บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจาการผลิตกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว

จากการทดลองได้ใช้มูลช้าง ฟางข้าว และน้ำเสีย จากศูนย์คชอาณาจักร หมู่บ้านช้างตากลาง อำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือวัตถุดิบดังกล่าว เพื่อใช้สำหรับการทดลองหัวข้อวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งการทดลองได้ดำเนินการแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้

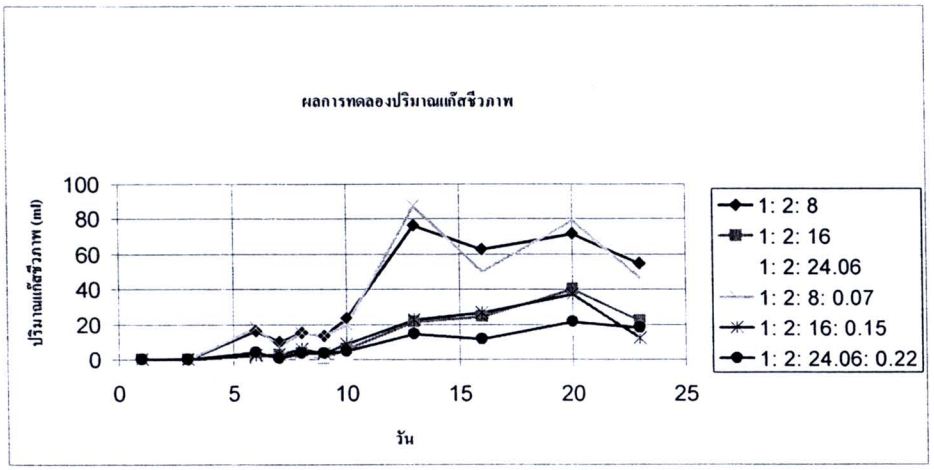
ส่วนที่ 1 ทำการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว เพื่อหาอัตราส่วนเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับถังหมักขนาด 120 มิลลิลิตร และ 3 ลิตร เป็นการเติมวัตถุดิบแบบครั้งเดียว นำผลการทดลองอัตราส่วนที่ดีสุดมาขยายถังหมักขนาด 30 ลิตร แบบกึ่งต่อเนื่อง และ 200 ลิตรแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว ทำการเก็บผลและแสดงผลในหัวข้อ 4.2-4.4

ส่วนที่ 2 นำแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในถังหมักขนาด 200 ลิตร มาเป็นเชื้อเพลิงต้มมูลช้างเพื่อใช้สำหรับการผลิตกระดาษสาจากมูลช้าง พร้อมทั้งศึกษาความเหมาะสมการใช้พลังงานแก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทน
ดังแสดงในหัวข้อ 4.5.1

4.2 ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร

จากการนำวัตถุดิบที่เป็นมูลช้าง ฟางข้าว และน้ำเสีย มาหมักด้วยกระบวนการไร้อากาศ เป็นแบบการหมักแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว ขนาดถังหมัก 120 มิลลิลิตร และ 3 ลิตร เพื่อหาอัตราส่วนผลการทดลองที่เหมาะสมและมีความสอดคล้องกัน ใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 30 วัน จากผลการทดลองรูปที่ 4.1 การหาปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพ โดยการแทนที่น้ำที่อัตราส่วนเงื่อนไขการทดลองทั้ง 6 เงื่อนไข ซึ่งใช้วัตถุดิบ มูลช้าง ฟางข้าว น้ำเสีย และหัวเชื้อ ปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพช่วงระยะเวลา 10 วันแรกของการเริ่มต้นการทดลอง มีแก๊สจำนวนน้อย เนื่องจากอยู่ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก โดยเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า Acidogenic แต่หลังจาก ช่วงระยะเวลา 10-20 วันทุกผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพมีประสิทธิภาพมาก ซึ่งอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์ Methanogenic เปลี่ยนสารละลายอินทรีย์ขนาดเล็ก หรือกรดอะซิตริก รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วนไปเป็นก๊าซมีเทน แต่หลังจากระยะเวลา 20 วัน ปริมาณแก๊สชีวภาพมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นการทดลองปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพ

