บทที่ 4
ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างระบบผลิตแก๊สชีภาพโดยใช้วัตถุดิบเป็นสิ่งปฏิกูลมนุษย์ ซึ่งผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบและสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลมนุษย์

การออกแบบและประกอบระบบผลิตแก๊สชีวภาพนั้น เป็นการแบบระบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้พอเพียงต่อการใช้ในครัวเรือนในแต่ละวัน ซึ่งจะพิจารณาถึงความปลอดภัยของในการใช้งานของผู้ใช้ไปเป็นหลัก ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำคัญดังนี้

1.	ถังหมักขนาด 1,000 ลิตร	1 ถัง
2.	ถังเก็บแก๊สและกรองกากของเสียขนาด 100 ลิตร	1 ถัง
3.	ถังเก็บแก๊สขนาด 100 ลิตร	2 ถัง
4.	ล้อรับน้ำหนักโครงสร้าง	4 ล้อ
5.	ท่อพีวีซีและวาล์วขนาด 5 นิ้ว ระบายกากของเสีย	1 ชุด
6.	ท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้วยาว 1 เมตร	1 ชุด
7.	ข้องอเกลียวนอกขนาด 4 หุน	1 อัน
8.	หัวต่อสายยางเกลียวนอกขนาด 4 หุน	1 อัน
9.	ส่วนประกอบสำหรับท่อนำก๊าซของถังเก็บแก๊ส	1 ชุด
10.	หัวต่อสายยางเกลียวนอกขนาด 4 หุน	2 อัน

1. ชุดถังหมักแก๊สชีวภาพ

ถังหมักแก๊สชีวภาพทำด้วยเหล็กสแตนเลสทรงกระบอกขนาด 1,000 ลิตร สูง 2.0 เมตร ปริมาตรการหมัก 500 ลิตร มีใบกวนยาว 1.5 เมตร จำนวน 1 ใบ สำหรับกวนวัตถุดิบ ทำการติดตั้งท่อพีวีซีขนาด 5 นิ้ว สำหรับป้อนวัตถุดิบด้านล่างของถัง มีวาล์วสำหรับควบคุมการปิดเปิดสำหรับถ่ายวัสดุที่ผ่านการหมัก ด้านข้างของถังหมักใส่ท่อพีวีซีพร้อมวาล์วควบคุมการปิดเปิดสำหรับถ่ายของเหลวส่วนเกินเพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังหมักให้ปริมาตรการหมักคงที่ ถังหมักแก๊สมีท่อต่อสำหรับนำแก๊สที่ผลิตได้ไปยังชุดถังเก็บแก๊สชีวภาพ ถังหมักแก๊สชีวภาพ แสดงดังภาพที่ 4.1

2. ชุดถังเก็บแก๊สชีวภาพ

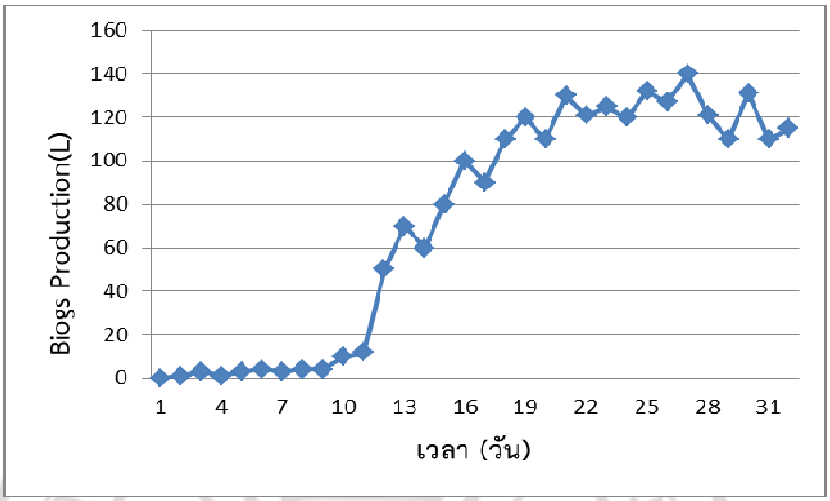
ชุดถังเก็บแก๊สชีวภาพประกอบด้วยชุดถังเก็บแก๊สจำนวน 3 ถัง สำหรับเก็บแก๊สชีวภาพ โดยด้านบนของถังขนาด 100 ลิตร ชุดที่ 1 เชื่อมต่อระหว่างถังหมักแก๊สและถังเก็บแก๊สชีวภาพชุดที่ 2 เข้าด้วยกัน ส่วนด้านล่างมีวาล์วสาหรับเปิดและปิดเพื่อนำแก๊สชีวภาพไปใช้งาน โดยระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลมนุษย์แสดงดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลมนุษย์

