระบุดำเนินทุนและผลประโยชน์ ของโครงการจะทำการพิจารณาทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อให้ทราบถึงมูลค่าของทรัพยากรทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้กับโครงการ

### 3.10 การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

พิจารณาผลตอบแทนการลงทุนของโครงการแยกตามเทคโนโลยี ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบกับก๊าซหุงต้ม(LPG) และปริมาณปุ๋ย แบ่งการศึกษาเป็น 4 กรณี

กรณีที่ 1 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์คงที่

กรณีที่ 2 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG บวกมูลค่าปริมาณปุ๋ยโดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์คงที่

กรณีที่ 3 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบมูลค่า LPG

กรณีที่ 4 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบมูลค่า LPG บวกมูลค่าปริมาณปุ๋ยคงที่

### 3.11 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์โครงการว่าโครงการนั้นๆ มีเปอร์เซ็นต์ผลตอบแทนการลงทุนของโครงการสูงเพียงไร การประเมินโครงการวิธีนี้จะหาอัตราส่วนลดที่ทำให้ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคตเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก นั่นคืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์

เกณฑ์ในการตัดสินใจ

- อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ คือ อัตราผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนั้น
- อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ เท่ากับต้นทุนของเงินทุน คือโครงการนั้นให้อัตราผลตอบแทนเท่ากับต้นทุนของเงินทุน
- เลือกอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการลงทุนที่มากกว่าต้นทุนของเงินทุน
- ปฏิเสธอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการที่น้อยกว่าต้นทุนของเงินทุน
- กรณีเป็นโครงการที่ทดแทนกันเลือกอัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุนที่มากกว่า

### 3.12 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทำงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. รวบรวมข้อมูลและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย										
2. เก็บรวบรวมข้อมูล										
3. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์										
4. สรุปผลการศึกษาและจัดทำรูปเล่ม										



## บทที่ 4

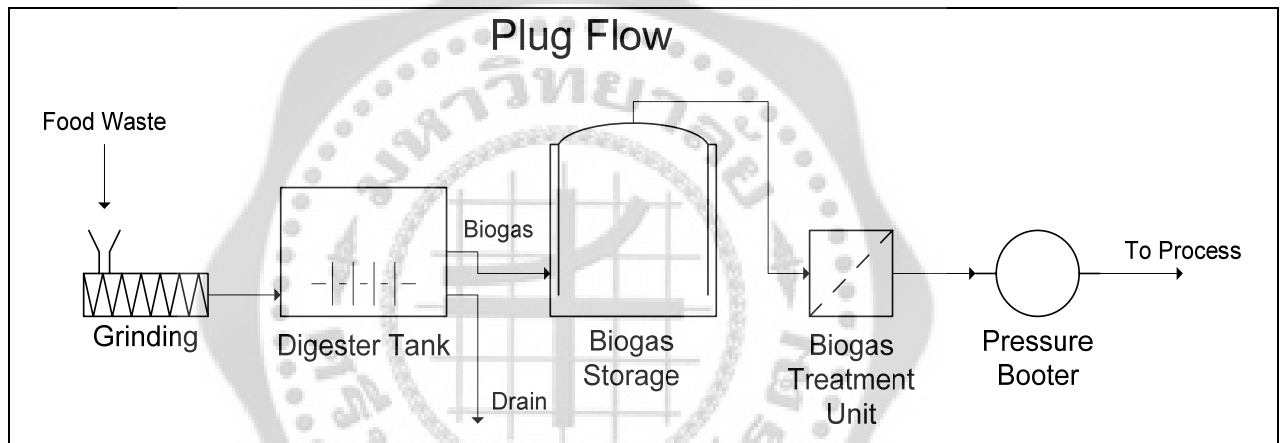
### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การประเมินเทคโนโลยี

##### 4.1.1 ประเมินการออกแบบและเงื่อนไขการออกแบบ

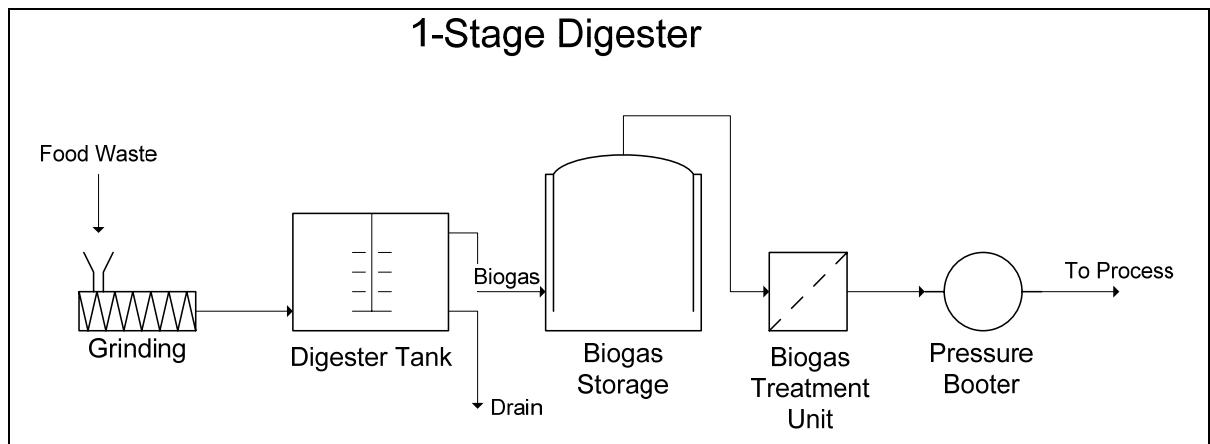
###### 1) Process Flow diagram

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ แบบ Plug Flow, CSTR แบบ 1 ขั้นตอน (1-stage digester) และ CSTR แบบ AMR (Anaerobic Mixing Digester)



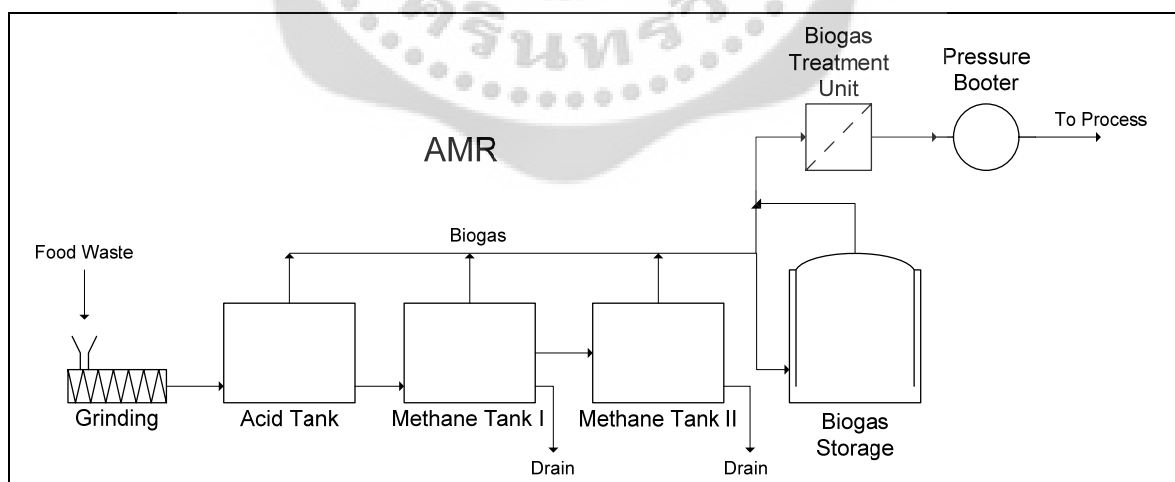
ภาพประกอบ 15 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบป้อนหมักกราง (Plug Flow)

จากภาพประกอบ 15 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร เทคโนโลยีแบบ Plug Flow เริ่มจากการป้อนเศษอาหารที่เตรียมไว้ (ตัดแยกเศษอาหาร) เข้าเครื่องบดเศษอาหาร แล้วส่งเข้าถังหมักก๊าซชีวภาพ (Digester Tank) และในถังหมักสามารถระบายตะกอนออกในถังกักเก็บนี้ จะมีกวนด้วยมอเตอร์ในแนวนอนเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ ใช้เวลากักเก็บ 40 วัน จนเกิดก๊าซชีวภาพ แล้วก็จะไหลไปสู่ถังเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ (Biogas Storage) ก๊าซชีวภาพไหลเข้าสู่ระบบทำความสะอาด แล้วผ่านไปเข้าระบบอัดเพื่อเพิ่มแรงดันเพื่อส่งต่อเข้ากระบวนการใช้งาน



ภาพประกอบ 16 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์แบบ 1 ขั้นตอน (CSTR 1-Stage)

จากภาพประกอบ 16 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร เทคโนโลยีระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์แบบ 1 ขั้นตอน (CSTR 1-Stage) เริ่มจากการบดเศษอาหารที่เตรียมไว้ (คัดแยกเศษอาหาร) เข้าเครื่องบดเศษอาหารแล้วส่งเข้าถังหมักก๊าซชีวภาพ (Digester Tank) และในถังหมักสามารถระบายตะกอนออกในถังกักเก็บนี้ มีการกวนด้วยมอเตอร์ในแนวตั้งเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ ใช้เวลากักเก็บ 27 วัน จนเกิดก๊าซชีวภาพ แล้วก็ไหลไปสู่ถังเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ (Biogas Storage) ก๊าซชีวภาพไหลเข้าสู่ระบบทำความสะอาด แล้วผ่านไปเข้าระบบอัดเพื่อเพิ่มแรงดันเพื่อส่งต่อเข้ากระบวนการใช้งาน



ภาพประกอบ 17 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์ Anaerobic Mixing Reactor (CSTR-AMR)

จากภาพประกอบ 17 การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์ Anaerobic Mixing Reactor (CSTR-AMR) เริ่มจากการป้อนเศษอาหารที่เตรียมไว้ (คัดแยกเศษอาหาร) เครื่องบดเศษอาหารแล้วส่งเข้าสู่หมักกรด แล้วไหลผ่านไปถังหมักก๊าซ ถังมีเทน 1 และถังมีเทน 2 จะเห็นได้ว่า ทั้ง 3 ถังจะสามารถเกิดก๊าซชีวภาพได้ และใช้เวลากักเก็บ 16 วัน แต่จะสามารถปล่อยตะกอนในถังมีเทน 1 และถังมีเทน 2 เท่านั้นจนเกิดก๊าซชีวภาพ แล้วก็ไหลไปสู่ถังเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ (Biogas Storage) ก๊าซชีวภาพไหลเข้าสู่ระบบทำความสะอาด แล้วผ่านไปเข้าระบบอัดเพื่อเพิ่มแรงดันเพื่อส่งต่อเข้ากระบวนการใช้งาน



ตาราง 1 เงื่อนไขการออกแบบเทคโนโลยี

เทคโนโลยี	ปริมาณ รองรับ ขยะ (กก.)	ความชื้น (Moisture Content : %)	Total solid (%)	Total Solid ป้อนเข้าถัง หมัก (%)	อัตราการป้อนน้ำ เสีย (น้ำเสีย+ขยะ) (m <sup>3</sup> /วัน)	HRT (วัน)	ขนาดถัง หมัก (m <sup>3</sup> )	ระบบเก็บ สำรองก๊าซ (m <sup>3</sup> )
1.Plug Flow	250	75	25	25	0.25	40	12	5.4
2.CSTR 1-stage	280	80	20	9	0.6	27	16	5
3.CSTR/ AMR	250	90	10	2	1.6	16	25.5	38

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าแต่ละเทคโนโลยีมีเงื่อนไขในการออกแบบสามารถรองรับปริมาณขยะได้ใกล้เคียงกัน คือ เทคโนโลยี Plug Flow 250 กก. เทคโนโลยี CSTR 1-stage 280 กก. เทคโนโลยี CSTR/ AMR 250 ในการออกแบบตามเทคโนโลยีความชื้นมีค่าแตกต่างกัน 75, 80, 90 ค่า Total solid 25, 20, 10 ค่า Total solid ป้อนเข้าถังหมัก 25, 9, 2 อัตราการป้อนน้ำเสีย 0.25, 0.6, 1.6 ค่ากักเก็บ HRT 40, 27, 16 ขนาดถังหมัก 12, 16, 25.5 และระบบเก็บสำรองก๊าซ 5.4, 5, 38 ตามลำดับ กก. จะสังเกตได้ว่าเงื่อนไขอื่น ๆ มีผลต่อเนื่องกัน เช่น เทคโนโลยี CSTR/ AMR มีอัตราการป้อนน้ำในปริมาณที่มากกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ ส่งผลให้มีขนาดถังกักเก็บที่มีขนาดใหญ่กว่า เป็นต้น

#### 4.1.2 ประเมินรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละเทคโนโลยี

ตาราง 2 ถังหมักก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	ขนาดถังหมัก (m <sup>3</sup> )	รายละเอียด	ราคาถังหมัก ก๊าซ (บาท)	ราคาถังหมักก๊าซ/ขนาด ถังหมัก (บาท/m <sup>3</sup> )
1. Plug Flow	12	ถังเหล็กเคลือบสีกันสนิม แผ่นเหล็กหนา 3-6 มม.	380,000	31,667
2. CSTR 1-stage	16	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 10 ซม.	289,611	18,101
3. CSTR/ AMR	25.5	คอนกรีตวง ค .ล.ส.3 บ่อ ขนาดบ่อละ 8.5 ลบ.ม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร สูง 5 เมตร	358,250	14,049

จากตาราง 2 จะเห็นว่าเทคโนโลยี แบบ Plug Flow ถังหมัก จะใช้เหล็กเคลือบสีกันสนิม แต่เทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage และแบบ CSTR/ AMR จะใช้ถังหมักคอนกรีต และขนาดถังหมัก เทคโนโลยี แบบ CSTR/ AMR จะมีขนาดใหญ่ที่สุด แต่เทคโนโลยี แบบ Plug Flow และเทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage จะมีขนาดถังหมักใกล้เคียงกัน ในการเปรียบเทียบ(ราคาถังหมักต่อขนาด) ราคาถังหมักก๊าซชีวภาพต่อขนาด เทคโนโลยี แบบ Plug Flow มีราคาสูงสุด คือ 31,667 เทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage 18,101 และแบบ CSTR/ AMR 14,049ต่อลูกบาศก์เมตร

ตาราง 3 ระบบเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	ขนาดระบบเก็บสำรองก๊าซ (m <sup>3</sup> )	รายละเอียด	ความจุการเก็บสำรองก๊าซ (m <sup>3</sup> ) ต่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (m <sup>3</sup> /วัน)
1. Plug Flow	5.4	ถังเหล็กเคลือบไฟเบอร์ กลาส หนา 3 มม.	0.22
2. CSTR 1-stage	5	บอลลูนเก็บก๊าซ วัสดุ PVC	0.31
3. CSTR - AMR	38	บ่อคอนกรีตหนา 40 cm. คลุมด้วย PVC หนา 1.2 มม.	1.49

จากตาราง 3 ระบบเก็บสำรองก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี แบบ Plug Flow ใช้ถังเหล็กเคลือบไฟเบอร์กลาส หนา 3 มม. เทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage ใช้แบบบอลลูนเก็บก๊าซ วัสดุคือ PVC เทคโนโลยี แบบ CSTR – AMR บ่อคอนกรีตหนา 40 cm. คลุมด้วย PVC หนา 1.2 มม. ขนาดระบบเก็บสำรองก๊าซ เทคโนโลยี แบบ CSTR – AMRจะมีขนาดรองรับก๊าซชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 38 ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ เทคโนโลยี แบบ Plug Flow เท่ากับ 5.4ลูกบาศก์เมตร และเทคโนโลยี แบบ CSTR – AMR เท่ากับ 5 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ เทคโนโลยีแบบ CSTR – AMRจะมีขนาดรองรับก๊าซชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 1.49 ลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือเทคโนโลยี แบบ CSTR – AMR เท่ากับ 0.31 ลูกบาศก์เมตรเทคโนโลยี แบบ Plug Flow เท่ากับ 0.22 ลูกบาศก์เมตร ต่อปริมาณก๊าซที่ผลิตได้

ตาราง 4 เครื่องบดเศษอาหาร

เทคโนโลยี	ขนาดมอเตอร์ (hp)	รายละเอียด	ราคาเครื่องบด (บาท)	ราคา/ขนาด (บาท/hp)
1.Plug Flow	3	แท่นเหล็ก พร้อมมอเตอร์	85,000	28,333
2.CSTR 1-stage	3	แท่นเหล็ก พร้อมมอเตอร์	23,005	7,668
3.CSTR/ AMR	3	แท่นเหล็ก พร้อมมอเตอร์	64,640	21,547

จากตาราง 4 เครื่องบดเศษอาหาร มีขนาดมอเตอร์เท่ากัน คือ 3 แรงม้า ใช้วัตต์ดูบเหมือนกัน แต่ราคาต่างกันคือ เครื่องบดของเทคโนโลยี แบบ Plug Flow มีราคาสูงสุดเท่ากับ 85,000 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี แบบ CSTR/ AMR เท่ากับ 64,640 ราคาน้อยที่สุดคือ เทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage เท่ากับ 23,005 บาท อาจเกิดจากยี่ห้อเครื่องบด ประสิทธิภาพการทำงาน จึงส่งผลให้มีราคาแตกต่างกันมาก