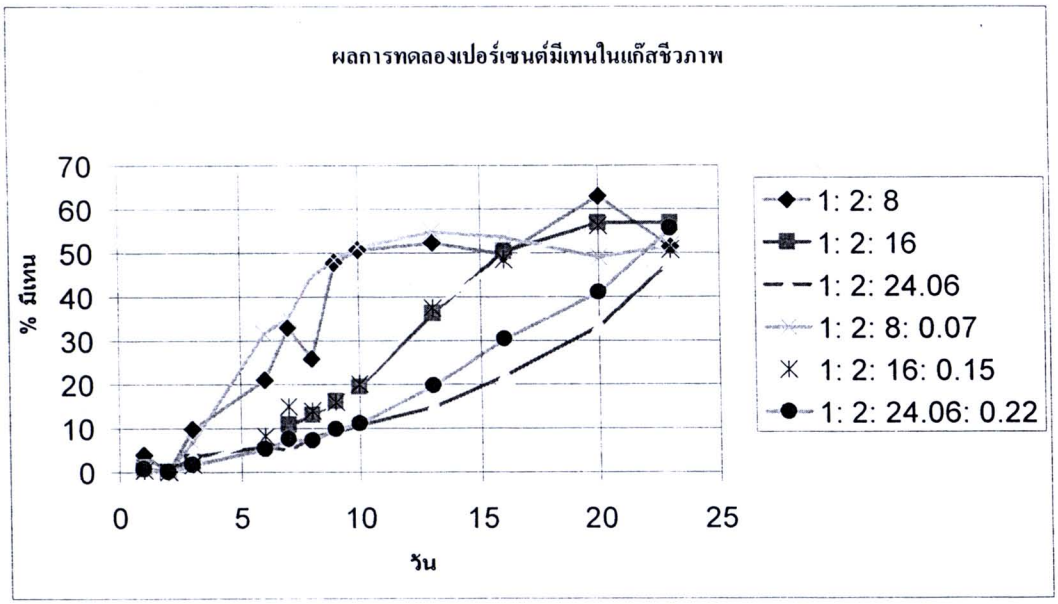
ชุดการทดลองที่ 4 ด้วยอัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) ได้ปริมาณการเกิดแก๊สชีภาพมากสุด 87.35 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองปริมาณแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร

4.2.1 ผลการทดลองการเกิดเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถังหมัก 120 มิลลิลิตร

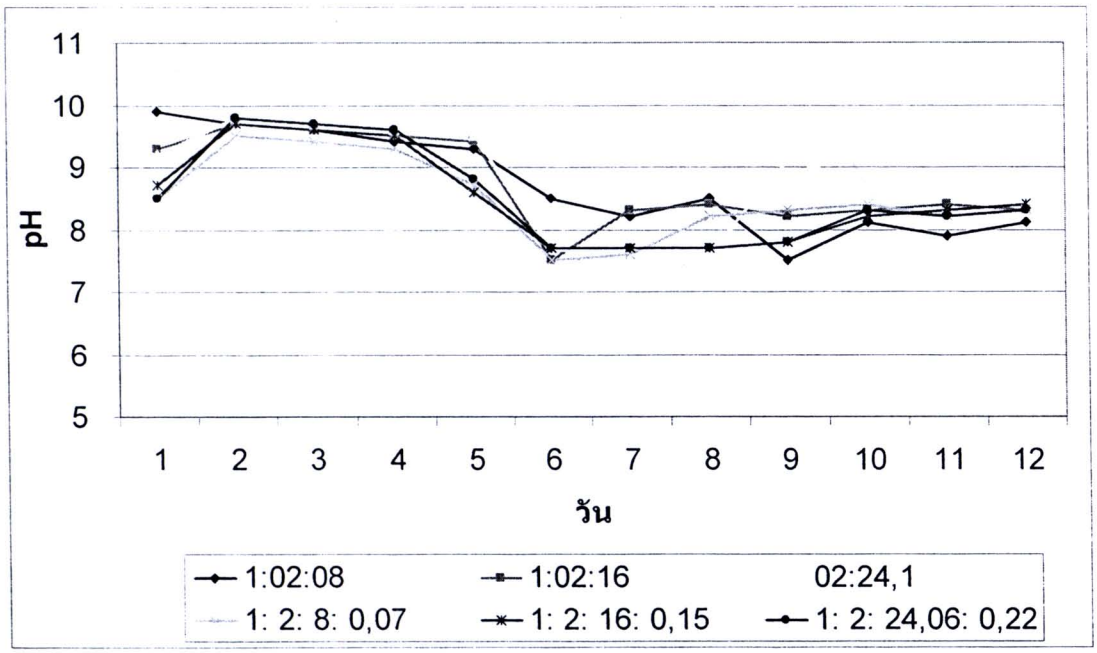
จากผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพรูปที่ 4.2 ช่วงระยะเวลา 10 วันแรกที่เริ่มต้นการหมัก ปริมาณการผลิตแก๊สมีเทนยังไม่มาก เพราะอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียทำการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการแบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenesis) และการกร้างกรดอะเซติกจากกรดไขมันอื่นๆ (Acetogenesis) จึงเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย คือ การสร้างมีเทนในช่วงระยะเวลาการหมัก ดังนั้นทุกผลการทดลองที่ระยะเวลา 10-20 วัน ปริมาณแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น ผลจากการที่กรดอะเซติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียผลิตเป็นแก๊สมีเทน จากนั้นทำการเก็บแก๊สเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณแก๊สชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟฟี่ ได้ผลการทดลอง เปอร์เซนต์มีเทน มากสุดในระยะเวลา 15 วัน เป็นผลการทดลองที่ 4 ให้ %CH_4 54.88 ลักษณะการติดไฟเป็นเปลวไฟสีน้ำเงิน [11] รองลงมาเป็นการทดลองที่ 1, 5, 2, 6 และ 3 ตามลำดับ คำนวณค่าความร้อน Heating Value (H.V.) จากแก๊สชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 55 ได้ 37 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพ