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.2.1 **ผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากระบบผลิตแก๊สชีวภาพต้นแบบ**

ผลการทดลองปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตแก๊สชีวภาพต้นแบบแสดงดังภาพที่ 4.2 แสดงกราฟการเกิดแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันโดยการผลิตแก๊สชีวภาพมูลมนุษย์ใช้สัดส่วนระหว่างมูลมนุษย์กับน้ำที่ 1:2 โดยปริมาตร การทดลองเริ่มจากนำมูลมนุษย์กับน้ำหมักด้วยกระบวนการไร้อากาศเป็นการหมักในถังหมัก 500 ลิตร เพื่อหาการเกิดแก๊สชีวภาพ ซึ่งจากภาพที่ 4.21 จะพบว่าปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพช่วงระยะเวลา10 วันแรกมีปริมาณแก๊สเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากไม่ได้ใช้หัวเชื้อจุลินทรีเริ่มต้นในการสร้างแก๊สทำให้เกิดขบวนการสร้างแก๊สล่าช้า แต่หลังจากช่วงระยะเวลา10-20 วันผลการผลิตแก๊สชีวภาพมีประสิทธิภาพดี ซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ Methanogens เปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ขนาดเล็กไปเป็นแก๊สมีเทน โดยผลการทดลองการผลิตแก๊สที่สัดส่วนระหว่างมูลมนุษย์กับน้ำ 3 ระดับ คือ 1:0 1:1 และ 1:2 แสดงดังตาราง 4.1



ภาพที่ 4.2 แสดงอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพระหว่างมูลมนุษย์กับน้ำสัดส่วน 1:2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ที่สัดส่วนต่าง ๆ

วันที่	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:0 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:1 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:2 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)
1	1	0	0
2	3	0	0
3	1	0	0
4	3	1	0
5	4	0	0
6	3	0	0
7	4	1	0
8	4	1.5	0
9	10	2	0
10	12	1	1
11	50	16	2
12	70	18	6

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

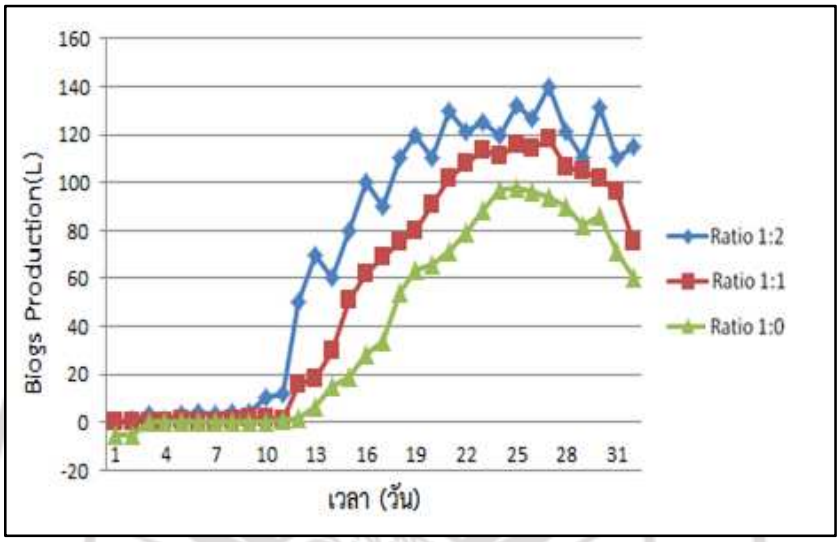
ตารางที่ 4.1 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ที่สัดส่วนต่าง ๆ (ต่อ)