ตาราง 5 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยี	จำนวน (ชุด)	รายละเอียด
1. Plug Flow	1	ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ ใช้ผงเหล็กดัก H <sub>2</sub> S และดักไอน้ำ
2. CSTR 1-stage	2	ระบบฟอกก๊าซชีวภาพ ดัก H <sub>2</sub> S และดักไอน้ำ
3.CSTR/ AMR	1	ระบบดักไอน้ำจากก๊าซชีวภาพ

จากตาราง 5 ระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ จะใช้ระบบทำความสะอาดเกือบเหมือนกัน คือใช้ผงเหล็กดัก H<sub>2</sub>S และดักไอน้ำ

ตาราง 6 ระบบความปลอดภัย

เทคโนโลยี	รายละเอียด
1. Plug Flow	มีการติดตั้งระบบ Auto Relief valve ไว้ที่ระบบเก็บสำรองก๊าซ (Floating drum) เมื่อแรงดันมีค่ามากกว่า .07 บาร์ ซึ่งดูได้จากระดับน้ำ ก๊าซจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ
2. CSTR 1-stage	ใช้ท่อจุ่มน้ำต่อจากระบบเก็บสำรองก๊าซ เพื่อระบายก๊าซชีวภาพกรณีที่แรงดันเกินกว่าที่กำหนด โดยท่อจุ่มจากระดับน้ำประมาณ 2 ซม.
3.CSTR/ AMR	มีการติดตั้งระบบ Relief Valve ไว้ที่ระบบเก็บสำรองก๊าซ เมื่อแรงดันมีค่าเกินที่กำหนดไว้ ก๊าซจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ

จากตาราง 6 ระบบความปลอดภัย ทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้น เทคโนโลยี แบบ. Plug Flow และเทคโนโลยี แบบ CSTR/ AMR จะมีการติดตั้ง ระบบ Relief Valve ไว้ที่ระบบเก็บสำรองก๊าซแต่เทคโนโลยี แบบ. Plug Flow ใช้ระบบอโต้ จะทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงดันมากกว่า 0.7 บาร์ เทคโนโลยี

แบบ CSTR 1-stage ใช้ระบบท่อจุ่มน้ำต่อจากระบบเก็บสำรองก๊าซ เพื่อระบายก๊าซชีวภาพกรณีที่แรงดันเกินกว่าที่กำหนด โดยท่อจุ่มจากระดับน้ำประมาณ 2 ซม. ซึ่งจะต้องให้เจ้าหน้าที่คอยดูแลอยู่ตลอดเวลา

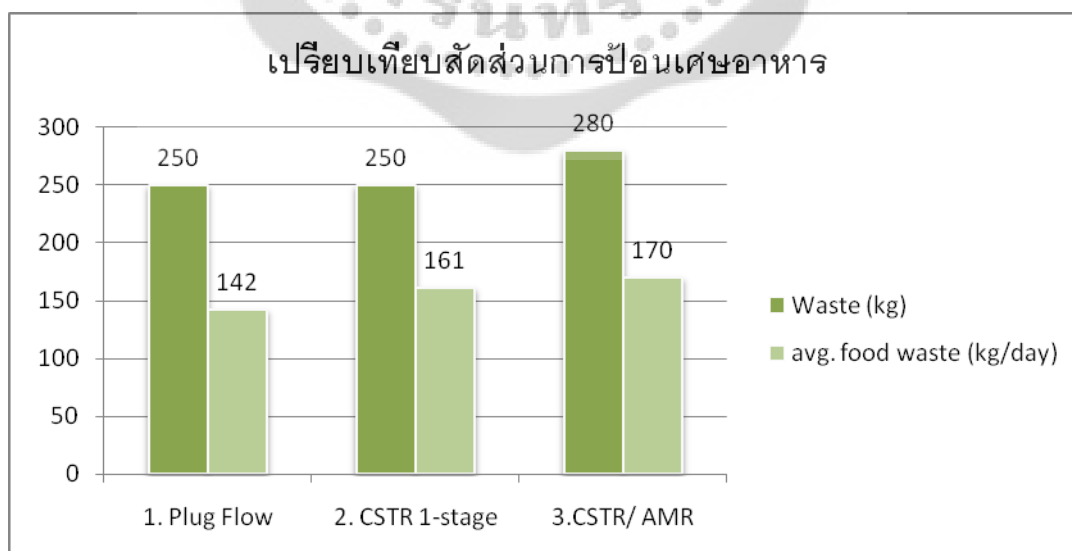
#### 1) สัดส่วนการป้อนเศษอาหารเข้าระบบ

จากการเก็บข้อมูลการใช้งานเทคโนโลยีทั้ง 3 เทคโนโลยี พบว่า สัดส่วนการป้อนเศษอาหารเข้าระบบเทียบกับค่าการออกแบบการรองรับเศษอาหาร มีค่าเฉลี่ยประมาณ 61% ดังแสดงในตาราง 7 และภาพประกอบ 17 ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณการป้อนเศษอาหารรวมทั้ง 3 เทคโนโลยีพบว่า มีการป้อนเศษอาหารเข้าระบบรวมประมาณ 473 กก./วัน จากค่าการออกแบบการรองรับปริมาณเศษอาหารรวมเท่ากับ 780 กก./วัน

ตาราง 7 เปรียบเทียบสัดส่วนการป้อนเศษอาหาร

Project	Waste (kg)	avg. food waste (kg/day)	input waste ratio (%)
1. Plug Flow	250	142	57
2. CSTR 1-stage	250	161	64
3. CSTR/ AMR	280	170	61

จากตาราง 7 สัดส่วนการป้อนเศษอาหารที่มากที่สุดคือ เทคโนโลยี แบบ CSTR 1-stage รองลงมาคือ เทคโนโลยี แบบ CSTR/ AMR สุดท้ายคือ เทคโนโลยี แบบ Plug Flow



ภาพประกอบ 18 เปรียบเทียบสัดส่วนการป้อนเศษอาหาร

## 2) ปริมาณก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้

จากการเก็บข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 3 เทคโนโลยี พบว่า ส่วนใหญ่มีการผลิตก๊าซชีวภาพจริงได้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบทั้งสิ้น เนื่องจากการบ่อนเศษอาหารยังไม่ได้มีการบ้อนสม่ำเสมอตามค่าที่ออกแบบไว้สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของการผลิตก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 18.33 ลบ.ม./วัน ซึ่งเมื่อคิดก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้ต่อวันรวมมีค่าเท่ากับ 55 ลบ.ม. เมื่อมีการเปรียบเทียบก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้จริง โดยเทียบที่ปริมาณการบ่อนเท่ากันคือ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของทุกเทคโนโลยีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 เปรียบเทียบสัดส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพ

Project	Gas Design (m <sup>3</sup> /day)	Avg. Gas Production (m <sup>3</sup> /day)	Gas Production/ton waste (m <sup>3</sup> /ton/day)
1. Plug Flow	25	24	169
2. CSTR 1-stage	16	14	87
3. CSTR/ AMR	23.6	17	100

เมื่อเก็บตัวอย่างของของเสียที่เข้าระบบและของเสียออกจากระบบ ส่งผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์แบ่งตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงตามตาราง 4.8 ซึ่งแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

ค่า COD

ค่า pH

ค่า Total Volatile Solids (VS)

ค่า Total Solids (TS)

ตาราง 9 ผลวิเคราะห์ของเสียเข้าและของเสียออกจากระบบจากห้องปฏิบัติการ

Project	Waste (kg)	influent				Effluent			
		COD (mg/L)	pH	% TS	% VS	COD (mg/L)	pH	% TS	%VS
1. Plug Flow	250	375,740	4.9	28.73	25.97	89,310	7.8	6.53	3.10
2. CSTR 1-stage	250	250,000	3.3	28.90	26.81	26,700	6.1	2.72	2.14
3.CSTR - AMR	280	130,700	5.1	2.53	2.22	5,210	7.2	0.68	0.30

จากตาราง 9 จะเห็นได้ว่า COD เข้าระบบมีประมาณน้อยเนื่องจาก จากการป้อนเศษอาหารที่มีปริมาณน้ำผสมอยู่มาก และค่า COD ออกระบบ มีปริมาณน้อยที่สุด แสดงว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดมาก

### 3) ประสิทธิภาพการกำจัด COD

#### 3.1) COD เข้าระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า COD ของของเสียที่เข้าระบบได้ โดยแบ่งตามเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 375,740 mg/L เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 250,000 mg/L และเทคโนโลยี CSRT แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 130,700 mg/L ดังแสดงในตาราง 9

#### 3.2) COD ออกจากระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่ออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า COD ของของเสียที่ออกจากระบบ โดยเมื่อแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่า COD ออกจากระบบเท่ากับ 89,310 mg/L เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 26,700 mg/L และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 5,210 mg/L ดังแสดงในตาราง 9

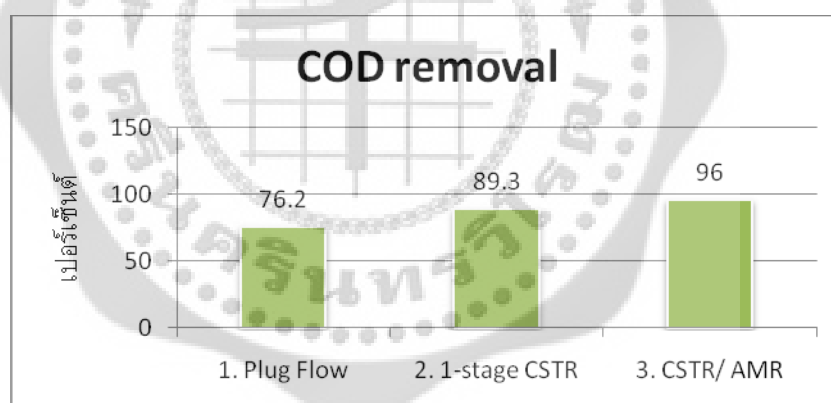
#### 3.3) ประสิทธิภาพการกำจัด COD (COD Removal)

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัด COD ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 ประสิทธิภาพการกำจัด COD

Project	Performance		
	Influent COD	Effluent COD	%COD removal
1. Plug Flow	375,740	89,310	76.2
2. CSTR 1-stage	250,000	26,700	89.3
3.CSTR/ AMR	130,700	5,210	96.0

ค่า Influent COD ที่มีความแตกต่างกันมากนั้นเกิดจากการป้อนเศษอาหารมีส่วนผสมที่มีน้ำมากทำให้ค่า COD ต่ำ จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการสามารถทราบค่าการกำจัด COD เข้า-ออกได้ โดยเมื่อแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ดังแสดงในตาราง 4.9 พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 76.2 % เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 89.3% และเทคโนโลยี แบบ CSTR - AMR มีค่าเท่ากับ 96.0% ดังแสดงในภาพประกอบ 19

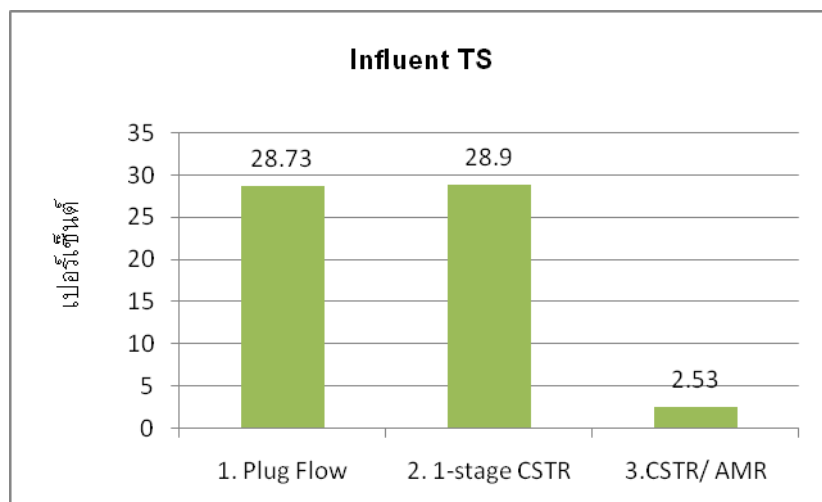


ภาพประกอบ 19 ประสิทธิภาพการกำจัด COD แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

#### 4) ประสิทธิภาพการกำจัด TS

##### 4.1) Total Solid (TS) เข้าระบบ

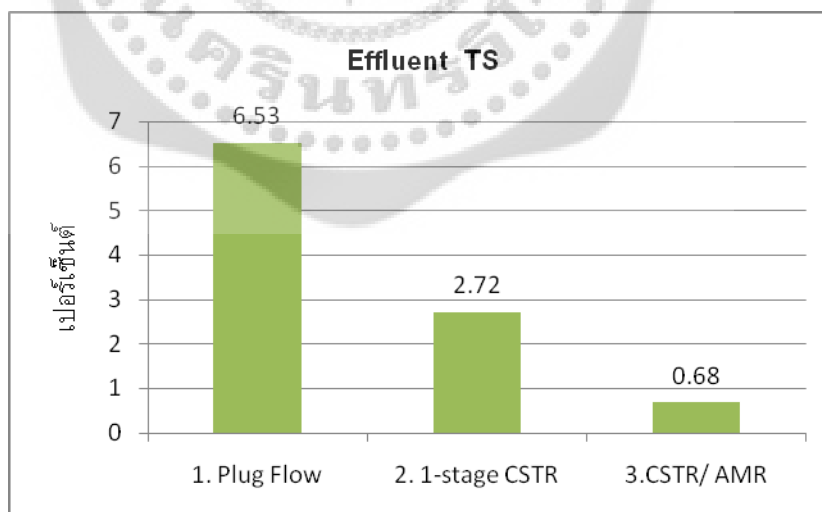
จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า TS ของของเสียที่เข้าระบบได้โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 เทคโนโลยี มีค่าเท่ากับ 20.05% โดยเมื่อแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 28.73% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 28.90% และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 2.53% ดังแสดงในภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 ค่า TS ของเสียเข้าระบบ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

#### 4.2) Total Solid (TS) ออกจากระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่ออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า TS ของของเสียที่ออกจากระบบได้ โดยแบ่งตามขนาดการรองรับปริมาณเศษอาหาร โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 เทคโนโลยีมีค่าเท่ากับ 3.31% โดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่าเทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่า % TS ออกจากระบบเท่ากับ 6.53% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 2.72% และ CSTR แบบ AMR มีค่าที่ 0.68% ดังแสดงในภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 ค่า TS ของเสียออกจากระบบ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

#### 4.3) ประสิทธิภาพการกำจัด TS (TS Removal)

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัด TS ดังแสดงในตาราง 4.11

ตาราง 11 ประสิทธิภาพการกำจัด TS

Project	Performance		
	Influent TS	Effluent TS	%TS removal
1. Plug Flow	28.73	6.53	0.77
2. CSTR 1-stage	28.90	2.72	0.91
3. CSTR/ AMR	2.53	0.68	0.73
เฉลี่ย	20.05	3.31	0.80

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัด TS คิดเป็นค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.80% โดยเมื่อมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด TS โดยแบ่งตามเทคโนโลยี พบว่า เทคโนโลยี Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.77% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 0.90% และเทคโนโลยี แบบ CSTR-AMR มีค่าเท่ากับ 0.73% ดังแสดงในตาราง 4.11 ค่า Influent TS ที่มีความแตกต่างกันมากนั้นเกิดจากความละเอียดของเศษอาหารที่ผ่านเครื่องบดจึงทำให้เทคโนโลยีนั้นได้ค่า TS ต่ำ

#### 5) ประสิทธิภาพการกำจัด VS

##### 5.1) Volatile Solid (VS) เข้าระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า VS ของของเสียที่เข้าระบบได้ โดยแบ่งตามขนาดการรองรับปริมาณเศษอาหาร โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 เทคโนโลยีมีค่าเท่ากับ 18.33% เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 25.97% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 26.81% และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 2.22% ดังแสดงในตาราง 12

##### 5.2) Total Volatile Solid (VS) ออกจากระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่ออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า VS ของของเสียที่เข้าระบบได้ โดยแบ่งตามขนาดการรองรับปริมาณเศษอาหาร โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 เทคโนโลยีมีค่าเท่ากับ 1.85% เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 3.10% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 2.14% และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 0.30% ดังแสดงตาราง 12

### 5.3) ประสิทธิภาพการกำจัด VS (VS Removal)

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัด VS ได้

ตาราง 12 ประสิทธิภาพการกำจัด VS

Project	Performance		
	Influent VS	Effluent VS	%VS removal
1. Plug Flow	25.97	3.10	0.88
2. CSTR 1-stage	26.81	2.14	0.93
3. CSTR/ AMR	2.22	0.30	0.95
เฉลี่ย	18.33	1.85	0.92