4.3 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 3 ลิตร

ค่า pH เป็นปัจจัยหนึ่งในการผลิตแก๊สชีวภาพ จากการศึกษาเงื่อนไขอัตราส่วน ทั้ง 6 เงื่อนไข ทำการทดลองที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ จากผลการทดลองรูปที่ 4.3 พบว่าเงื่อนไขการทดลองที่ 1 มีค่าพีเอชสูงสุดประมาณ 8.5 ค่าพีเอชต่ำสุดเป็นเงื่อนไขการทดลองที่ 3 ประมาณ 7.5 ทั้งนี้ แบคทีเรีย (Acidogenesis) และ (Acetogenesis) ทำหน้าที่ผลิตกรดทั้งระบบ 6 เงื่อนไข ช่วงระยะเวลาการหมัก 2-6 วัน หลังจากเวลาผ่านไป10 วันค่าพีเอชจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของระบบทั้ง 6 เงื่อนไข ได้ 7.9-8.5 อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่พีเอชมีค่าสูงเกินไป($pH \geq 10$)ก็สามารถทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำได้ เช่นกัน แต่หากเกิดขึ้นแล้วความเสียหายจะไม่รุนแรงเท่ากรณีพีเอชเป็นกรด เนื่องจากกรณีค่าพีเอชเป็นด่างมากเกินไปแบคทีเรียจะหยุดทำงานและสามารถทำงานได้เมื่อค่าพีเอชปรับลดมาอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังนั้น การรักษาค่า พีเอช ที่มีความเป็นด่าง มีผลต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทน นอกจากนี้ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 ควรใส่ขี้เถ้า ปูนขาว หรือสารเคมี เพื่อเพิ่มความเป็นกรด-ด่าง



รูปที่ 4.3 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 3 ลิตร

4.3.1 ผลการทดลองค่า COD ในถังหมักผลิตแก๊สชีวภาพขนาด 3 ลิตร

จากการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้ทำการเก็บน้ำเสียในถังหมัก ขนาด 3 ลิตร ที่อัตราส่วนเงื่อนไขแตกต่างกัน 6 เงื่อนไข มาทำการวิเคราะห์ หาค่า COD ความสกปรกของน้ำในถังหมัก เพราะเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยวิธีการหมักแบบไร้อ๊อกซิเจน [47] เป็นส่วนหนึ่งที่จำเป็นของระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ใช้ทำลายสารอินทรีย์ในตะกอนสลัดจ์เป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และเป็นกระบวนการขั้นต้นที่ใช้ลดความเข้มข้นของกระบวนการสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลง วิธีการเช่นนี้จะช่วยประหยัดพลังงานและสารเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียได้มาก จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ ค่า COD เริ่มต้นหมักและหลังหมักใช้ระยะเวลา 90 วัน ซึ่งผลที่ได้แสดงค่าดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณค่า COD ในถังหมัก 3 ลิตร