วันที่	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:0 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:1 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)	สัดส่วนมูลมนุษย์:น้ำ 1:2 ปริมาณแก๊ส (ลิตร)
13	60	30	15
14	80	51	19
15	100	62	28
16	90	69	34
17	110	75	54
18	120	80	63
19	110	91	66
20	130	102	71
21	121	108	79
22	125	113	88
23	120	111	97
24	132	116	98
25	127	114	96
26	140	118	94
27	121	106	90
28	110	105	82
29	131	102	86
30	110	96	71
31	115	75	60

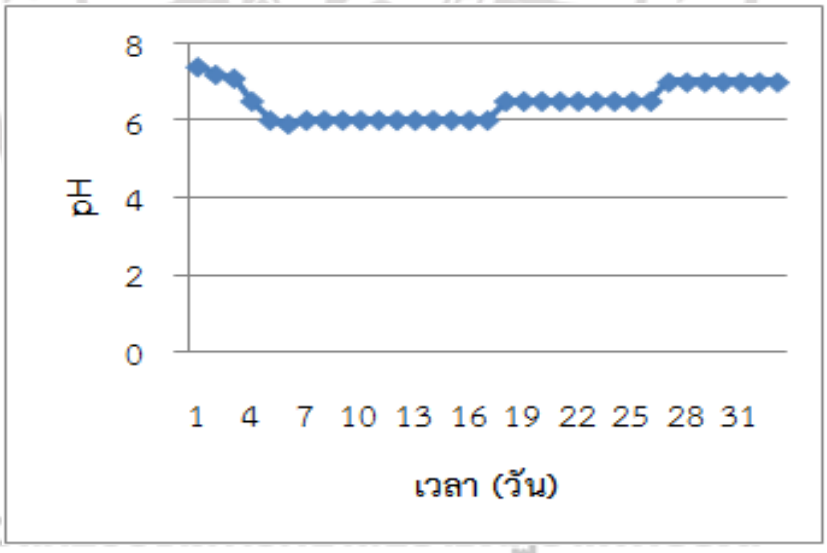
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การทดลองเพื่อทำการวิเคราะห์สัดส่วนของมูลมนุษย์กับน้ำที่มีผลต่อปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้มูลมนุษย์กับน้ำมีสัดส่วน 1:0, 1:1 และ 1:2 ได้ผลการเก็บข้อมูลปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพสะสมดังแสดงในภาพที่ 4.3 ผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขที่มีค่า

เหมาะสมที่สุดด้วยอัตราส่วนของมูลมนุษย์กับมูลวัวคือ 1:2 เนื่องจากปริมาณแก๊สชีวภาพมากกว่าทุกผลการทดลองปริมาณเฉลี่ยแก๊สชีวภาพสะสมอยู่ที่ประมาณ 140 ลิตรในช่วงเวลา 31 วัน



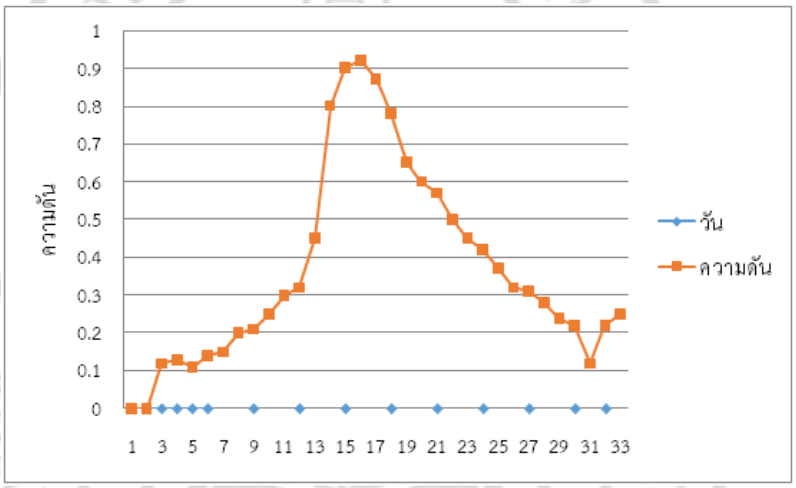
ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในสัดส่วนต่าง ๆ