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการกำจัด VS ได้ คิดเป็นค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.92 % โดยเมื่อมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด VS โดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยี Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.88% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-stage มีค่าเท่ากับ 0.93% ส่วนเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 0.95% ดังแสดงในตาราง 4.12

### 6) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

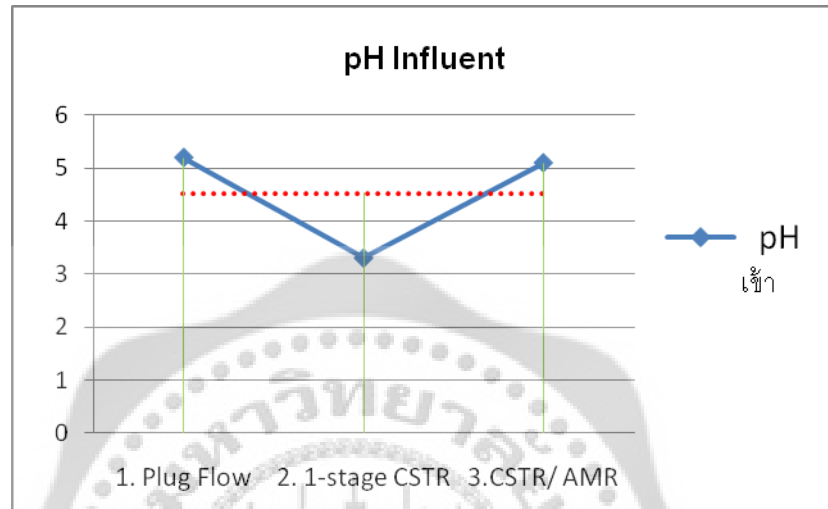
จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถทราบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ดังแสดงในตาราง 4.13

ตาราง 13 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

Project	Performance	
	Influent pH	Effluent pH
1. Plug Flow	5.2	7.2
2. CSTR 1-stage	3.3	6.1
3. CSTR/ AMR	5.1	7.2
เฉลี่ย	4.53	6.83

### 6.1) pH ที่เข้าระบบ

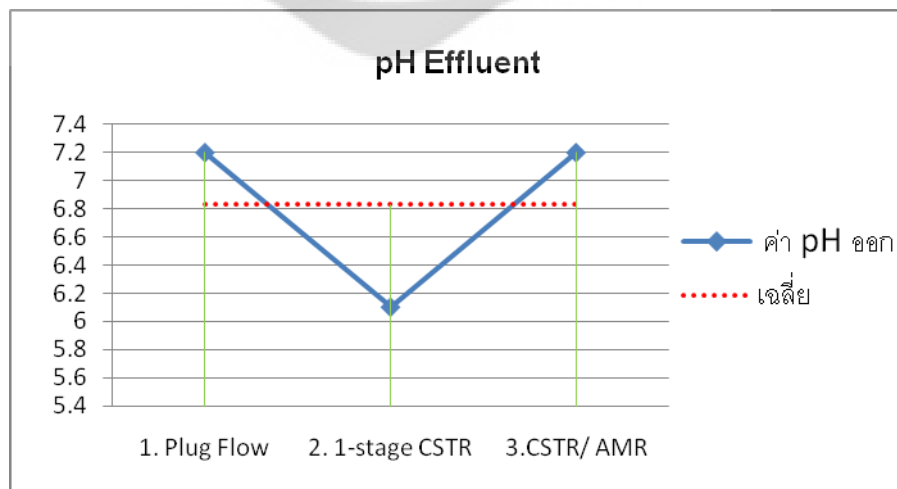
จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า pH ของของเสียที่เข้าระบบได้ โดยค่าเฉลี่ยของทุกโครงการมีค่า pH เท่ากับ 4.53 ดังแสดงในภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 ค่า pH ของของเสียเข้าระบบ

### 6.2) pH ที่ออกจากระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถเปรียบเทียบค่า pH ของของเสียที่ออกจากระบบได้ โดยค่าเฉลี่ยของทุกโครงการมีค่า pH เท่ากับ 6.83 ดังแสดงในภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 ค่า pH ของของเสียออกจากระบบ

## 7) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

จากผลวิเคราะห์ของเสียที่เข้าและออกจากระบบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ โดยแบ่งเป็นประเด็นต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด COD มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.87% ประสิทธิภาพการกำจัด TS มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.80% และประสิทธิภาพการกำจัด VS มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.92% ดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

Project	Performance		
	%COD removal	%TS removal	% VS removal
1. Plug Flow	0.73	0.77	0.88
2. CSTR 1-stage	0.89	0.91	0.93
3.CSTR/ AMR	0.96	0.73	0.95
เฉลี่ย	0.87	0.80	0.92

## 8) องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ

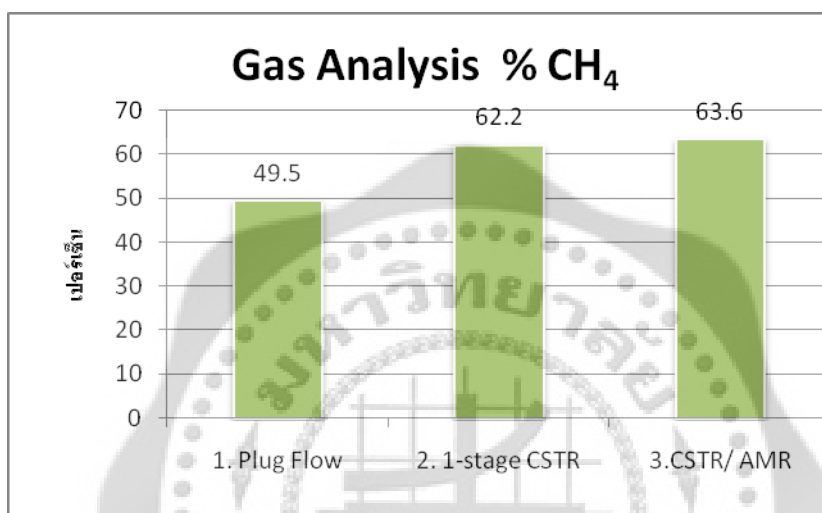
จากผลวิเคราะห์คุณสมบัติขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพประกอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ จากการสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้มาวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ พบว่า ก๊าซมีเทนมีสัดส่วนในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมากที่สุด คิดเป็น 58.4% รองลงมาคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 31.06% และสัดส่วนน้อยที่สุดได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจน คิดเป็น 10.5 % ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

Project	gas analysis		
	% CH <sub>4</sub>	%CO <sub>2</sub>	%H <sub>2</sub>
1. Plug Flow	49.5	40.9	9.6
2. CSTR 1-stage	62.2	26.3	11.5
3.CSTR/ AMR	63.6	26	10.4
เฉลี่ย	58.43	31.06	10.5

### 8.1) สัดส่วนก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

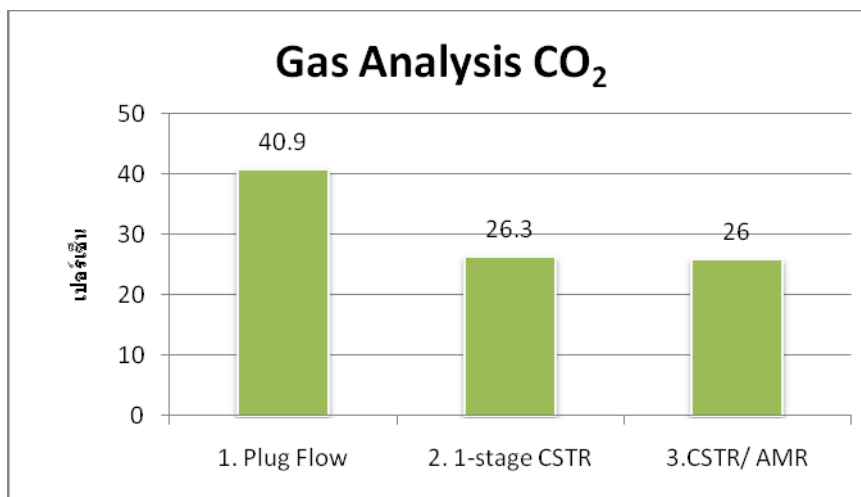
จากผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพประกอบได้จากห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์มีเทน โดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเปอร์เซ็นต์มีเทน เท่ากับ 49.5% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage มีค่าเท่ากับ 62.2% และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเท่ากับ 63.6% ดังแสดงในภาพประกอบ 24 ค่า  $\text{CH}_4$  ที่มีความแตกต่างกันนั้นเนื่องจากการหมัก การย่อยไม่สมบูรณ์ของเทคโนโลยีนั้น จะทำให้ค่า  $\text{CH}_4$  ต่ำ



ภาพประกอบ 24 สัดส่วนมีเทนในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

### 8.2) สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

จากผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพประกอบได้จากห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์มีเทน เท่ากับ 40.9% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.3 % และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 26.0% ดังแสดงในภาพ 25

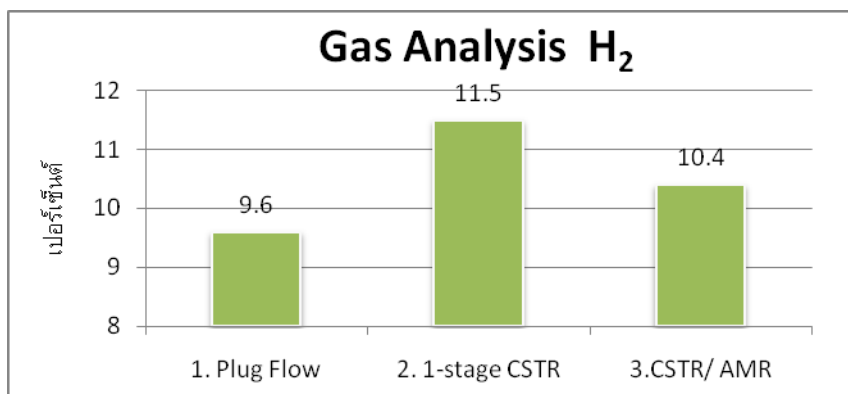


ภาพประกอบ 25 สัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

### 8.3) สัดส่วนก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>)

จากผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการประกอบก๊าซชีวภาพประกอบได้จากห้องปฏิบัติการ เมื่อมีการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนโดยแบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้ พบว่า เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเปอร์เซ็นต์มีเทน เท่ากับ 9.6% เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage มีค่าเท่ากับ 11.5 และเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีค่า เท่ากับ 10.4% ข้อสังเกตประการหนึ่งก็คือ โดยธรรมชาติของระบบก๊าซชีวภาพควรมีองค์ประกอบที่เป็นก๊าซมีเทนอยู่ที่ 50-60% ขึ้นไป แต่ในบางระบบพบว่ามีปริมาณก๊าซมีเทนต่ำกว่าค่าดังกล่าวมาก แต่เมื่อรวมก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นก๊าซเผาไหม้เช่นกัน ก็จะมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานได้เช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าก๊าซชีวภาพประกอบได้ของทุกระบบได้มาตรฐานคุณภาพก๊าซที่จะนำไปใช้เผาไหม้ได้ดังแสดงในภาพ 25

ข้อสังเกตประการหนึ่งก็คือ โดยธรรมชาติของระบบก๊าซชีวภาพควรมีองค์ประกอบที่เป็นก๊าซมีเทนอยู่ที่ 50-60% ขึ้นไป แต่ในบางระบบพบว่ามีปริมาณก๊าซมีเทนต่ำกว่าค่าดังกล่าวมาก แต่เมื่อรวมก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นก๊าซเผาไหม้เช่นกัน ก็จะมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานได้เช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าก๊าซชีวภาพประกอบได้ของทุกระบบได้มาตรฐานคุณภาพก๊าซที่จะนำไปใช้เผาไหม้ได้



ภาพประกอบ 26 สัดส่วนไฮโดรเจนในก๊าซชีวภาพ แบ่งตามเทคโนโลยีที่ใช้

#### 4.2 การคำนวณหาผลผลิตก๊าซชีวภาพ

การผลการคำนวณหาผลผลิตก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตาราง 4.16

ตาราง 16 ปริมาณก๊าซชีวภาพประกอบผลิตได้ที่ทำการศึกษาคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

เทคโนโลยี	ปริมาณขยะ เศษอาหาร (kg/วัน)	Kg-COD load Kg-COD/Day	ประสิทธิภาพ remove kg-COD Kg-COD/Day x %COD	ประสิทธิภาพ การ เกิดก๊าซ Nm <sup>3</sup> / kg COD Removal
	$F_i$	$F_i \times 0.25$		
Plug Flow	200	50	3,810	1,524
CSTR1-Stage	200	50	4,465	1,250
CSTR-AMR	200	50	4,800	1,728

เมื่อเทียบการป้อนขยะเศษอาหารเข้าระบบในปริมาณเท่ากันคือ 200 กิโลกรัมต่อวัน ทั้ง 3 เทคโนโลยีพบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพของทุกเทคโนโลยีมีค่าที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง 16 โดยระบบก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีประสิทธิภาพการเกิดก๊าซมากที่สุดเท่ากับ 1,728 รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 1,524 และ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 1,250 ตามลำดับ

#### 4.2.1 การเกิดก๊าซชีวภาพเทียบ แอล พี จี และพลังงานไฟฟ้า

จากการคำนวณการเกิดก๊าซชีวภาพเทียบ แอล พี จี พร้อมเทียบพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 การเกิดก๊าซชีวภาพเทียบ แอล พี จี และพลังงานไฟฟ้า

เทคโนโลยี	ปริมาณก๊าซ ต่อวัน ลบ.ม.	ปริมาณก๊าซต่อ ปี ลบ.ม.	ปริมาณก๊าซเทียบ แอล พี จี ต่อปี กก.	ปริมาณก๊าซเทียบ ไฟฟ้าต่อปี กิโลวัตต์/ปี
Plug Flow	15.24	5,029.20	2,313.43	10,988.80
CSTR1-Stage	12.50	4,125.66	1,897.80	9,014.57
CSTR-AMR	17.28	5,702.40	2,623.10	12,459.74

การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยีโดยคำนวณจาก การทำงาน 330 วัน/ปี โดยแสดงผลการคำนวณก๊าซชีวภาพในหนึ่งปี จากสมการที่ 3.2 การคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ แอล พี จี ด้วยอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่า แอล พี จี 0.46 กิโลกรัม และสมการที่ 3.3 จะสามารถคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก ก๊าซชีวภาพด้วยอัตราการใช้ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 2.185 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังตาราง 17

#### 4.3 การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี ตามสมการที่ 3.4 แสดงผลดัง ตาราง 18

ตาราง 18 การคำนวณหาปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อปี วันทำงานของแต่ละเทคโนโลยี คิดเท่ากันคือ 330 วันต่อปี

เทคโนโลยี	ค่า %TS removal	ปริมาณปุ๋ย/ปี (ลิตร)
Plug Flow	0.77	3,872.48
CSTR1-Stage	0.91	3,754.35
CSTR-AMR	0.73	4,162.75

การคำนวณปริมาณปุ๋ยจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพต่อปี วันทำงานของแต่ละเทคโนโลยีคิดเท่ากันคือ 330 วันต่อปี เทคโนโลยี CSTR แบบ AMR มีปริมาณปุ๋ยมากที่สุดเท่ากับ 4,162.75 ลิตรต่อปี รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 3,872.48 ลิตรต่อปี และเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 3,754.35 ลิตรต่อปี ตามลำดับ

#### 4.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 1

ปีแรก การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะแรกจะต้องมีเงินลงทุน 1) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2) ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ 3) ค่าติดตั้งระบบ 4) ค่าบำรุงรักษา แสดงดังตาราง 19

ตาราง 19 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 1 ในปีแรก

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาท)	680,000	556,532	637,740
2. ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	20,000	94,390	52,600
3. ค่าติดตั้งระบบ (บาท)	150,000	150,000	250,000
4. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	801,000	810,922	951,340

การเปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 951,340 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 810,922 บาท และเทคโนโลยี Plug Flow 801,000 บาทตามลำดับ

ตาราง 20 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี ในกรณีที่ 1 ในปีแรก

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	50,124	42,764	61,031

เนื่องจากในปัจจุบันราคา LPG ตามท้องตลาด 1 ถัง บรรจุ 15 กิโลกรัม ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ถังละ 320 บาท ดังนั้นราคา LPG 1 กิโลกรัมราคาประมาณ 22 บาทต่อกิโลกรัม จากตาราง 4.20 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 22 บาท

ต่ออีกโลกรัมในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี พร้อมหาค่าบำรุงรักษาตามเทคโนโลยี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 61,031 บาท รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 50,124 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 42,764 บาท ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าผลประโยชน์เมื่อเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ LPG จะได้ปริมาณที่น้อยลงเนื่องจากการคำนวณในครั้งนี้นำระยะเวลากักเก็บ (HRT) ดังแสดงในตาราง 4.1 มาลบออกจากการวันทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยีที่มีวันทำงานเท่ากัน คือ 365 วัน

ตาราง 21 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 1 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	1,000	10,000	11,000

จากตาราง 21 การเปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพปีที่ 2 เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 11,000 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 10,000 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 1,000 บาท ตามลำดับ