การทดลองที่	อัตราส่วน	COD (mg/L)		COD ที่ลดลง (%)	การติดไฟ
	หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว กรัม	ก่อนการหมัก	หลังการหมัก		
1	1: 2 :8 :-	5,623	1,864	66.8	X
2	1: 2: 16: -	4,508	1,479	67.19	X
3	1: 2: 24: -	2,211	1,479	33.10	X
4	1: 2 :8 :0.075	5,218	3,084	40.89	/
5	1: 2: 16: 0.15	4,723	2,895	38.70	/
6	1: 2: 24: 0.22	2,140	1,920	10.28	/

การวิเคราะห์หาค่า COD ความสกปรกในน้ำเสีย น้ำที่มีค่า COD ปริมาณมาก ก่อนการหมักเป็นการทดลอง ที่ 1 ค่า COD 5,623 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 4 ค่า COD 5,218 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะมีปริมาณสารอินทรีย์ในมูลช้างมากสุด รองลงมาเป็น การทดลองที่ 2, 5, 4, 6 ตามลำดับ แต่เมื่อระเวลาผ่านไป ค่า COD ได้มีปริมาณการลดลง โดยค่า COD ที่มีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพลดลงมากสุด เป็นการทดลองที่ 2 COD ที่ลดลง (%) ได้ 67.19 และ การทดลองที่ 1 COD ที่ลดลง (%) 66.8 เพราะค่าไม่ต่างกันมากนัก รองลงมาเป็นการทดลองที่ 4,5,3,6 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าถังหมักที่ใส่ฟางข้าว %COD จะลดลงโดยเฉลี่ย 29.95 ลดลงได้น้อยกว่า การหมักที่มีแต่มูลช้าง % COD ลดลง 56.36 เพราะ เมื่อระยะเวลามากขึ้น แบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) [13] จะสามารถย่อยสลายอินทรีย์สารในมูลช้าง ได้ดีกว่า ฟางข้าว เนื่องจากส่วนประกอบหลักฟางข้าวเป็นเซลลูโลส ส่งผลให้ค่า COD ที่ลดลงมีเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพต่ำ ทดสอบการจุดติดไฟแก๊สชีวภาพ ของชุดการทดลองที่ 4 ลักษณะเปลวไฟมีสีฟ้า ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการจุดติดไฟ [18] (% มีเทน 55-70 เปลวไฟมีสีน้ำเงิน)

4.4 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมการผลิตแก๊สชีวภาพ

ผลการทดลองอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมผลิตแก๊สชีวภาพ ทั้ง 6 เงื่อนไข เป็นการทดลองชุดที่ 4 ด้วยอัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้แก่ การรักษาค่า pH ที่ค่าความเป็นด่าง (pH $\geq$ 6.5) มีผลต่อจุลินทรีย์ที่จะผลิตแก๊สมีเทน การหมักที่อุณหภูมิสูงมีผลช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้ใช้อุณหภูมิสภาวะแวดล้อมอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส[18] อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีความเหมาะสม คือ ประมาณ 23 เนื่องจากคาร์บอนจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานของจุลินทรีย์ และไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์ ปกติจุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนมากเป็น 10-30 เท่าของ

ไนโตรเจน การย่อยสลายจึงจะสมดุล ซึ่งการทดลองชุดที่ 4 ประกอบด้วย ฟางข้าวและมูลช้าง มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนปริมาณสูง 70 และ 43 จากผลการทดลองตารางที่ 4.2 และ เมื่อหมักร่วมกับ หัวเชื้อ ได้จากมูลโค ซึ่งมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนปริมาณต่ำคือ 24 จะช่วยทำให้การนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีความเหมาะสมมากสุด จะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu [48] ด้านวัตถุดิบที่เลือกใช้มูลสัตว์หมักร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากการการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพมูลสุกรหมักร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าวสาลี ฟางข้าวโอ๊ด ลำต้นข้าวโพด ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่ 16/1 ด้วยมูลสุกรหมักร่วมกับฟางข้าวโอ๊ด มีผลการทดลองที่ดีสุด