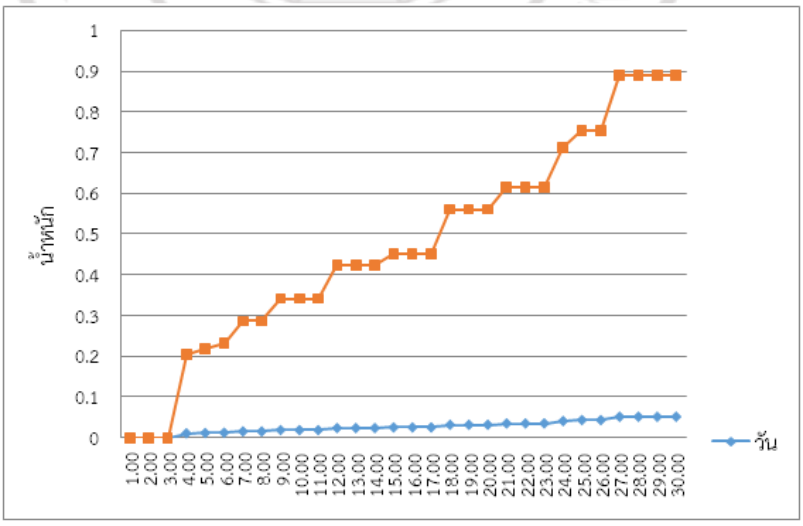
ภาพที่ 4.4 แสดงค่า pH ในแต่วัน

การสร้างมีเทนเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากในช่วงนั้นจะมีการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์สองกลุ่มคือจุลินทรีย์สร้างกรดและจุลินทรีย์สร้างแก๊สมีเทน ซึ่งจุลินทรีย์ที่สร้างกรดจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ pH ที่ค่อนไปทางเป็นกรด ในขณะที่จุลินทรีย์ที่สร้างแก๊สมีเทนจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ pH เป็นกลางไปจนถึงด่าง ดังนั้นค่า pH ที่เหมาะสมในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศต้องมีการควบคุมเพื่อที่จะให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี คืออยู่

ในช่วง 6.5-7.8 หากสภาวะค่า pH ต่ำกว่า 6.2 หรือสูงกว่า 7.8 จากผลการทดลองพบว่าในช่วง 10 วันแรกค่า pH มีค่าต่ำ ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องจากเป็นช่วงจุลินทรีย์สร้างกรดทำงานทำให้ค่า pH มีค่าต่ำลง เมื่อผ่านไปหลังจาก 10 วันแล้วค่า pH ภายในถังหมักอยู่ในช่วง 6.50-7.00 ตลอดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.4 ในส่วนของค่าความดันที่เกิดขึ้นในถังเก็บแก๊สแสดงดังภาพที่ 4.5 จากภาพจะพบว่าค่าความดันจะค่อยเพิ่มขึ้นในแต่ละวันที่อ่านค่าความดันแล้วความดันจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากการที่เกิดขึ้นจะน้อยลง ภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลา (วัน) การหมักต่าง ๆ จากภาพดังกล่าวพบว่านำหนักจะเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการผลิตก๊าซกล่าวคือเพราะจำนวนโมลของแก๊สเพิ่มขึ้นตามกระบวนการของการหมักแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความดันที่เกิดในถังแก๊ส



ตารางที่ 4.6 แสดงการคำนวณหาน้ำหนักของแก๊สในกระบวนการหมัก

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณหาน้ำหนักของแก๊สในกระบวนการหมัก