ตาราง 22 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 1 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	50,896	41,764	57,708

จากตาราง 22 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ราคา 22 บาทต่ออีกโลกรัม คิดอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 57,708 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 50,896 และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 41,764 บาท ตามลำดับ และจำนวนวันในการที่ทำการผลิตจะลดน้อยลงเหลือ 330 วัน

## ตาราง 23 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี

## Plug Flow กรณีที่ 1

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,000	- 800,000	-	800,000	- 800,000
1	50,124	1,000	49,124	47,287	943	- 750,876
2	50,896	1,000	49,896	45,297	890	- 700,980
3	50,896	1,000	49,896	42,733	840	- 651,085
4	50,896	1,000	49,896	40,314	792	- 601,189
5	50,896	1,000	49,896	38,032	747	- 551,294
6	50,896	1,000	49,896	35,879	705	- 501,398
7	50,896	1,000	49,896	33,848	665	- 451,503
8	50,896	1,000	49,896	31,932	627	- 401,607
9	50,896	1,000	49,896	30,125	592	- 351,712
10	50,896	1,000	49,896	28,420	558	- 301,816
11	50,896	1,000	49,896	26,811	527	- 251,921
12	50,896	1,000	49,896	25,294	497	- 202,025
13	50,896	1,000	49,896	23,862	469	- 152,130
14	50,896	1,000	49,896	22,511	442	- 102,234
15	50,896	1,000	49,896	21,237	417	- 52,339
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-316,129.94
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.61
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 24 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี CSTR  
แบบ 1-Stage กรณีที่ 1

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,622	- 800,622	-	800,622	- 800,622
1	42,764	10,000	32,764	40,343	9,434	- 767,858
2	41,752	10,000	31,752	37,159	8,900	- 736,106
3	41,752	10,000	31,752	35,056	8,396	- 704,355
4	41,752	10,000	31,752	33,071	7,921	- 672,603
5	41,752	10,000	31,752	31,199	7,473	- 640,851
6	41,752	10,000	31,752	29,433	7,050	- 609,100
7	41,752	10,000	31,752	27,767	6,651	- 577,348
8	41,752	10,000	31,752	26,196	6,274	- 545,596
9	41,752	10,000	31,752	24,713	5,919	- 513,845
10	41,752	10,000	31,752	23,314	5,584	- 482,093
11	41,752	10,000	31,752	21,994	5,268	- 450,341
12	41,752	10,000	31,752	20,749	4,970	- 418,590
13	41,752	10,000	31,752	19,575	4,688	- 386,838
14	41,752	10,000	31,752	18,467	4,423	- 355,086
15	41,752	10,000	31,752	17,422	4,173	- 323,335
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						- 491,286.92
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.45
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 25 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ AMR กรณีที่ 1

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		940,340	- 940,340	-	940,340	- 940,340
1	61,031	11,000	50,031	57,576	10,377	- 890,309
2	57,708	11,000	46,708	51,360	9,790	- 843,601
3	57,708	11,000	46,708	48,453	9,236	- 796,893
4	57,708	11,000	46,708	45,710	8,713	- 750,184
5	57,708	11,000	46,708	43,123	8,220	- 703,476
6	57,708	11,000	46,708	40,682	7,755	- 656,768
7	57,708	11,000	46,708	38,379	7,316	- 610,059
8	57,708	11,000	46,708	36,207	6,902	- 563,351
9	57,708	11,000	46,708	34,157	6,511	- 516,643
10	57,708	11,000	46,708	32,224	6,142	- 469,935
11	57,708	11,000	46,708	30,400	5,795	- 423,226
12	57,708	11,000	46,708	28,679	5,467	- 376,518
13	57,708	11,000	46,708	27,056	5,157	- 329,810
14	57,708	11,000	46,708	25,524	4,865	- 283,101
15	57,708	11,000	46,708	24,080	4,590	- 236,393
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-483,562.95
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.54
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

#### 4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 2

ปีแรก การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะแรกจะต้องมีเงินลงทุน 1)ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2) ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ 3) ค่าติดตั้งระบบ 4) ค่าบำรุงรักษา แสดงดังตาราง 4.26

ตาราง 26 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 2 ในปีแรก

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาท)	680,000	556,532	637,740
2. ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	20,000	94,390	52,600
3. ค่าติดตั้งระบบ (บาท)	150,000	150,000	250,000
4. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	801,000	810,922	951,340

การเปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 951,340 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 810,922 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow 801,000 บาทตามลำดับ

ตาราง 27 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 1 ในปีแรก

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	69,193	58,188	88,471

จากตาราง 27 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม พร้อมหักค่าบำรุงรักษาตามเทคโนโลยี และบวกมูลค่าของปุ๋ยน้ำที่ราคา 5 บาท ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 88,471 บาท รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 69,193 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 58,188 บาท ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าผลประโยชน์เมื่อเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ LPG ได้ปริมาณที่น้อยลงนั้นเนื่องมาจากในการคำนวณในครั้งนี้นำระยะเวลาพักเก็บ (HRT) ดังแสดงในตาราง 4.1 มาลบออกจากการวันทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยีที่มีวันทำงานเท่ากัน คือ 365 วัน

ตาราง 28 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 2 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	1,000	10,000	11,000

จากตาราง 28 การเปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพปีที่ 2 เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 11,000 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 10,000 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 1,000 บาท ตามลำดับ

ตาราง 29 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 2 ในปี 2 ตลอดอายุโครงการ

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	70,258	60,523	78,522

จากตาราง 29 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม พร้อมหักค่าบำรุงรักษาตามเทคโนโลยี และบวกมูลค่าของปุ๋ยน้ำที่ราคา 5 บาท ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 78,522 บาท รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 70,258 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 60,523 บาท ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าผลประโยชน์เมื่อเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ LPG ได้ปริมาณที่น้อยลงหรือมากขึ้นนั้น เนื่องมาจากในการคำนวณในครั้งนี้ นำระยะเวลากักเก็บ (HRT) ดังแสดงในตาราง 4.1 แต่จำนวนวันในการที่ทำการผลิตจะลดน้อยลงเหลือ 330 วัน

ตาราง 30 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
Plug Flow กรณีที่ 2

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,000	- 800,000	-	800,000	- 800,000
1	69,193	1,000	68,193	65,277	943	- 731,807
2	70,258	1,000	69,258	62,529	890	- 662,549
3	70,258	1,000	69,258	58,990	840	- 593,291
4	70,258	1,000	69,258	55,651	792	- 524,033
5	70,258	1,000	69,258	52,501	747	- 454,775
6	70,258	1,000	69,258	49,529	705	- 385,517
7	70,258	1,000	69,258	46,726	665	- 316,259
8	70,258	1,000	69,258	44,081	627	- 247,001
9	70,258	1,000	69,258	41,586	592	- 177,743
10	70,258	1,000	69,258	39,232	558	- 108,485
11	70,258	1,000	69,258	37,011	527	- 39,227
12	70,258	1,000	69,258	34,916	497	30,031
13	70,258	1,000	69,258	32,940	469	99,288
14	70,258	1,000	69,258	31,075	442	168,546
15	70,258	1,000	69,258	29,316	417	237,804
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-128,354.06
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.84
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						3.44%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						11.57

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 31 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 2

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,622	- 800,622	-	800,622	- 800,622
1	58,188	10,000	48,188	54,894	9,434	- 752,434
2	60,523	10,000	50,523	53,866	8,900	- 701,911
3	60,523	10,000	50,523	50,817	8,396	- 651,388
4	60,523	10,000	50,523	47,940	7,921	- 600,864
5	60,523	10,000	50,523	45,227	7,473	- 550,341
6	60,523	10,000	50,523	42,667	7,050	- 499,817
7	60,523	10,000	50,523	40,252	6,651	- 449,294
8	60,523	10,000	50,523	37,973	6,274	- 398,770
9	60,523	10,000	50,523	35,824	5,919	- 348,247
10	60,523	10,000	50,523	33,796	5,584	- 297,724
11	60,523	10,000	50,523	31,883	5,268	- 247,200
12	60,523	10,000	50,523	30,078	4,970	- 196,677
13	60,523	10,000	50,523	28,376	4,688	- 146,153
14	60,523	10,000	50,523	26,770	4,423	- 95,630
15	60,523	10,000	50,523	25,254	4,173	- 45,106
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						- 312,129.50
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.65
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 32 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ AMR กรณีที่ 2

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		940,340	- 940,340	-	940,340	- 940,340
1	88,471	11,000	77,471	83,463	10,377	- 862,869
2	78,522	11,000	67,522	69,884	9,790	- 795,347
3	78,522	11,000	67,522	65,929	9,236	- 727,825
4	78,522	11,000	67,522	62,197	8,713	- 660,303
5	78,522	11,000	67,522	58,676	8,220	- 592,781
6	78,522	11,000	67,522	55,355	7,755	- 525,259
7	78,522	11,000	67,522	52,222	7,316	- 457,737
8	78,522	11,000	67,522	49,266	6,902	- 390,215
9	78,522	11,000	67,522	46,477	6,511	- 322,693
10	78,522	11,000	67,522	43,846	6,142	- 255,171
11	78,522	11,000	67,522	41,364	5,795	- 187,649
12	78,522	11,000	67,522	39,023	5,467	- 120,127
13	78,522	11,000	67,522	36,814	5,157	- 52,605
14	78,522	11,000	67,522	34,730	4,865	14,917
15	78,522	11,000	67,522	32,765	4,590	82,439
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-275,163.57
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.74
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						1.08%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						13.78

ที่มา: มาจากการคำนวณ

#### 4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 3

ปีแรก การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะแรกจะต้องมีเงินลงทุน 1)ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2) ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ 3) ค่าติดตั้งระบบ 4) ค่าบำรุงรักษา แสดงดังตาราง 33

ตาราง 33 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 3 ในปีแรก

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาท)	680,000	556,532	637,740
2. ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	20,000	94,390	52,600
3. ค่าติดตั้งระบบ (บาท)	150,000	150,000	250,000
4. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	801,000	810,922	951,340

การเปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 951,340 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 810,922 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow 801,000 บาทตามลำดับ

ตาราง 34 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 3 ในปีแรก

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	62,655	53,455	76,289

จากตาราง 34 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 27.5 บาทต่อกิโลกรัม (ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25) พร้อมหักค่าบำรุงรักษาตามเทคโนโลยี ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 76,289 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 62,655 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 53,455 บาท ตามลำดับ จะสังเกตได้ผลว่า ประโยชน์เมื่อเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ LPG จะได้ปริมาณที่น้อยลง เนื่องมาจากในการคำนวณในครั้งนี้ นำระยะเวลาพักเก็บ (HRT) ดังแสดงในตาราง 1

มาลบออกจากการวันทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยีที่มีวันทำงานเท่ากัน คือ 365 วัน

ตาราง 35 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 3 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	1,000	10,000	11,000

จากตาราง 35 การเปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพปีที่ 2 เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 11,000 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 10,000 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 1,000 บาท ตามลำดับ

ตาราง 36 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 3 ปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	63,619	52,190	72,135

จากตาราง 36 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม พร้อมบวกมูลค่าของปุ๋ยคอกที่ราคา 5 บาท ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 72,135 บาท รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 63,619 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 52,190 บาท ตามลำดับ และ จำนวนวันที่ทำการผลิตจะลดน้อยลงเหลือ 330 วัน

ตาราง 37 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
Plug Flow กรณีที่ 3

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,000	- 800,000	-	800,000	- 800,000
1	62,655	1,000	61,655	59,109	943	- 738,345
2	63,619	1,000	62,619	56,621	890	- 675,725
3	63,619	1,000	62,619	53,416	840	- 613,106
4	63,619	1,000	62,619	50,393	792	- 550,486
5	63,619	1,000	62,619	47,540	747	- 487,867
6	63,619	1,000	62,619	44,849	705	- 425,248
7	63,619	1,000	62,619	42,311	665	- 362,628
8	63,619	1,000	62,619	39,916	627	- 300,009
9	63,619	1,000	62,619	37,656	592	- 237,390
10	63,619	1,000	62,619	35,525	558	- 174,770
11	63,619	1,000	62,619	33,514	527	- 112,151
12	63,619	1,000	62,619	31,617	497	- 49,531
13	63,619	1,000	62,619	29,827	469	13,088
14	63,619	1,000	62,619	28,139	442	75,707
15	63,619	1,000	62,619	26,546	417	138,327
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-192,734.36
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.76
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						2.06%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						12.79

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 38 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 3

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,622	- 800,622	-	800,622	- 800,622
1	53,455	10,000	43,455	50,429	9,434	- 757,167
2	52,190	10,000	42,190	46,449	8,900	- 714,978
3	52,190	10,000	42,190	43,819	8,396	- 672,788
4	52,190	10,000	42,190	41,339	7,921	- 630,598
5	52,190	10,000	42,190	38,999	7,473	- 588,409
6	52,190	10,000	42,190	36,792	7,050	- 546,219
7	52,190	10,000	42,190	34,709	6,651	- 504,030
8	52,190	10,000	42,190	32,744	6,274	- 461,840
9	52,190	10,000	42,190	30,891	5,919	- 419,650
10	52,190	10,000	42,190	29,142	5,584	- 377,461
11	52,190	10,000	42,190	27,493	5,268	- 335,271
12	52,190	10,000	42,190	25,937	4,970	- 293,082
13	52,190	10,000	42,190	24,469	4,688	- 250,892
14	52,190	10,000	42,190	23,084	4,423	- 208,702
15	52,190	10,000	42,190	21,777	4,173	- 166,513
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-389,672.52
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.57
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 39 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ AMR กรณีที่ 3

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		940,340	- 940,340	-	940,340	- 940,340
1	76,289	11,000	65,289	71,970	10,377	- 875,051
2	72,135	11,000	61,135	64,200	9,790	- 813,916
3	72,135	11,000	61,135	60,566	9,236	- 752,781
4	72,135	11,000	61,135	57,138	8,713	- 691,645
5	72,135	11,000	61,135	53,904	8,220	- 630,510
6	72,135	11,000	61,135	50,853	7,755	- 569,375
7	72,135	11,000	61,135	47,974	7,316	- 508,239
8	72,135	11,000	61,135	45,259	6,902	- 447,104
9	72,135	11,000	61,135	42,697	6,511	- 385,969
10	72,135	11,000	61,135	40,280	6,142	- 324,833
11	72,135	11,000	61,135	38,000	5,795	- 263,698
12	72,135	11,000	61,135	35,849	5,467	- 202,562
13	72,135	11,000	61,135	33,820	5,157	- 141,427
14	72,135	11,000	61,135	31,906	4,865	- 80,292
15	72,135	11,000	61,135	30,100	4,590	- 19,156
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-342,660.00
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.67
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						-
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						-

ที่มา: มาจากการคำนวณ

#### 4.7 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีที่ 4

ปีแรก การก่อสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะแรกจะต้องมีเงินลงทุน 1)ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2) ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ 3) ค่าติดตั้งระบบ 4) ค่าบำรุงรักษา แสดงดังตาราง 40

ตาราง 40 เปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 4 ในปีแรก

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ (บาท)	680,000	556,532	637,740
2. ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	20,000	94,390	52,600
3. ค่าติดตั้งระบบ (บาท)	150,000	150,000	250,000
4. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	801,000	810,922	951,340

การเปรียบเทียบเงินลงทุนในการสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 951,340 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 810,922 บาท และเทคโนโลยี Plug Flow 801,000 บาทตามลำดับ

ตาราง 41 เปรียบเทียบผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 4 ในปีแรก

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	81,725	68,879	103,728

จากตาราง 41 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 27.5 บาทต่อกิโลกรัม (ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25) พร้อมหักค่าบำรุงรักษาตามเทคโนโลยี และบวกมูลค่าของปุ๋ยที่ราคาคงที่ 5 บาทต่อลิตร ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 103,728 บาท รองลงมาคือเทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 81,725 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 68,879 บาท ตามลำดับ จะสังเกตได้ผลประโยชน์เมื่อเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบ LPG จะได้ปริมาณที่น้อยลง เนื่องมาจากในการคำนวณในครั้งนี้นำระยะเวลาพักเก็บ (HRT) ดังแสดงในตาราง 4.1 มาลบออกจากการทำงานนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยีที่มีวันทำงานเท่ากัน คือ 365 วัน

ตาราง 42 เปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพ กรณีที่ 4 ในปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

รายการ	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
1. ค่าบำรุงรักษา	1,000	10,000	11,000
รวม	1,000	10,000	11,000

จากตาราง 42 การเปรียบเทียบเงินลงทุนการผลิตก๊าซชีวภาพปีที่ 2 เทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 11,000 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 10,000 บาท และ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 1,000 บาท ตามลำดับ

ตาราง 43 ผลประโยชน์ที่ได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพทั้ง 3 เทคโนโลยี กรณีที่ 4 ในปีที่ 2 ตลอดอายุโครงการ

เทคโนโลยี	Plug Flow	CSTR1-Stage	CSTR-AMR
ผลประโยชน์ที่ได้รับ(บาท)	82,982	70,961	92,949