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบต่างๆ [49]

S.N.	Raw Materials	C/N Ratio
1	Duck dung	8
2	Human excreta	8
3	Chicken dung	10
4	Goat dung	12
5	Pig dung	18
6	Sheep dung	19
7	Cow dung/ buffalo dung	24
8	Water hyacinth	25
9	Elephant dung	43
10	Straw (Maize)	60
11	Straw (rice)	70
12	Straw (wheat)	90
13	Saw dust	Above 200

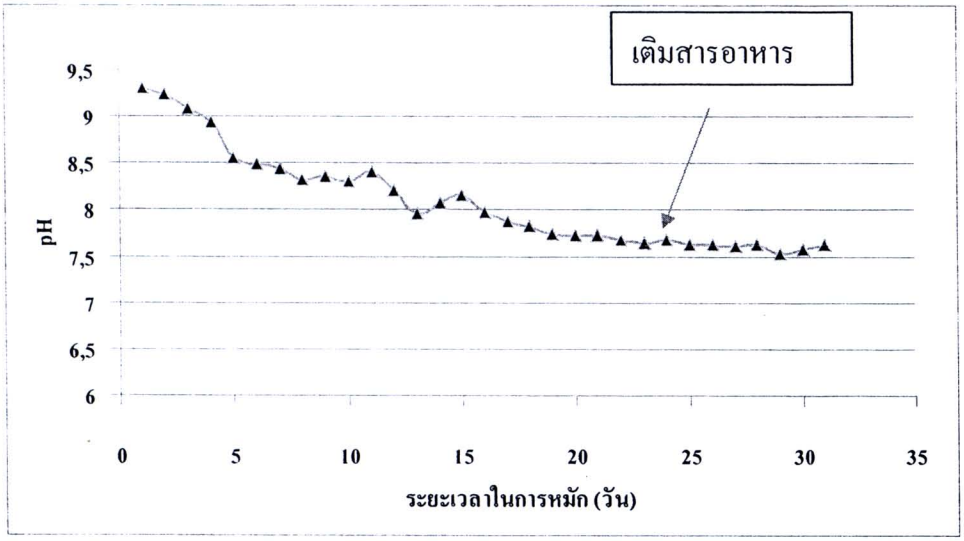
จากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองจากถังหมักขนาด 120 มิลลิลิตรและ 3 ลิตร เพื่อนำไปใช้เป็นเงื่อนไขการหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร และ 200 ลิตร ได้พิจารณาเลือกใช้การหมักแก๊สชีวภาพอัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ฟางข้าว/ (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) เป็นการหมักที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมตามปกติ ซึ่งสามารถผลิตแก๊สมีเทนได้มากกว่า 55% และมีค่าพีเอช อยู่ในช่วง 7.9-8.5 จึงได้เลือกใช้เงื่อนไขดังกล่าวมาใช้ประโยชน์

4.5 ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร

การหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร ที่อัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ฟางข้าว/ (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดของการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากได้พิจารณาความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน ซึ่งการหมักมีการเติมวัตถุดิบแบบกึ่งต่อเนื่อง จากการตรวจวัด อุณหภูมิ ค่าพีเอช และปริมาณมีเทน และวิเคราะห์น้ำเสีย COD BOD