วันที่	**ความดัน** atm	**ปริมาตร lites**	**ค่าคงที่ R.L.atm /mol.K**	**อุณหภูมิ K**	**จำนวน โมเลกุล CH_4**	**น้ำหนัก w=nmkg**
5 ก.ค 59	0	200	0.082	303	16	0
7 ก.ค 59	0	200	0.082	303	16	0
9 ก.ค 59	0	200	0.082	303	16	0
11 ก.ค 59	0.0015	200	0.082	303	16	0.193
13 ก.ค 59	0.0016	200	0.082	303	16	0.206
15 ก.ค 59	0.0017	200	0.082	303	16	0.219
	0.0021	200	0.082	303	16	0.271
17 ก.ค 59	0.0025	200	0.082	303	16	0.322
	0.0025	200	0.082	303	16	0.322
	0.0025	200	0.082	303	16	0.321
19 ก.ค 59	0.0031	200	0.082	303	16	0.399
	0.0031	200	0.082	303	16	0.399
	0.0031	200	0.082	303	16	0.399
21 ก.ค 59	0.0033	200	0.082	303	16	0.425
	0.0033	200	0.082	303	16	0.425
	0.0033	200	0.082	303	16	0.425
23 ก.ค 59	0.0041	200	0.082	303	16	0.528
	0.0041	200	0.082	303	16	0.5283
	0.0041	200	0.082	303	16	0.528
25 ก.ค 59	0.0045	200	0.082	303	16	0.579
	0.0045	200	0.082	303	16	0.579
	0.0045	200	0.082	303	16	0.579
27 ก.ค 59	0.0052	200	0.082	303	16	0.669
	0.0055	200	0.082	303	16	0.708
	0.0055	200	0.082	303	16	0.708
29 ก.ค 59	0.0065	200	0.082	303	16	0.837
1 ส.ค 59	0.0065	200	0.082	303	16	0.837
3ส.ค 59	0.0065	200	0.082	303	16	0.837
5ส.ค 59	0.0065	200	0.082	303	16	0.837

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าพลังงาน

จากข้อมูลของกระทรวงพลังงานที่ทำการวิจัยด้านพลังงานโดยเฉพาะทางโดยเฉพาะในส่วนของพลังงานทดแทนหรือพลังงานก๊าซชีวภาพจะทราบค่าความร้อนความความหนาแน่นค่าความจุความร้อนเป็นต้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการประเมินคุณภาพทางด้านพลังงานที่ค่าความร้อน 21 MJ/m^3 (ที่ปริมาณมีเทน 60 %) ดังนี้

- การหมักมีอัตราการไหล 0.02989 m^3/day มีค่าความร้อนเท่ากับ 0.61 MJ/day จากการเทียบค่าความร้อนต่อปริมาณวัตถุดิบ (กิโลกรัม) ในแต่ละวันเพื่อเทียบค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานแก๊สชีวภาพกับพลังงานจากแก๊ส LPG เมื่อค่าความร้อนของ แก๊ส LPG เท่ากับ50.22 MJ/kg จะได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- การหมักใส่วัตถุดิบเพียงครั้งเดียวโดยที่ไม่มีแต่เติมวัตถุดิบอีก โดยใช้ปริมาณวัตถุดิบ 100 กิโลกรัมจะมีความความร้อนต่อปริมาณวัตถุดิบในแต่ละวันเท่ากับ 6.1 kJ/kg.day คิดเป็น 0.012 % ของ แก๊ส LPG

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

4.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและจุดคุ้มทุน

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้น การสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพและค่าใช้จ่ายในการทำงานคิดเป็นต้นทุนในการผลิต โดยกำหนดให้

ต้นทุนสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพต้นแบบ	12,000	บาท
อายุการใช้งาน	7	ปี
มูลค่าซากคิดเป็น 10%	1,200	บาท
อัตราดอกเบี้ย	8.0	%

1. ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคาเครื่อง (F_1) ใช้สมการคำนวณค่าเสื่อมราคาระบบผลิตแก๊สชีวภาพ

$$F_1 = \frac{P - L}{N}$$

P คือ ราคาเครื่องอบแห้ง (บาท)