จากตาราง 43 การคำนวณหาผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการผลิตก๊าซชีวภาพเมื่อเทียบ LPG ที่ราคา 22 บาทต่อกิโลกรัม พร้อมบวกมูลค่าของปุ๋ยคอกที่ราคา 5 บาทต่อลิตร ในอัตราคงที่ตลอดระยะเวลา 15 ปี เทคโนโลยีที่ผลประโยชน์มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR แบบ AMR เท่ากับ 92,949 บาท รองลงมาคือ เทคโนโลยี Plug Flow เท่ากับ 82,982 บาท และที่ให้ผลประโยชน์ต่ำสุดคือ เทคโนโลยี CSTR แบบ 1-Stage เท่ากับ 70,961 บาท ตามลำดับ และ จำนวนวันในการที่ทำการผลิตจะลดน้อยลงเหลือ 330 วัน

ตาราง 44 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
Plug Flow กรณีที่ 4

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,000	- 800,000	-	800,000	- 800,000
1	81,725	1,000	80,725	77,099	943	- 719,275
2	82,982	1,000	81,982	73,854	890	- 637,293
3	82,982	1,000	81,982	69,673	840	- 555,311
4	82,982	1,000	81,982	65,730	792	- 473,329
5	82,982	1,000	81,982	62,009	747	- 391,347
6	82,982	1,000	81,982	58,499	705	- 309,365
7	82,982	1,000	81,982	55,188	665	- 227,383
8	82,982	1,000	81,982	52,064	627	- 145,401
9	82,982	1,000	81,982	49,117	592	- 63,419
10	82,982	1,000	81,982	46,337	558	18,563
11	82,982	1,000	81,982	43,714	527	100,545
12	82,982	1,000	81,982	41,240	497	182,527
13	82,982	1,000	81,982	38,905	469	264,509
14	82,982	1,000	81,982	36,703	442	346,491
15	82,982	1,000	81,982	34,625	417	428,473
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-4,956.25
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.99
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						5.91%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						9.77

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 45 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ 1-Stage กรณีที่ 4

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		800,622	- 800,622	-	800,622	- 800,622
1	68,879	10,000	58,879	64,980	9,434	- 741,743
2	70,961	10,000	60,961	63,155	8,900	- 680,782
3	70,961	10,000	60,961	59,580	8,396	- 619,821
4	70,961	10,000	60,961	56,208	7,921	- 558,860
5	70,961	10,000	60,961	53,026	7,473	- 497,899
6	70,961	10,000	60,961	50,025	7,050	- 436,938
7	70,961	10,000	60,961	47,193	6,651	- 375,977
8	70,961	10,000	60,961	44,522	6,274	- 315,016
9	70,961	10,000	60,961	42,002	5,919	- 254,055
10	70,961	10,000	60,961	39,624	5,584	- 193,094
11	70,961	10,000	60,961	37,381	5,268	- 132,133
12	70,961	10,000	60,961	35,265	4,970	- 71,172
13	70,961	10,000	60,961	33,269	4,688	- 10,211
14	70,961	10,000	60,961	31,386	4,423	50,750
15	70,961	10,000	60,961	29,610	4,173	111,711
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-210,517.74
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.77
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						1.68%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						13.17

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 46 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของการผลิตก๊าซชีวภาพเทคโนโลยี  
CSTR แบบ AMR กรณีที่ 4

ปี ที่	รายรับ	รายจ่าย	ผลตอบแทน ปัจจุบัน	รายได้ ปัจจุบัน	รายจ่าย ปัจจุบัน	ผลตอบแทน ปัจจุบัน
0		940,340	- 940,340	-	940,340	- 940,340
1	103,728	11,000	92,728	97,857	10,377	- 847,612
2	92,949	11,000	81,949	82,724	9,790	- 765,663
3	92,949	11,000	81,949	78,042	9,236	- 683,714
4	92,949	11,000	81,949	73,624	8,713	- 601,765
5	92,949	11,000	81,949	69,457	8,220	- 519,816
6	92,949	11,000	81,949	65,525	7,755	- 437,867
7	92,949	11,000	81,949	61,816	7,316	- 355,918
8	92,949	11,000	81,949	58,317	6,902	- 273,969
9	92,949	11,000	81,949	55,016	6,511	- 192,020
10	92,949	11,000	81,949	51,902	6,142	- 110,071
11	92,949	11,000	81,949	48,964	5,795	- 28,122
12	92,949	11,000	81,949	46,193	5,467	53,827
13	92,949	11,000	81,949	43,578	5,157	135,776
14	92,949	11,000	81,949	41,111	4,865	217,725
15	92,949	11,000	81,949	38,784	4,590	299,674
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)						-134,262.04
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน						0.87
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ						3.71%
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)						11.34

ที่มา: มาจากการคำนวณ

ตาราง 47 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ  
เศษอาหารในกรณีที่ 1

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)	PB
Plug Flow	- 316,129.94	0.61	-	-
CSTR1-Stage	- 491,286.92	0.45	-	-
CSTR -AMR	- 483,562.95	0.54	-	-

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารทาง  
เศรษฐศาสตร์โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน ซึ่งผลการวิเคราะห์ในกรณีที่  
1 แสดงดังตาราง 47

ตาราง 48 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ  
อาหารในกรณีที่ 2

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)	PB
Plug Flow	- 128,354.06	0.84	3.44	11.57
CSTR1-Stage	- 312,129.50	0.65	-	-
CSTR -AMR	-275,163.57	0.74	1.08	13.78

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารทาง  
เศรษฐศาสตร์โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน ซึ่งผลการวิเคราะห์ในกรณีที่  
2 แสดงดังตาราง 48

ตาราง 49 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะ  
อาหารในกรณีที่ 3

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)	PB
Plug Flow	- 192,734.36	0.76	2.06	12.76
CSTR1-Stage	- 389,672.52	0.58	-	-
CSTR -AMR	- 342,660.00	0.67	-	-

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารทางเศรษฐศาสตร์โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน ซึ่งผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 แสดงดังตาราง 49

ตาราง 50 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในกรณีที่ 4

รายการ	NPV (บาท)	B/C ratio	FIRR (%)	PB
Plug Flow	- 4,956.25	0.99	5.91	9.77
CSTR1-Stage	- 210,517.74	0.77	1.68	13.17
CSTR –AMR	- 134,262.04	0.87	3.71	11.34

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารทางเศรษฐศาสตร์โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุน ซึ่งผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 4 แสดงดังตาราง 50

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุนเพื่อการตัดสินใจเลือกระบบเทคโนโลยีที่เหมาะสม ขนาดและปริมาณเศษอาหารในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในสถานศึกษา และได้รับข้อมูลเพื่อตัดสินใจด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 ด้านเทคโนโลยี

เทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือเทคโนโลยีระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบกวนผสมสมบูรณ์ Anaerobic Mixing Reactor (CSTR-AMR) เท่ากับ 5,702.40 ลูกบาศก์เมตรต่อปี รองลงมาเทคโนโลยีแบบ ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบป้อนหมักราง (Plug Flow) มีค่าเท่ากับ 5,029.20 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และเทคโนโลยีที่ให้ปริมาณก๊าซที่น้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ แบบกวนผสมสมบูรณ์แบบ 1 ชั้นตอน (CSTR 1-Stage) มีค่าเท่ากับ 4,125.66 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

##### 5.1.2 ด้านการลงทุน

เทคโนโลยีที่มีการลงทุนน้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow ใช้เงินลงทุนเท่ากับ 800,000 บาท รองลงมาคือ คือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage ใช้เงินลงทุนเท่ากับ 800,922 บาท และเทคโนโลยีที่ใช้เงินลงทุนมากที่สุดคือ เทคโนโลยี CSTR-AMR เท่ากับ 940,340 บาท

##### 5.1.3 ด้านการบำรุงรักษา

เทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยที่สุดคือเทคโนโลยีแบบ Plug Flow เท่ากับ 1,000 บาทต่อปี รองลงมาคือเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage เท่ากับ 10,000 บาทต่อปี และเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา คือ คือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR เท่ากับ 11,000 บาทต่อปี

##### 5.1.4 ด้านการใช้พื้นที่

เทคโนโลยีที่ใช้พื้นที่มากที่สุดคือเทคโนโลยี CSTR-AMR รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage และเทคโนโลยีที่ใช้พื้นที่น้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow

##### 5.1.5 ด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แบ่งออกเป็น 4 กรณี

กรณีที่ 1 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์คงที่ จากการคำนวณตามสูตรจะเห็นว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้นมีค่าติดลบทั้งหมด ส่งผลให้ค่าอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) ไม่สามารถหาค่าได้ แต่ค่า

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยี แบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.61 รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR มีค่าเท่ากับ 0.54 และที่ให้ผลประโยชน์ต่อต้นทุนคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าเท่ากับ 0.45

กรณีที่ 2 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG บวกมูลค่าปริมาณปุ๋ยโดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์คงที่ จากการคำนวณตามสูตรจะเห็นได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้นมีค่าติดลบทั้งหมด ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.84 รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR มีค่าเท่ากับ 0.74 และที่ให้ผลประโยชน์ต่อต้นทุนคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าเท่ากับ 0.65 ผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 3.44% รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR เท่ากับ 1.08% และเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าน้อยที่สุด ค่าอัตราระยะเวลาคืนทุน (PB) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยี แบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 11.57 ปี รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR เท่ากับ 13.78 ปี และเทคโนโลยีที่ใช้ระยะเวลาคืนทุนมากที่สุดคือเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage

กรณีที่ 3 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบมูลค่า LPG จากการคำนวณตามสูตรจะเห็นได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้นมีค่าติดลบทั้งหมด ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.76 รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR มีค่าเท่ากับ 0.67 และที่ให้ผลประโยชน์ต่อต้นทุนคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าเท่ากับ 0.58 ผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 2.06% เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR และเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage ไม่สามารถแสดงผลได้ ค่าอัตราระยะเวลาคืนทุน (PB) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 12.76 ปี เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR และเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage ไม่สามารถแสดงผลได้

กรณีที่ 4 ประเมินผลตอบแทนการลงทุนการก่อสร้างเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพเทียบกับมูลค่า LPG โดยกำหนดให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นร้อยละ 25 ในปริมาณก๊าซชีวภาพเทียบมูลค่า LPG บวกมูลค่าปริมาณปุ๋ยคงที่ จากการคำนวณตามสูตรจะเห็นได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ทั้ง 3 เทคโนโลยีนั้นมีค่าติดลบทั้งหมด ค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 0.99 รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR มีค่าเท่ากับ 0.87 และที่ให้ผลประโยชน์ต่อต้นทุนคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าเท่ากับ 0.77 ผลตอบแทนภายในโครงการ (FIRR) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow มีค่าเท่ากับ 5.91% รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR เท่ากับ 3.71% และเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage มีค่าน้อยที่สุด คือ 1.68 ค่าอัตราระยะเวลาคืนทุน (PB) ที่ดีที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ

Plug Flow มีค่าเท่ากับ 9.77 ปี รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR เท่ากับ 11.34 ปี และเทคโนโลยีที่ใช้ระยะเวลาคืนทุน มากที่สุดคือเทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage เท่ากับ 13.17

ทั้ง 4 กรณี สามารถสรุปได้ว่า เทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ Plug Flow รองลงมาคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR-AMR และเทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์น้อยที่สุดคือ เทคโนโลยีแบบ CSTR 1-Stage

## 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

5.2.1. ควรศึกษาในกรณีที่มีเศษอาหารต่ำกว่า หรือ สูงกว่า 200 กิโลกรัม (เศษอาหารป้อนเข้า)ต่อวัน ภายใต้ระยะเวลาของโครงการที่มีความแตกต่างกัน เพื่อให้มีข้อมูลในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุนที่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพและผลตอบแทนการลงทุนในกรณีต่างๆ ได้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

5.2.2. ผลตอบแทนการลงทุนในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ควรครอบคลุมถึงเรื่องการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่ลดลงได้จากการใช้เชื้อเพลิงจากแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร และการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดการหมักตัวย่อยสลายของเศษอาหาร ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ในด้านสิ่งแวดล้อมมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นด้วย



## บรรณานุกรม

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). ระบบบำบัดน้ำเสีย. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2553, จาก [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/water\\_wt.html#](http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#)
- กระทรวงพลังงาน. (2553). โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2553, จาก <http://www.thaibiogas.com>
- (2553). แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551 – 2565. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2553, จาก <http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/mar52...>
- ภิญญา สวนจันทร์; และ รณชัย เอกฉัตร. (2553). ก๊าซชีวภาพ. สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2553, จาก <http://www.ku.ac.th/cac/biogas.pdf>
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2553). โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการของเสียจากเศษอาหารจากโรงแรมและสถานประกอบการต่าง ๆ. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2553, จาก [http://www.eri.chula.ac.th/Foodwaste/01\\_Index/01\\_index.html](http://www.eri.chula.ac.th/Foodwaste/01_Index/01_index.html)
- ชาติรี วัฒนศิลป์. (2553). การศึกษาความเป็นไปได้ของตำแหน่งและขนาดของโรงไฟฟ้าที่อาศัยก๊าซชีวภาพจากมูลโคนมโดยพิจารณาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (ภาควิชาวิศวกรรมเคมีคณะวิศวกรรมศาสตร์) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ชูชีพ พิพัฒน์ศิริ; ชาย กิตติคุณาภรณ์. (2543). ต้องไม่พลาดการวิเคราะห์โครงการและตัดสินใจลงทุน. นนทบุรี: บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989).
- ทัศนีย์ วรพิบูลพงศ์. (2550). ความรู้พื้นฐานและศักยภาพก๊าซชีวภาพ. (เอกสารนำเสนอในงานสัมมนาเรื่อง Biomass Power Technology). สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2553, จาก [http://www.efe.or.th/download/biomass%20seminar/Seminar\\_TASS\\_010850.pdf](http://www.efe.or.th/download/biomass%20seminar/Seminar_TASS_010850.pdf)
- บริษัท กรีน เอ็นเนอร์ยี เน็ทเวอร์ค จำกัด. (2552). กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2553, จาก <http://www.greenenergynet.net/index.html>
- วันชัย ริจิรวนิช; ช่อม พลอยมีค่า. (2547). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทยา เต็มคุณานนท์. (2534). การคำนวณค่าแปรราคาเงาสำหรับการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร
- ภาวณี ชัยประเสริฐ; และคนอื่น ๆ. (2546). โครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2553). ชะกักับภาวะโลกร้อน. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2553, จาก [http://www.chaiwbi.com/0drem/web\\_children/2551/ms201/c\\_camp51/100.html](http://www.chaiwbi.com/0drem/web_children/2551/ms201/c_camp51/100.html)

- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2551). *ก๊าซชีวภาพ*. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2553, จาก <http://www.efe.or.th/home.php>
- เรวัตร์ ชาตรีวิศิษฐ์. (2539). *การบัญชีต้นทุนเพื่อแสวงหากำไร*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ธรรมนิติ.
- โรบิน เบด; และ ไมเคิล ปาร์กิน. (2548). *เศรษฐศาสตร์จุลภาค*. แปลโดย จุฬามาศ ทวีไพบูลย์วงษ์. กรุงเทพฯ: บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.
- วัลย์รัตน์ อุตตมะปรากรม. (2551). *วารสารพลังงาน 2551*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิลาวัลย์ ชาญณรงค์. (2549). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ Semi-pilot Scale*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- วุฒิภรณ์ คุมรินทร์. (2544). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่ความเข้มข้นสูงโดยการหมักแบบชั้นกรองไร้อากาศ 2 ขั้นตอนร่วมกับวิธีการวนน้ำหนัก*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร
- สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2552) *รายงานความก้าวหน้า ฉบับที่ 2 โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการของเสียเศษอาหารจากโรงแรมและสถานประกอบการต่าง ๆ*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- หฤทัย มีนะพันธ์. (2550). *หลักการวิเคราะห์โครงการ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อารียา วิรัชวรกุล. (2546). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลาย ๑ ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน*. วิทยานิพนธ์ปริญญา วท.ม. (ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.