4.5.1 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร

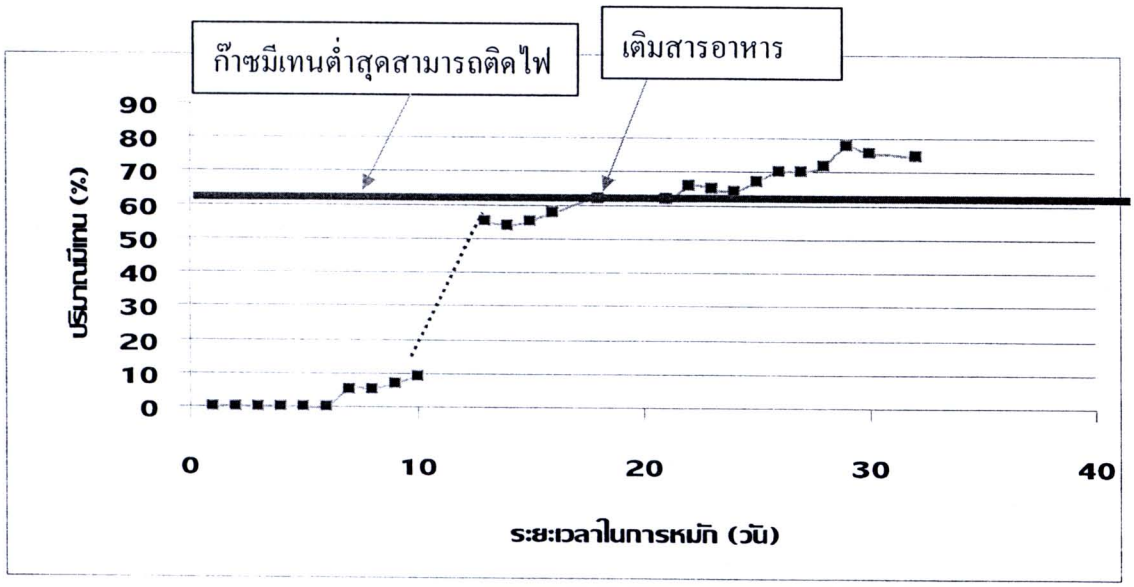
จากผลการทดลองในถังหมักขนาด 3 ลิตร ชุดการทดลองที่ 4 ถูกนำมาขยายขนาดสเกลให้ใหญ่ขึ้นเป็นถังหมัก ขนาด 30 ลิตร ผลการทดลองค่า pH ในถังหมักขนาด 30 ลิตร จากรูปที่ 4.4 เริ่มต้นการหมักมีการปรับค่า pH .ให้สูง ด้วย ขี้เถ้า ค่า pH เริ่มต้นจึงอยู่ที่ 9.4 หลังจากระยะเวลาการหมัก 10 วัน แนวโน้มค่า pH ลดลง อยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สร้างกรดอะซิติก หลังจากระยะเวลาการหมัก วันที่ 20 ค่า pH ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก มีการรักษาสภาวะค่าความเป็นด่างในถังหมักโดยเฉลี่ยได้ 7.5 ขณะเดียวกันช่วงระยะการหมักวันที่ 19 เพราะค่า pH ค่อนข้างคงที่ และมีความเป็นด่างมากพอที่ 7.5 จึงเลือกเติมสารอาหาร(มูลโค)ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในปริมาณที่ไม่มาก โดยพิจารณาจากค่า pH เป็นหลัก เพราะหากเติมสารอาหารในปริมาณมาก สภาพค่า pH ของระบบในถังหมัก จะมีความเป็นกรดสูง ระบบการผลิตแก๊สชีวภาพอาจล้มได้ จึงเลือกเติมในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH มากนัก



รูปที่ 4.4 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร

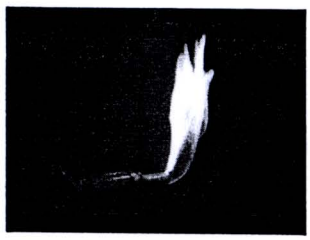
4.5.2 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถังหมัก 30 ลิตร

จากผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพดังรูปที่ 4.5 ขนาดถังหมัก 30 ลิตร ช่วงระยะเวลาการหมัก 10 วันแรก จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตแก๊สมีเทนมีค่าปริมาณมีเทนไม่ถึง 20% แต่หลังจากช่วงระยะเวลาการหมักวันที่ 13 ปริมาณมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 50% หลังจากระยะเวลาการหมักวันที่ 19 ที่มีการเติมสารอาหารลงไปในถังหมัก ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถผลิตแก๊สมีเทนได้ปริมาณมากไม่ต่ำกว่า 60% โดยวันที่ 23 ได้ปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุด 78% และสามารถผลิตแก๊สโดยเฉลี่ย 5 ลิตร/วัน การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 30 ลิตร จะสามารถติดไฟได้อย่างต่อเนื่องระยะเวลาการหมักวันที่ 15 เป็นต้นไป