L คือ ราคาซากของเครื่องอบแห้ง (บาท)

N คือ อายุการใช้งาน (ปี)

$$= \frac{(12,000 - 1,200)}{7}$$

$$= 1,542.85 \text{ บาท/ปี}$$

ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน

$$= \frac{(P + L)}{2} \times \frac{i}{100}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

i คือ ดอกเบี้ยบาท/ปี

$$= \frac{(12,000 + 1,200)}{2} \times \frac{8}{100}$$

= 528 บาท/ปี

ต้นทุนรวม = ค่าเสื่อมราคาเครื่อง + ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน

= 1,542.85+528

= 2,070.85 บาท/ปี

2. ข้อมูลต้นทุนราคาแก๊ส LPG เปรียบเทียบความคุ้มค่าที่มีต่อการสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลมนุษย์ ผลสำรวจการใช้แก๊ส LPG ของชุมชนจำนวน 29 ครัวเรือน พบว่าบ้าน 1 หลัง ที่มีคนในบ้านจำนวน 4 คน การใช้แก๊ส LPG จำนวน 1 ถัง โดยถังน้ำหนัก 15 กิโลกรัมระยะเวลาใช้ 1 เดือน (เฉลิม สารคาม, 2553 : หน้า 80) ทำให้ใช้เงินค่าใช้จ่ายจากการซื้อแก๊ส LPG เดือนละ 363 บาท (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) ดังนั้นถ้าในครัวเรือนใช้แก๊สชีวภาพจากปฏิกูลมนุษย์จะสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการซื้อแก๊ส LPG ได้ 363 บาท/เดือน เท่ากับ 4,356 บาท/ปี

ดังนั้น

ระยะเวลาคืนทุน = ต้นทุนรวม/ผลได้

$$= \frac{2,070.85}{4,356}$$

ระยะเวลาคืนทุน = 0.48 ปี

= 5.76 เดือน

ดังนั้นการสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลมนุษย์จะใช้ระยะเวลาในการคืนทุนเพียง 0.48 ปี หรือ 5.76 เดือน

4.3.2 การสรุปข้อมูลความพึงพอใจ

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลมนุษย์ จากการสาธิต การทดลอง การวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาจากตัวแปรต้น ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณวัตถุดิบทดลอง ต่อตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณแก๊สชีวภาพและค่าความร้อน ลักษณะของการประเมินค่า (Rating Scale) ซึ่งมี 5 ระดับ ระดับน้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และระดับมากที่สุด มีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

5 หมายถึง ระดับมากที่สุด

4 หมายถึง ระดับมาก

3 หมายถึง ระดับปานกลาง

2 หมายถึง ระดับน้อย

1 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

โดยหาค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวิเคราะห์ในแต่ละประเด็น โดยใช้เกณฑ์การจัดระดับความพึงพอใจดังนี้

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด
ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง มีระดับความพึงพอใจระดับมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและการนำไปใช้ประโยชน์

ระดับความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	$\bar{x}$	**S.D.**	**แปรผล**
1. ความพึงพอใจต่อระบบการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลมนุษย์ที่สร้างขึ้น	4.15	0.52	ระดับมาก
2. ความพึงพอใจต่อการนำกระบวนการผลิตและการใช้	4.10	0.52	ระดับมาก
3. ความพึงพอใจต่อการผลวิจัยและปริมาณแก๊สชีภาพและค่าความร้อนที่ได้	3.95	0.52	ระดับมาก
4. ความพึงพอใจต่อการใช้ประโยชน์ของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้สำหรับครัวเรือน	4.87	0.52	ระดับมากที่สุด
5. สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ภายในครัวเรือนได้โดยตรง	4.05	0.52	ระดับมาก
เฉลี่ย	**4.46**	0.52	ระดับมาก

สถาบันวิทยบริการมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจต่อผลการวิจัยและการนำไปใช้ประโยชน์ มีค่าแปรผลอยู่ในระดับมาก