ประวัติย่อผู้วิจัย

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายกฤตภาส สิงคิบุตร
วัน เดือน ปีเกิด	10 พฤษภาคม 2517
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	68/44 ซอยเสรีไทย 43 ถนนเสรีไทย แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10240
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	นายช่างเทคนิค ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างเทคนิคการผลิต) (เครื่องมือกล) จาก วิทยาลัยเทคนิคโยธธ
พ.ศ.	ประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง (ครุศาสตร์อุตสาหกรรม) จาก สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
พ.ศ. 2554	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทางวิศวกรรม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ





ภาคผนวก ก

ปริมาณการป้อนขยะเศษอาหารและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี

ปริมาณการป้อนขยะเศษอาหารและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี Plug Flow

วัน-เดือน-ปี	ปริมาณเศษอาหารที่เติม (กก.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m <sup>3</sup> /day)
1/2/2553	165	22.15
2/2/2553	175.4	21.15
3/2/2553	93	23.43
4/2/2553	137.7	23.96
5/2/2553	134.7	28.21
6/2/2553	150	25.03
7/2/2553	143.1	22.72
8/2/2553	152.9	22.98
9/2/2553	145.3	22.36
10/2/2553	136.1	24.69
11/2/2553	146.9	23.69
12/2/2553	134.6	24.40
13/2/2553	122.7	22.99
14/2/2553	152.7	16.54
15/2/2553	140.6	23.65
16/2/2553	135	23.25
17/2/2553	151.7	26.54
18/2/2553	149.2	24.61
19/2/2553	143.8	26.11
20/2/2553	143.9	17.36
21/2/2553	143.7	28.95
22/2/2553	142.5	26.26
23/2/2553	139.6	25.92
24/2/2553	141.4	25.14
25/2/2553	142.6	25.77
26/2/2553	141.3	24.18
27/2/2553	141.7	24.54
28/2/2553	142.4	25.07
เฉลี่ย	142.48	23.99

ปริมาณการป้อนขยะเศษอาหารและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี 1-stage CSTR

วัน-เดือน-ปี	ปริมาณเศษอาหารที่เติม (กก.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m <sup>3</sup> /day)
1-ก.ค.-53	150	12.78
2-ก.ค.-53	160	13.85
3-ก.ค.-53	150	12.93
4-ก.ค.-53	160	13.97
5-ก.ค.-53	150	12.78
6-ก.ค.-53	165	13.47
7-ก.ค.-53	168	13.477
8-ก.ค.-53	174	14.67
9-ก.ค.-53	150	12.83
10-ก.ค.-53	175	13.79
11-ก.ค.-53	150	13.5
12-ก.ค.-53	168	14.48
13-ก.ค.-53	165	14.15
14-ก.ค.-53	165	14.15
15-ก.ค.-53	150	13.5
16-ก.ค.-53	175	15.25
17-ก.ค.-53	165	14.15
18-ก.ค.-53	165	14.15
19-ก.ค.-53	150	12.5
20-ก.ค.-53	165	14.15
21-ก.ค.-53	150	12.5
22-ก.ค.-53	168	14.48
23-ก.ค.-53	167	15.37
24-ก.ค.-53	159	14.49
25-ก.ค.-53	157	13.27
26-ก.ค.-53	154	13.94
27-ก.ค.-53	170	13.7
28-ก.ค.-53	161	14.71
29-ก.ค.-53	167	15.37
30-ก.ค.-53	168	15.12
31-ก.ค.-53	150	14.5
เฉลี่ย	161.00	13.93

ปริมาณการป้อนขยะเศษอาหารและปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ เทคโนโลยี CSTR-AMR

วัน-เดือน-ปี	ปริมาณเศษอาหารที่เติม (กก.)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m <sup>3</sup> /day)
1-มิ.ย.-53	157	16.5
2-มิ.ย.-53	170	17.6
3-มิ.ย.-53	162	16.5
4-มิ.ย.-53	170	17.6
5-มิ.ย.-53	163	16.5
6-มิ.ย.-53	173	18.15
7-มิ.ย.-53	176	18.48
8-มิ.ย.-53	183	19.14
9-มิ.ย.-53	161	16.5
10-มิ.ย.-53	180	19.25
11-มิ.ย.-53	158	16.5
12-มิ.ย.-53	170	18.48
13-มิ.ย.-53	169	18.15
14-มิ.ย.-53	165	18.15
15-มิ.ย.-53	156	16.5
16-มิ.ย.-53	175	19.25
17-มิ.ย.-53	168	18.15
18-มิ.ย.-53	187	18.15
19-มิ.ย.-53	162	16.5
20-มิ.ย.-53	170	18.15
21-มิ.ย.-53	168	16.5
22-มิ.ย.-53	173	18.48
23-มิ.ย.-53	177	18.37
24-มิ.ย.-53	176	17.49
25-มิ.ย.-53	178	17.27
26-มิ.ย.-53	167	16.94
27-มิ.ย.-53	180	18.7
28-มิ.ย.-53	175	17.71
29-มิ.ย.-53	174	18.37
30-มิ.ย.-53	179	18.48
1-ก.ค.-53	160	16.5
เฉลี่ย	170.39	17.71



**ภาคผนวก ข**  
**รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ**

## รายงานผลการวิเคราะห์และทดสอบ

เรื่อง รายงานผลการทดสอบทางองค์ประกอบในตัวอย่าง GAS

ชนิดตัวอย่าง : GAS

เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ : GAS CHROMATOGRAPH MODEL TRACE GC  
ยี่ห้อ THERMO FINNEGAN

สภาวะการวิเคราะห์:

Carrier gas : Helium flow rate: 25 ml/min

Injector Temperature : 120 °C

Column : SHIN CARBON, Temperature program set at  
80-130 °C for 20 min

Detector : TCD at 150°C

Injection Volume : 1 ml

มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการทดสอบ : -

ผลการวิเคราะห์และทดสอบ :

ลำดับ	Sample ID	% CH <sub>4</sub>	% CO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub>
1	Plug Flow	49.5	40.9	9.6
2	CSTR 1-stage	62.2	26.3	11.5
3	CSTR/ AMR	63.6	26	10.4

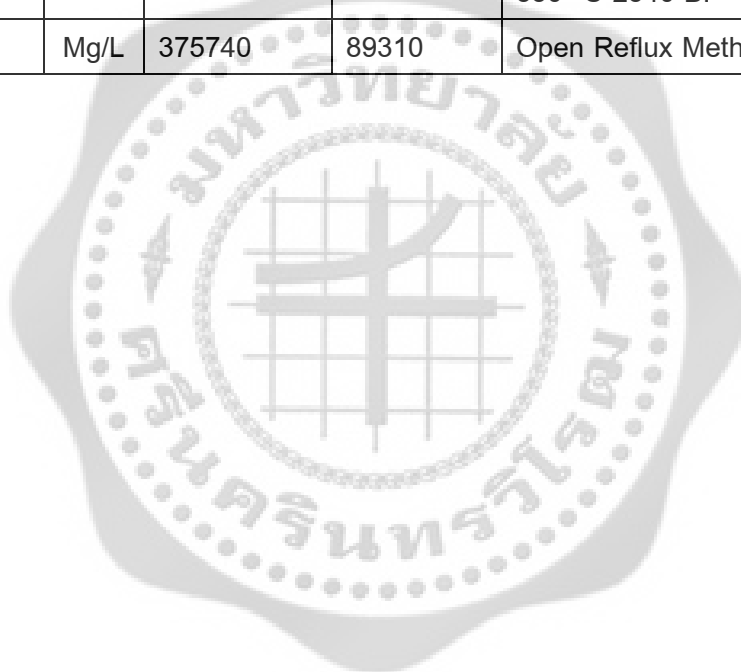
### รายงานผลการวิเคราะห์

เทคโนโลยี : Plug Flow

จุดเก็บตัวอย่าง : น้ำเสียเข้าและออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเภทตัวอย่าง : น้ำเสีย

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลวิเคราะห์		วิธีวิเคราะห์
		น้ำเข้า	น้ำออก	
pH	-	5.2	7.2	Electrometric Method 4500-H* B.
TS	Mg/L	28.73	6.53	Total Solids Dried at 103-105°C 2540 B.
VS	Mg/L	25.97	3.10	Fixe and Volatile Solids Ignited at 550 °C 2540 B.
COD	Mg/L	375740	89310	Open Reflux Method 5220 B.



### Test Report

Project Name : CSTR 1-Stage

Laboratory Name : WASTEWATER

#### Information On Sample

Sampling site: ขงเสี่ยเข้าและออกระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

Parameters	Results		Analyzed Method
	เข้า	ออก	
COD(mg/L as O)	250,000	26,700	ISO 6060
pH	3.30	6.10	Electrometric method
Total Solids (mg/L)	289,000	27,200	Dried at 103-105 °C
Total Volatile Solids (mg/L)	268,100	21,460	Fix and volatiled solids Ignited at 550 °C

### Test Report

Product Name : CSTR - AMR

Laboratory Name : WASTEWATER

#### Information On Sample

Sampling site: น้ำเข้าฝายหิน

Parameters	Results		Analyzed Method
	เข้า	ออก	
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	2,000	3,230	Titration method
COD(mg/L as O)	130,700	5,210	ISO 6060
pH	5.10	7.20	Electrometric method
Settleable Solids(mg/L)	220	120	-
Total Solids (mg/L)	25,340	6,790	Dried at 103-105 °C
Total Volatile Solids (mg/L)	22,210	2,990	Fix and volatiled solids Ignited at 550 °C
VFA (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	5,980	360	Direct Titration method



ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์

กรณีที่ 1 เทคโนโลยี Plug Flow Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี: Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,000	-	- 800,000	1.0000	- 800,000	-	800,000	- 800,000	- 800,000
1	50,124	1,000		49,124	0.9434	46,344	47,287	943	- 753,656	- 750,876
2	50,896	1,000		49,896	0.8900	44,407	45,297	890	- 09,249	- 700,980
3	50,896	1,000		49,896	0.8396	41,893	42,733	840	- 667,356	- 651,085
4	50,896	1,000		49,896	0.7921	39,522	40,314	792	- 627,834	- 601,189
5	50,896	1,000		49,896	0.7473	37,285	38,032	747	- 590,549	- 551,294
6	50,896	1,000		49,896	0.7050	35,174	35,879	705	- 555,375	- 501,398
7	50,896	1,000		49,896	0.6651	33,183	33,848	665	- 522,192	- 451,503
8	50,896	1,000		49,896	0.6274	31,305	31,932	627	- 490,887	- 401,607
9	50,896	1,000		49,896	0.5919	29,533	30,125	592	- 461,354	- 351,712
10	50,896	1,000		49,896	0.5584	27,861	28,420	558	- 433,492	- 301,816
11	50,896	1,000		49,896	0.5268	26,284	26,811	527	- 407,208	- 251,921
12	50,896	1,000		49,896	0.4970	24,797	25,294	497	- 382,411	- 202,025
13	50,896	1,000		49,896	0.4688	23,393	23,862	469	- 359,018	- 152,130
14	50,896	1,000		49,896	0.4423	22,069	22,511	442	- 336,950	- 102,234
15	50,896	1,000		49,896	0.4173	20,820	21,237	417	- 316,130	- 52,339

หน่วย : บาท

NPV (บาท)	-316,129.94	DPB (ปี)	---
IRR	---	PB (ปี)	---
PI	0.60	B/C Ratio	0.61
		AW (บาท)	-32,549.61

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 1 1-stage CSTR Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปี	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,622	-	- 800,622	1.0000	- 800,622	-	800,622	- 800,622	- 800,622
1	42,764	10,000		32,764	0.9434	30,909	40,343	9,434	- 69,713	- 767,858
2	41,752	10,000		31,752	0.8900	28,259	37,159	8,900	- 741,454	- 736,106
3	41,752	10,000		31,752	0.8396	26,659	35,056	8,396	- 714,795	- 704,355
4	41,752	10,000		31,752	0.7921	25,150	33,071	7,921	- 689,644	- 672,603
5	41,752	10,000		31,752	0.7473	23,727	31,199	7,473	- 665,918	- 640,851
6	41,752	10,000		31,752	0.7050	22,384	29,433	7,050	- 643,534	- 609,100
7	41,752	10,000		31,752	0.6651	21,117	27,767	6,651	- 622,417	- 577,348
8	41,752	10,000		31,752	0.6274	19,921	26,196	6,274	- 602,496	- 545,596
9	41,752	10,000		31,752	0.5919	18,794	24,713	5,919	- 583,702	- 513,845
10	41,752	10,000		31,752	0.5584	17,730	23,314	5,584	- 565,972	- 482,093
11	41,752	10,000		31,752	0.5268	16,726	21,994	5,268	- 549,246	- 450,341
12	41,752	10,000		31,752	0.4970	15,780	20,749	4,970	- 533,466	- 418,590
13	41,752	10,000		31,752	0.4688	14,886	19,575	4,688	- 518,580	- 386,838
14	41,752	10,000		31,752	0.4423	14,044	18,467	4,423	- 504,536	- 355,086
15	41,752	10,000		31,752	0.4173	13,249	17,422	4,173	- 491,287	- 323,335

หน่วย : บาท

NPV(บาท)	-491,286.92	DPB (ปี)	---							- 800,622
IRR	---	PB (ปี)	---							
PI	0.39	B/C Ratio	0.45			AW (บาท)	-50,584.26			

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 1 CSTR/ AMR *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		940,340	-	- 940,340	1.0000	- 940,340	-	940,340	- 940,340	- 940,340
1	61,031	11,000		50,031	0.9434	47,199	57,576	10,377	- 893,141	- 890,309
2	57,708	11,000		46,708	0.8900	41,570	51,360	9,790	- 851,571	- 843,601
3	57,708	11,000		46,708	0.8396	39,217	48,453	9,236	- 812,354	- 796,893
4	57,708	11,000		46,708	0.7921	36,997	45,710	8,713	- 775,356	- 750,184
5	57,708	11,000		46,708	0.7473	34,903	43,123	8,220	- 740,453	- 703,476
6	57,708	11,000		46,708	0.7050	32,927	40,682	7,755	- 707,526	- 656,768
7	57,708	11,000		46,708	0.6651	31,064	38,379	7,316	- 676,462	- 610,059
8	57,708	11,000		46,708	0.6274	29,305	36,207	6,902	- 647,157	- 563,351
9	57,708	11,000		46,708	0.5919	27,647	34,157	6,511	- 619,510	- 516,643
10	57,708	11,000		46,708	0.5584	26,082	32,224	6,142	- 593,428	- 469,935
11	57,708	11,000		46,708	0.5268	24,605	30,400	5,795	- 568,823	- 423,226
12	57,708	11,000		46,708	0.4970	23,213	28,679	5,467	- 545,610	- 376,518
13	57,708	11,000		46,708	0.4688	21,899	27,056	5,157	- 523,712	- 329,810
14	57,708	11,000		46,708	0.4423	20,659	25,524	4,865	- 503,053	- 283,101
15	57,708	11,000		46,708	0.4173	19,490	24,080	4,590	- 483,563	- 236,393

หน่วย : บาท

NPV (บาท) **-483,562.95**

DPB (ปี)

---

IRR

---

PB (ปี)

---

PI

**0.49**

B/C Ratio

**0.54**

AW (บาท)

**-49,788.98**

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 2 Plug Flow *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,000	-	- 800,000	1.0000	- 800,000	-	800,000	- 800,000	- 800,000
1	69,193	1,000		68,193	0.9434	64,333	65,277	943	- 735,667	- 731,807
2	70,258	1,000		69,258	0.8900	61,639	62,529	890	- 674,027	- 662,549
3	70,258	1,000		69,258	0.8396	58,150	58,990	840	- 615,877	- 593,291
4	70,258	1,000		69,258	0.7921	54,859	55,651	792	- 561,018	- 524,033
5	70,258	1,000		69,258	0.7473	51,754	52,501	747	- 509,265	- 454,775
6	70,258	1,000		69,258	0.7050	48,824	49,529	705	- 460,441	- 385,517
7	70,258	1,000		69,258	0.6651	46,060	46,726	665	- 414,380	- 316,259
8	70,258	1,000		69,258	0.6274	43,453	44,081	627	- 370,927	- 247,001
9	70,258	1,000		69,258	0.5919	40,994	41,586	592	- 329,933	- 177,743
10	70,258	1,000		69,258	0.5584	38,673	39,232	558	- 291,260	- 108,485
11	70,258	1,000		69,258	0.5268	36,484	37,011	527	- 254,776	- 39,227
12	70,258	1,000		69,258	0.4970	34,419	34,916	497	- 220,357	30,031
13	70,258	1,000		69,258	0.4688	32,471	32,940	469	- 187,886	99,288
14	70,258	1,000		69,258	0.4423	30,633	31,075	442	- 157,253	168,546
15	70,258	1,000		69,258	0.4173	28,899	29,316	417	- 128,354	237,804

หน่วย : บาท

**NPV (บาท) -128,354.06**

**DPB (ปี) ---**

**IRR 3.44%**

**PB (ปี) 11.57**

**PI 0.84**

**B/C Ratio 0.84**

**AW (บาท) -13,215.69**

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 2 1-stage CSTR Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,622	-	- 800,622	1.0000	- 800,622	-	800,622	- 800,622	- 800,622
1	58,188	10,000		48,188	0.9434	45,460	54,894	9,434	- 755,162	- 752,434
2	60,523	10,000		50,523	0.8900	44,966	53,866	8,900	- 710,196	- 701,911
3	60,523	10,000		50,523	0.8396	42,420	50,817	8,396	- 667,776	- 651,388
4	60,523	10,000		50,523	0.7921	40,019	47,940	7,921	- 627,757	- 600,864
5	60,523	10,000		50,523	0.7473	37,754	45,227	7,473	- 590,003	- 550,341
6	60,523	10,000		50,523	0.7050	35,617	42,667	7,050	- 554,386	- 499,817
7	60,523	10,000		50,523	0.6651	33,601	40,252	6,651	- 520,785	- 449,294
8	60,523	10,000		50,523	0.6274	31,699	37,973	6,274	- 489,086	- 398,770
9	60,523	10,000		50,523	0.5919	29,905	35,824	5,919	- 459,181	- 348,247
10	60,523	10,000		50,523	0.5584	28,212	33,796	5,584	- 430,969	- 297,724
11	60,523	10,000		50,523	0.5268	26,615	31,883	5,268	- 404,354	- 247,200
12	60,523	10,000		50,523	0.4970	25,109	30,078	4,970	- 379,245	- 196,677
13	60,523	10,000		50,523	0.4688	23,687	28,376	4,688	- 355,558	- 146,153
14	60,523	10,000		50,523	0.4423	22,347	26,770	4,423	- 333,211	- 95,630
15	60,523	10,000		50,523	0.4173	21,082	25,254	4,173	- 312,130	- 45,106