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพขนาดถังหมัก 30 ลิตร

การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 30 ลิตร ช่วงระยะเวลาวันที่ 11-13 การจุดติดไฟจะมีลักษณะจุดติดดับ เนื่องจากในแก๊สชีวภาพมีปริมาณแก๊สมีเทนน้อย มีสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง หลังจากผ่านระยะเวลาการหมักไปวันที่ 15 เปลวไฟจึงจะจุดติดต่อเนื่อง ส่วนระยะเวลาการหมักวันที่ 13 รูปที่ 4.6 เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีเหลืองส้มและสีฟ้า ขนาดเปลวไฟ 4-6 เซนติเมตร ปริมาณมีเทน วันที่ 13 มีค่า 55% ค่าความร้อน 31 เมกะจูล/ลูกบาศ์กเมตร ระยะเวลาการหมักวันที่ 29 ซึ่งให้ปริมาณมีเทนมากสุด 78% โดยเกณฑ์มาตรฐานการจุดติดไฟแสดงดังตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนสูงสุดจาการทดลองได้ 440 กิโลจูล/10 ลิตร หรือ 44 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองการจุดติดไฟในถังหมักขนาด 30 ลิตร

ตารางที่ 4.3 มาตรฐานการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ

ปริมาณมีเทน (%)	ลักษณะการติดไฟ
0-30	ติดไฟยาก
30-55	วาบไฟไม่ต่อเนื่อง
55-70	เปลวไฟมีสีน้ำเงิน
70-100	เปลวไฟมีสีม่วงเข้ม

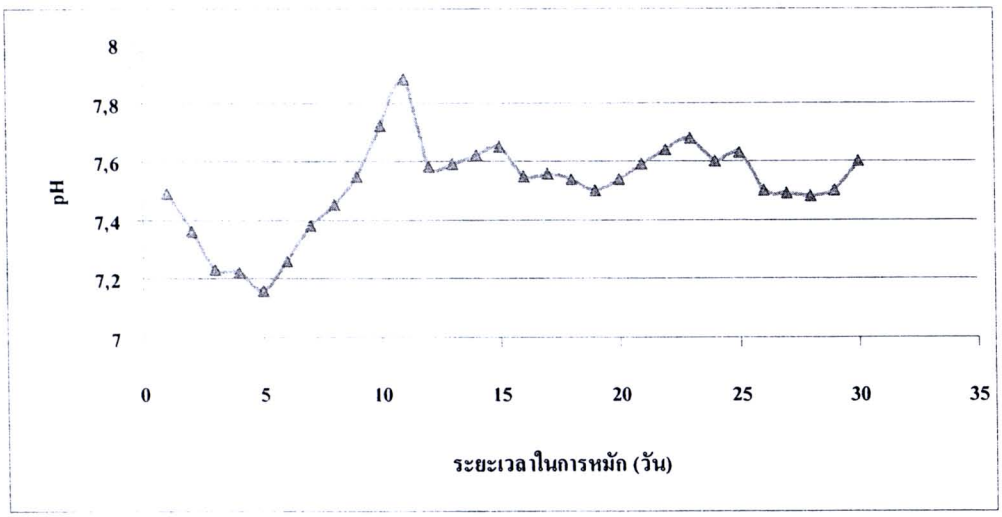
จากการวิเคราะห์ที่ได้จากถังหมักขนาด 30 ลิตร ด้วยอัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) ที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ มีการเติมวัตถุดิบแบบกึ่งต่อเนื่อง เพื่อเป็นการเพิ่มอาหารให้กับแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ปริมาณเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้ระบบนี้มีปริมาณมีเทนอยู่ในเกณฑ์ดี ดังนั้นเพื่อให้สามารถได้ปริมาณแก๊สจำนวนมากจึงได้ขยายถังหมักให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เป็น 200 ลิตร

4.6 ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร

4.6.1 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร

การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 200 ลิตร ใช้อัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1: 2: 16: 0.15) ที่มีอัตราส่วนความเหมาะสมสุดจากผลการทดลอง ถังหมัก 30 ลิตร มาขยายขนาดสเกลให้ใหญ่ขึ้น มีถังเก็บแก๊สชีวภาพขนาด 120 ลิตร ทำการทดลองแบบหมักครั้งเดียว (Batch) ที่อุณหภูมิสภาวะแวดล้อมปกติ (30-34 °C) และมีการตรวจรอยรั่วซึมของถังเก็บแก๊ส ผลการทดลองการเก็บผล ค่าpH รูปที่ 4.7 พบว่า ช่วงเริ่มต้นการหมัก ค่า pH ไม่สูงมาก มีค่า 7.5 แต่หลังจากระยะเวลาการหมักผ่านไปได้ 5 วันแนวโน้มค่า pH ลดต่ำลง เป็นผลจากแบคทีเรีย (Acidogenesis) และ (Acetogenesis) ผลิตกรดทำงาน ซึ่งใช้ระยะเวลาไม่นาน หลังจากผ่านไปวันที่ 6 ค่าpH สูงขึ้น โดยค่า