หน่วย : บาท

NPV (บาท) **-312,129.50**

DPB (ปี) ---

IRR ---

PB (ปี) ---

PI **0.61**

B/C Ratio **0.65**

AW (บาท) **-32,137.72**

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 2 .CSTR/ AMR *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ : B	รายจ่าย : C	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		940,340	-	- 940,340	1.0000	- 940,340	-	940,340	- 940,340	- 940,340
1	88,471	11,000		77,471	0.9434	73,086	83,463	10,377	- 867,254	- 862,869
2	78,522	11,000		67,522	0.8900	60,094	69,884	9,790	- 807,160	- 795,347
3	78,522	11,000		67,522	0.8396	56,693	65,929	9,236	- 750,467	- 727,825
4	78,522	11,000		67,522	0.7921	53,484	62,197	8,713	- 696,983	- 660,303
5	78,522	11,000		67,522	0.7473	50,456	58,676	8,220	- 646,527	- 592,781
6	78,522	11,000		67,522	0.7050	47,600	55,355	7,755	- 598,927	- 525,259
7	78,522	11,000		67,522	0.6651	44,906	52,222	7,316	- 554,021	- 457,737
8	78,522	11,000		67,522	0.6274	42,364	49,266	6,902	- 511,657	- 390,215
9	78,522	11,000		67,522	0.5919	39,966	46,477	6,511	- 471,690	- 322,693
10	78,522	11,000		67,522	0.5584	37,704	43,846	6,142	- 433,986	- 255,171
11	78,522	11,000		67,522	0.5268	35,570	41,364	5,795	- 398,417	- 187,649
12	78,522	11,000		67,522	0.4970	33,556	39,023	5,467	- 364,860	- 120,127
13	78,522	11,000		67,522	0.4688	31,657	36,814	5,157	- 333,203	- 52,605
14	78,522	11,000		67,522	0.4423	29,865	34,730	4,865	- 303,338	14,917
15	78,522	11,000		67,522	0.4173	28,175	32,765	4,590	- 275,164	82,439

หน่วย : บาท

<b>NPV (บาท)</b>	<b>-275,163.57</b>	<b>DPB (ปี)</b>	<b>---</b>
<b>IRR</b>	<b>1.08%</b>	<b>PB (ปี)</b>	<b>13.78</b>
<b>PI</b>	<b>0.71</b>	<b>B/C Ratio</b>	<b>0.74</b>
		<b>AW (บาท)</b>	<b>-28,331.60</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 3 Plug Flow *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,000	-	- 800,000	1.0000	- 800,000	-	800,000	- 800,000	- 800,000
1	62,655	1,000		61,655	0.9434	58,166	59,109	943	- 741,834	- 738,345
2	63,619	1,000		62,619	0.8900	55,731	56,621	890	- 686,103	- 675,725
3	63,619	1,000		62,619	0.8396	52,576	53,416	840	- 633,527	- 613,106
4	63,619	1,000		62,619	0.7921	49,600	50,393	792	- 583,927	- 550,486
5	63,619	1,000		62,619	0.7473	46,793	47,540	747	- 537,134	- 487,867
6	63,619	1,000		62,619	0.7050	44,144	44,849	705	- 492,990	- 425,248
7	63,619	1,000		62,619	0.6651	41,645	42,311	665	- 451,344	- 362,628
8	63,619	1,000		62,619	0.6274	39,288	39,916	627	- 412,056	- 300,009
9	63,619	1,000		62,619	0.5919	37,064	37,656	592	- 374,992	- 237,390
10	63,619	1,000		62,619	0.5584	34,966	35,525	558	- 340,025	- 174,770
11	63,619	1,000		62,619	0.5268	32,987	33,514	527	- 307,038	- 112,151
12	63,619	1,000		62,619	0.4970	31,120	31,617	497	- 275,918	- 49,531
13	63,619	1,000		62,619	0.4688	29,358	29,827	469	- 246,560	13,088
14	63,619	1,000		62,619	0.4423	27,697	28,139	442	- 218,863	75,707
15	63,619	1,000		62,619	0.4173	26,129	26,546	417	- 192,734	138,327

หน่วย : บาท

<b>NPV (บาท)</b>	<b>-192,734.36</b>	<b>DPB (ปี)</b>	<b>---</b>
<b>IRR</b>	<b>2.06%</b>	<b>PB (ปี)</b>	<b>12.79</b>
<b>PI</b>	<b>0.76</b>	<b>B/C Ratio</b>	<b>0.76</b>
		<b>AW (บาท)</b>	<b>-19,844.46</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 3 1-stage CSTR Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,622	-	- 800,622	1.0000	- 800,622	-	800,622	- 800,622	- 800,622
1	53,455	10,000		43,455	0.9434	40,995	50,429	9,434	- 759,627	- 757,167
2	52,190	10,000		42,190	0.8900	37,549	46,449	8,900	- 722,078	- 714,978
3	52,190	10,000		42,190	0.8396	35,423	43,819	8,396	- 686,655	- 672,788
4	52,190	10,000		42,190	0.7921	33,418	41,339	7,921	- 653,237	- 630,598
5	52,190	10,000		42,190	0.7473	31,527	38,999	7,473	- 621,710	- 588,409
6	52,190	10,000		42,190	0.7050	29,742	36,792	7,050	- 591,968	- 546,219
7	52,190	10,000		42,190	0.6651	28,058	34,709	6,651	- 563,910	- 504,030
8	52,190	10,000		42,190	0.6274	26,470	32,744	6,274	- 537,440	- 461,840
9	52,190	10,000		42,190	0.5919	24,972	30,891	5,919	- 512,468	- 419,650
10	52,190	10,000		42,190	0.5584	23,558	29,142	5,584	- 488,909	- 377,461
11	52,190	10,000		42,190	0.5268	22,225	27,493	5,268	- 466,684	- 335,271
12	52,190	10,000		42,190	0.4970	20,967	25,937	4,970	- 445,717	- 293,082
13	52,190	10,000		42,190	0.4688	19,780	24,469	4,688	- 425,937	- 250,892
14	52,190	10,000		42,190	0.4423	18,661	23,084	4,423	- 407,277	- 208,702
15	52,190	10,000		42,190	0.4173	17,604	21,777	4,173	- 389,673	- 166,513

หน่วย : บาท

NPV (บาท)	<b>-389,672.52</b>	DPB (ปี)	---
IRR	---	PB (ปี)	---
PI	<b>0.51</b>	B/C Ratio	<b>0.57</b>
		AW (บาท)	<b>-40,121.76</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 3 CSTR AMR *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ : B	รายจ่าย : C	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		940,340	-	- 940,340	1.0000	- 940,340	-	940,340	- 940,340	- 940,340
1	76,289	11,000		65,289	0.9434	61,593	71,970	10,377	- 878,747	- 875,051
2	72,135	11,000		61,135	0.8900	54,410	64,200	9,790	- 824,337	- 813,916
3	72,135	11,000		61,135	0.8396	51,330	60,566	9,236	- 773,006	- 752,781
4	72,135	11,000		61,135	0.7921	48,425	57,138	8,713	- 724,581	- 691,645
5	72,135	11,000		61,135	0.7473	45,684	53,904	8,220	- 678,897	- 630,510
6	72,135	11,000		61,135	0.7050	43,098	50,853	7,755	- 635,799	- 569,375
7	72,135	11,000		61,135	0.6651	40,659	47,974	7,316	- 595,141	- 508,239
8	72,135	11,000		61,135	0.6274	38,357	45,259	6,902	- 556,784	- 447,104
9	72,135	11,000		61,135	0.5919	36,186	42,697	6,511	- 520,598	- 385,969
10	72,135	11,000		61,135	0.5584	34,138	40,280	6,142	- 486,460	- 324,833
11	72,135	11,000		61,135	0.5268	32,205	38,000	5,795	- 454,255	- 263,698
12	72,135	11,000		61,135	0.4970	30,382	35,849	5,467	- 423,873	- 202,562
13	72,135	11,000		61,135	0.4688	28,663	33,820	5,157	- 395,210	- 141,427
14	72,135	11,000		61,135	0.4423	27,040	31,906	4,865	- 368,170	- 80,292
15	72,135	11,000		61,135	0.4173	25,510	30,100	4,590	- 342,660	- 19,156

หน่วย : บาท

NPV (บาท)	<b>-342,660.00</b>	DPB (ปี)	---
IRR	---	PB (ปี)	---
PI	<b>0.64</b>	B/C Ratio	<b>0.67</b>
		AW (บาท)	<b>-35,281.22</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 4 Plug Flow *Total Cash Flow* WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,000	-	- 800,000	1.0000	- 800,000	-	800,000	- 800,000	- 800,000
1	81,725	1,000		80,725	0.9434	76,156	77,099	943	- 723,844	- 719,275
2	82,982	1,000		81,982	0.8900	72,964	73,854	890	- 650,881	- 637,293
3	82,982	1,000		81,982	0.8396	68,834	69,673	840	- 582,047	- 555,311
4	82,982	1,000		81,982	0.7921	64,937	65,730	792	- 517,110	- 473,329
5	82,982	1,000		81,982	0.7473	61,262	62,009	747	- 455,848	- 391,347
6	82,982	1,000		81,982	0.7050	57,794	58,499	705	- 398,054	- 309,365
7	82,982	1,000		81,982	0.6651	54,523	55,188	665	- 343,531	- 227,383
8	82,982	1,000		81,982	0.6274	51,437	52,064	627	- 292,095	- 145,401
9	82,982	1,000		81,982	0.5919	48,525	49,117	592	- 243,570	- 63,419
10	82,982	1,000		81,982	0.5584	45,778	46,337	558	- 197,791	18,563
11	82,982	1,000		81,982	0.5268	43,187	43,714	527	- 154,604	100,545
12	82,982	1,000		81,982	0.4970	40,743	41,240	497	- 113,862	182,527
13	82,982	1,000		81,982	0.4688	38,436	38,905	469	- 75,425	264,509
14	82,982	1,000		81,982	0.4423	36,261	36,703	442	- 39,164	346,491
15	82,982	1,000		81,982	0.4173	34,208	34,625	417	- 4,956	428,473

หน่วย : บาท

<b>NPV (บาท)</b>	<b>-4,956.25</b>	<b>DPB (ปี)</b>	<b>---</b>
<b>IRR</b>	<b>5.91%</b>	<b>PB (ปี)</b>	<b>9.77</b>
<b>PI</b>	<b>0.99</b>	<b>B/C Ratio</b>	<b>0.99</b>
		<b>AW (บาท)</b>	<b>-510.31</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 4 1-stage CSTR Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ	รายจ่าย	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		800,622	-	- 800,622	1.0000	- 800,622	-	800,622	- 800,622	- 800,622
1	68,879	10,000		58,879	0.9434	55,546	64,980	9,434	- 745,076	- 741,743
2	70,961	10,000		60,961	0.8900	54,255	63,155	8,900	- 690,821	- 680,782
3	70,961	10,000		60,961	0.8396	51,184	59,580	8,396	- 639,637	- 619,821
4	70,961	10,000		60,961	0.7921	48,287	56,208	7,921	- 591,350	- 558,860
5	70,961	10,000		60,961	0.7473	45,554	53,026	7,473	- 545,796	- 497,899
6	70,961	10,000		60,961	0.7050	42,975	50,025	7,050	- 502,821	- 436,938
7	70,961	10,000		60,961	0.6651	40,543	47,193	6,651	- 462,279	- 375,977
8	70,961	10,000		60,961	0.6274	38,248	44,522	6,274	- 424,031	- 315,016
9	70,961	10,000		60,961	0.5919	36,083	42,002	5,919	- 387,948	- 254,055
10	70,961	10,000		60,961	0.5584	34,040	39,624	5,584	- 353,908	- 193,094
11	70,961	10,000		60,961	0.5268	32,113	37,381	5,268	- 321,794	- 132,133
12	70,961	10,000		60,961	0.4970	30,296	35,265	4,970	- 291,499	- 71,172
13	70,961	10,000		60,961	0.4688	28,581	33,269	4,688	- 262,918	- 10,211
14	70,961	10,000		60,961	0.4423	26,963	31,386	4,423	- 235,955	50,750
15	70,961	10,000		60,961	0.4173	25,437	29,610	4,173	- 210,518	111,711

หน่วย : บาท

NPV (บาท)	<b>-210,517.74</b>	DPB (ปี)	---	AW (บาท)	<b>-21,675.49</b>
IRR	<b>1.68%</b>	PB (ปี)	<b>13.17</b>		
PI	<b>0.74</b>	B/C Ratio	<b>0.77</b>		

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

กรณี 4 CSTR AMR Total Cash Flow WACC = 6.00% Tax Rate = 30%

ปีที่	รายรับ : B	รายจ่าย : C	ภาษี : Tax	ผลตอบแทนปัจจุบัน	Wacc fac.	PV	รายได้ปัจจุบัน	รายจ่ายปัจจุบัน	Acc. PV	ผลตอบแทนปัจจุบัน
0		940,340	-	- 940,340	1.0000	- 940,340	-	940,340	- 940,340	- 940,340
1	103,728	11,000		92,728	0.9434	87,479	97,857	10,377	- 852,861	- 847,612
2	92,949	11,000		81,949	0.8900	72,934	82,724	9,790	- 779,926	- 765,663
3	92,949	11,000		81,949	0.8396	68,806	78,042	9,236	- 711,120	- 683,714
4	92,949	11,000		81,949	0.7921	64,911	73,624	8,713	- 646,209	- 601,765
5	92,949	11,000		81,949	0.7473	61,237	69,457	8,220	- 584,972	- 519,816
6	92,949	11,000		81,949	0.7050	57,771	65,525	7,755	- 527,201	- 437,867
7	92,949	11,000		81,949	0.6651	54,501	61,816	7,316	- 472,701	- 355,918
8	92,949	11,000		81,949	0.6274	51,416	58,317	6,902	- 421,285	- 273,969
9	92,949	11,000		81,949	0.5919	48,505	55,016	6,511	- 372,779	- 192,020
10	92,949	11,000		81,949	0.5584	45,760	51,902	6,142	- 327,019	- 110,071
11	92,949	11,000		81,949	0.5268	43,170	48,964	5,795	- 283,850	- 28,122
12	92,949	11,000		81,949	0.4970	40,726	46,193	5,467	- 243,124	53,827
13	92,949	11,000		81,949	0.4688	38,421	43,578	5,157	- 204,703	135,776
14	92,949	11,000		81,949	0.4423	36,246	41,111	4,865	- 168,456	217,725
15	92,949	11,000		81,949	0.4173	34,194	38,784	4,590	- 134,262	299,674

หน่วย : บาท

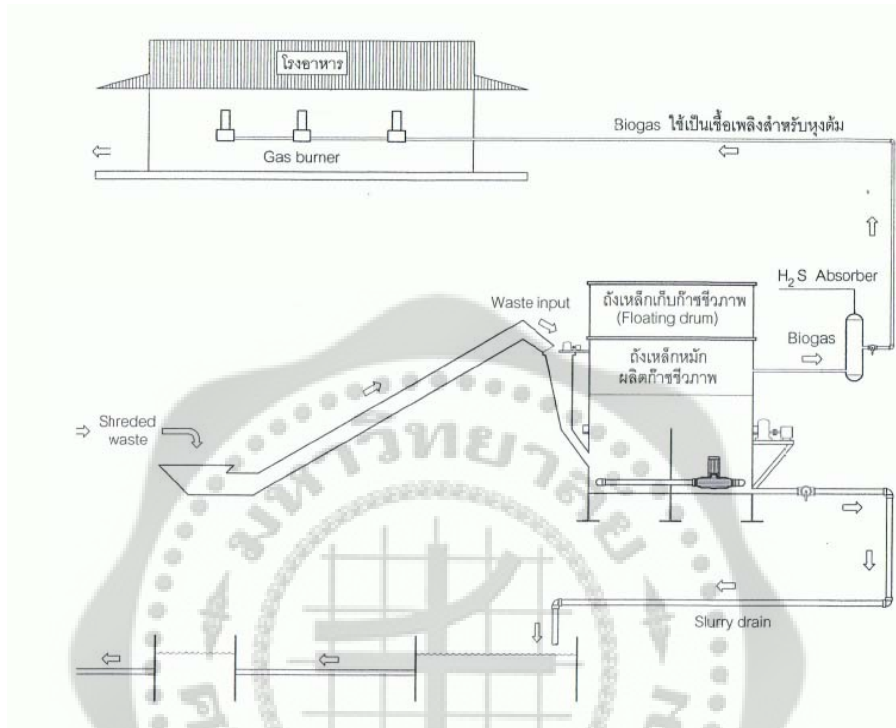
NPV (บาท)	<b>-134,262.04</b>	DPB (ปี)	<b>---</b>
IRR	<b>3.71%</b>	PB (ปี)	<b>11.34</b>
PI	<b>0.86</b>	B/C Ratio	<b>0.87</b>
		AW (บาท)	<b>-13,823.99</b>

NPV : Net Present Value IRR : Internal Rate of Return B/C Ratio : Benefit Cost Ratio DPB : Discounted Payback Period PB : Simple Payback Period AW : Annual Worth

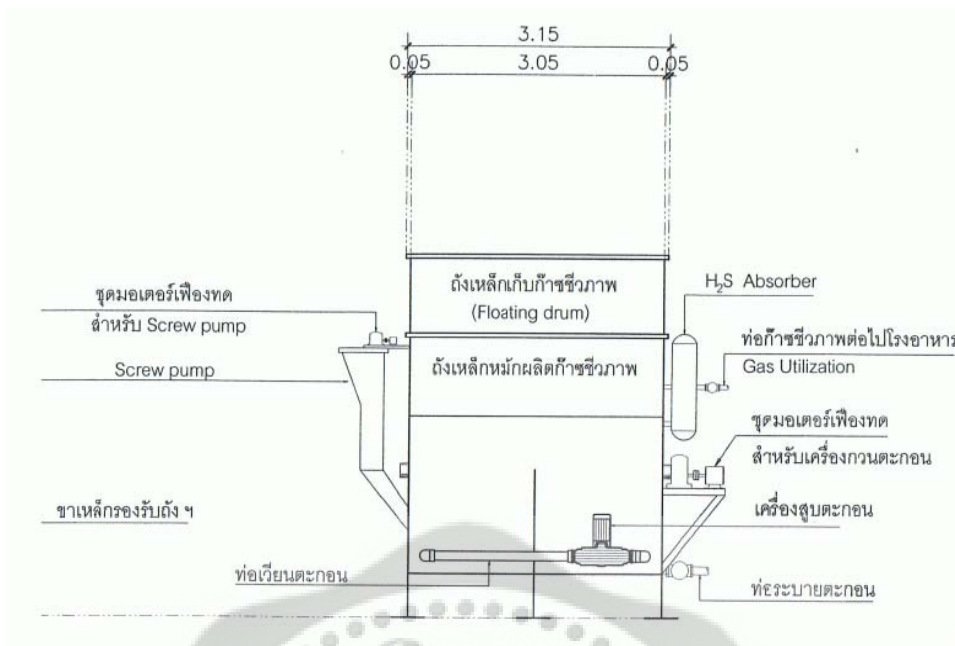
ภาคผนวก ง  
ผังกระบวนการผลิตและกระบวนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์  
(Process Flow Diagram)



ผังกระบวนการผลิตและกระบวนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์  
เทคโนโลยี Plug Flow



ผังกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับมูลฝอยอินทรีย์



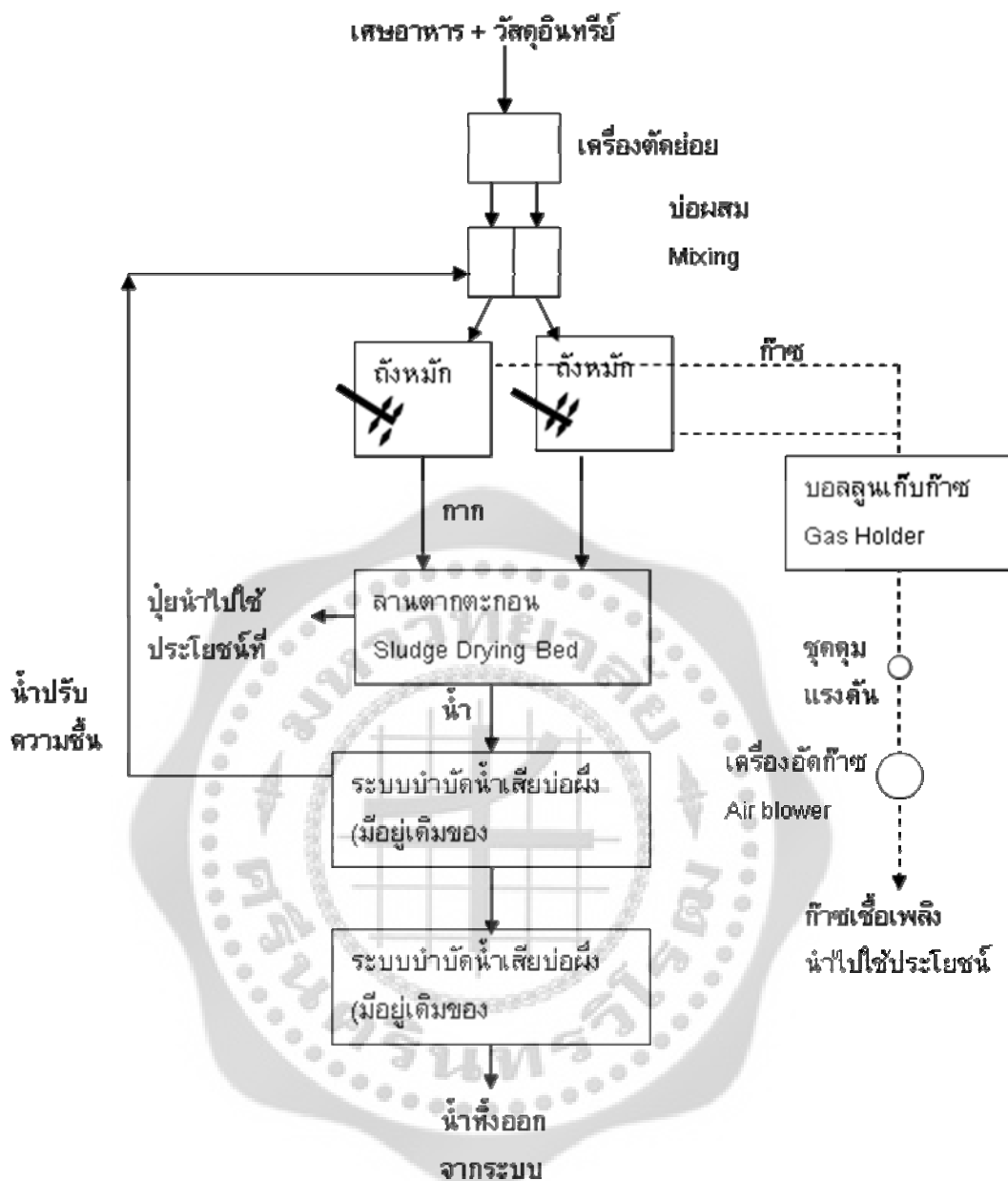
Plant Layout กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุอินทรีย์



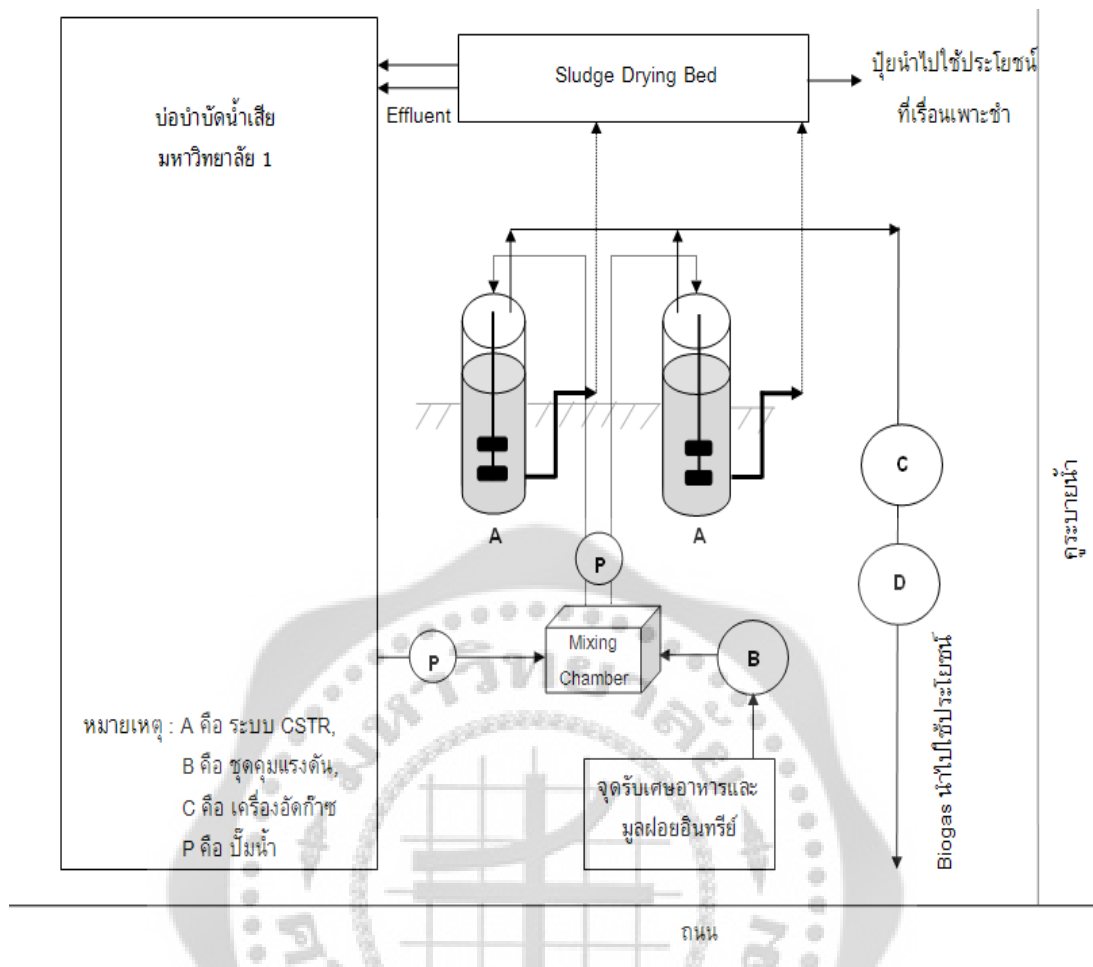
ภาพถ่ายสถานที่จริง

กระบวนการผลิตและกระบวนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

เทคโนโลยี 1stage CSTR



ผังกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับมูลฝอยอินทรีย์



Plant Layout กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุอินทรีย์

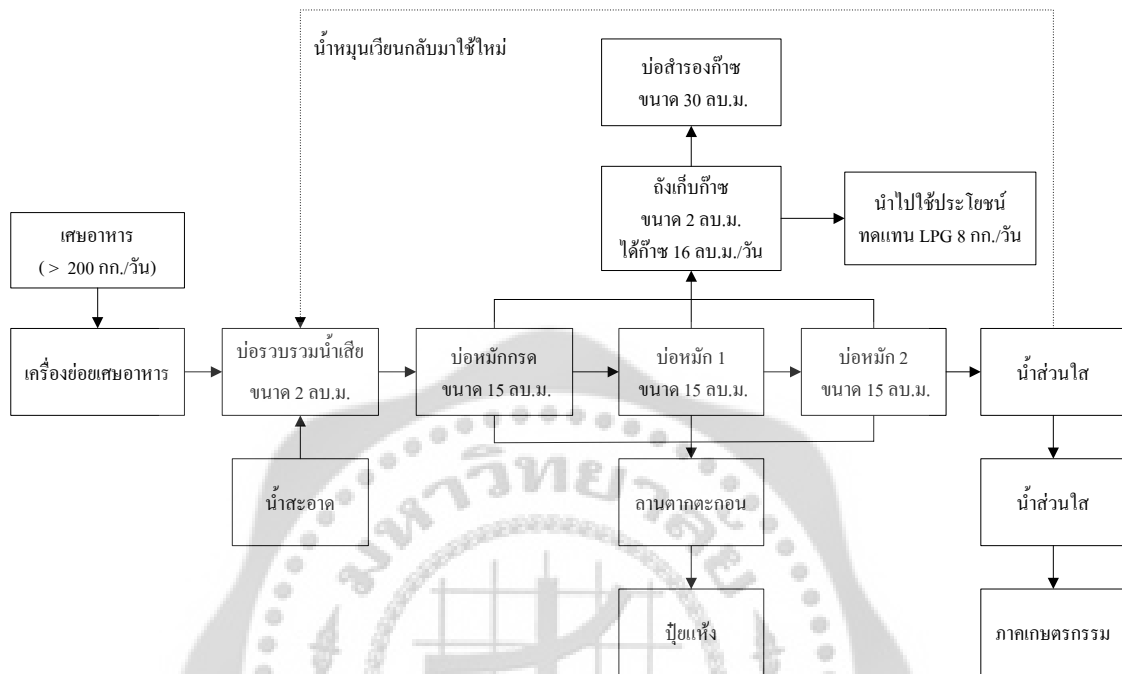




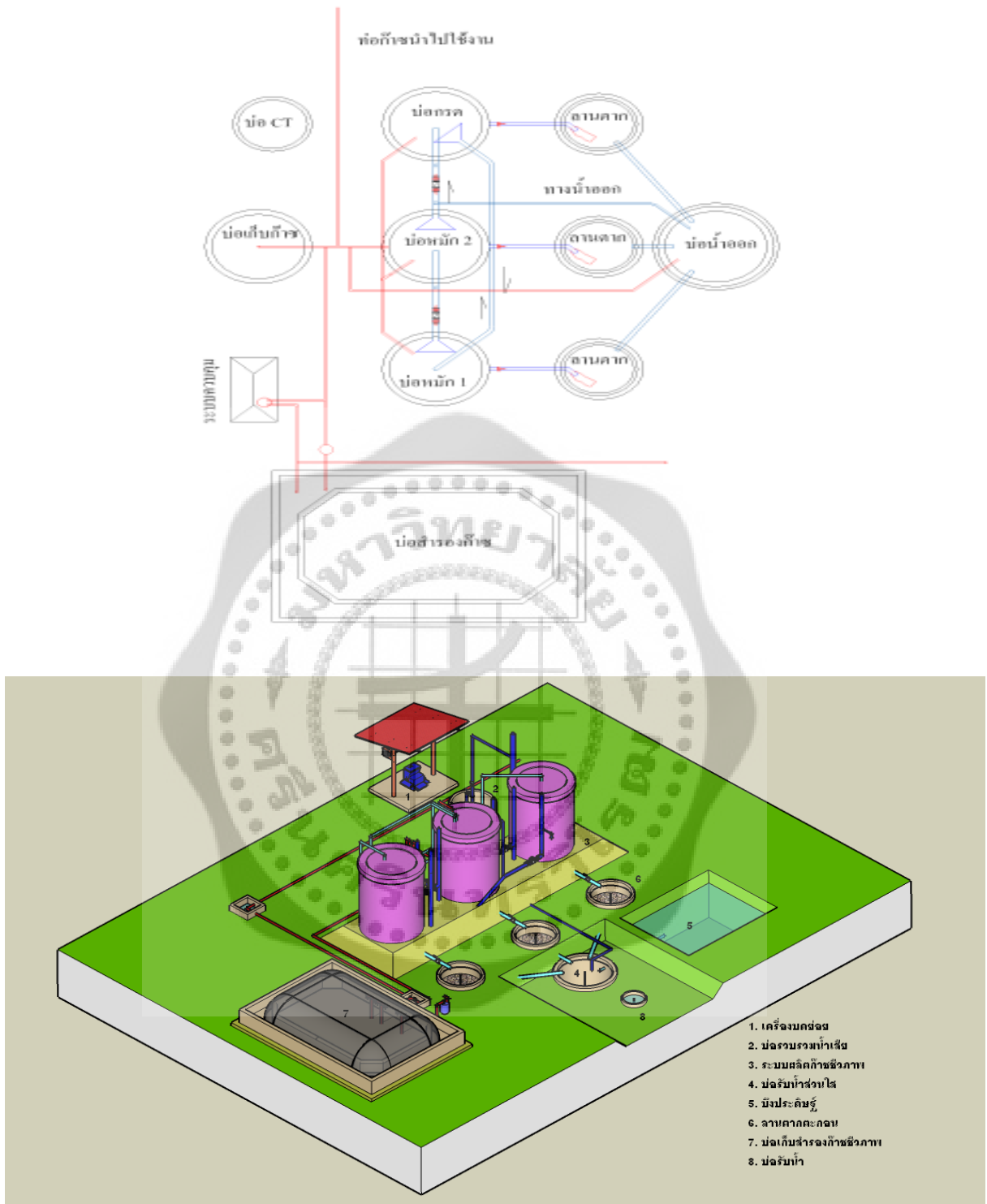
ภาพถ่ายสถานที่จริง



กระบวนการผลิตและกระบวนการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์  
เทคโนโลยี CSTR-AMR



ผังกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับมูลฝอยอินทรีย์



Plant Layout กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุอินทรีย์



ภาพถ่ายสถานที่จริง