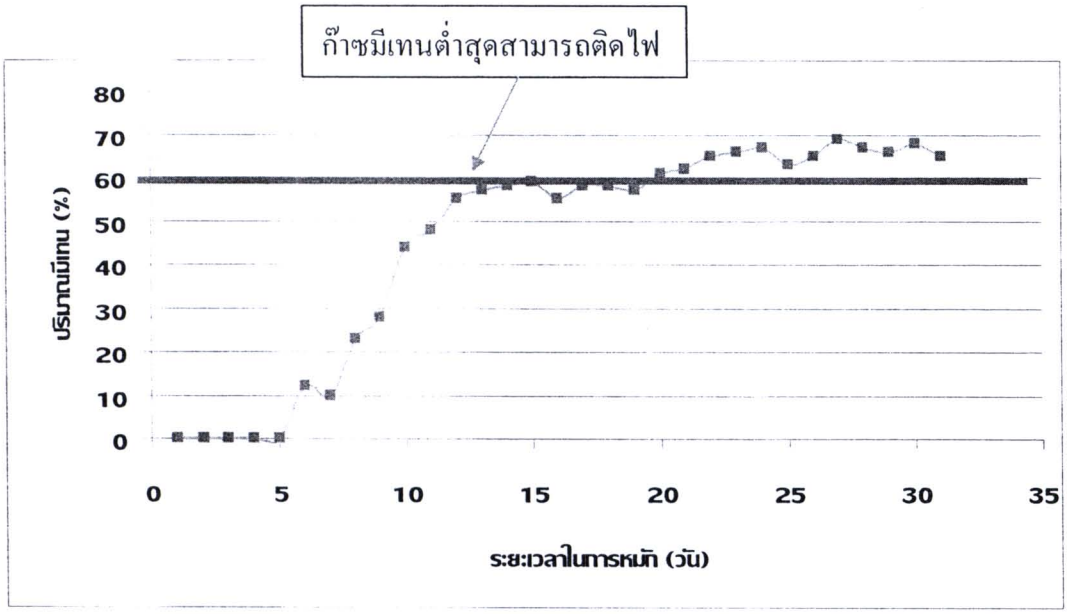
pH สูงสุดวันที่ 11 ได้ค่า pH ที่ 7.9 ช่วงนี้ปริมาณมีเทนมากกว่า 55 และจะเริ่มคงที่ระยะเวลาการหมักวันที่ 15 เป็นต้นไป โดยเฉลี่ยวัดค่าพีเอชได้ 7.5 -7.6



รูปที่ 4.7 ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร

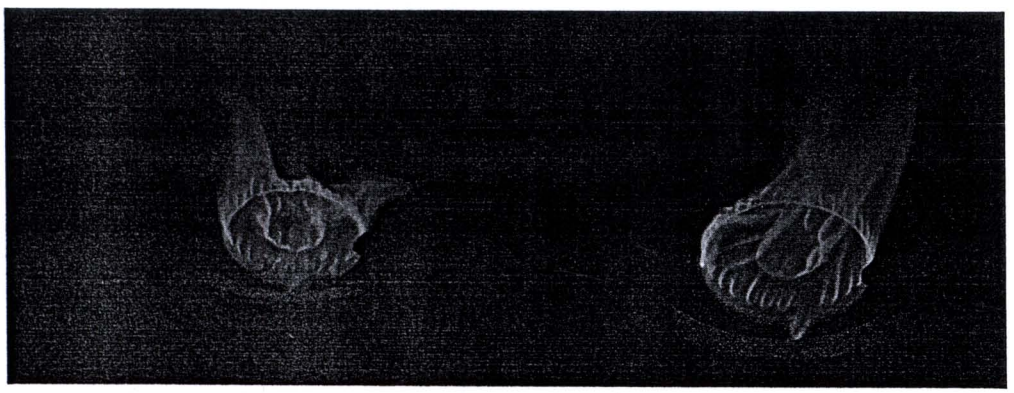
4.6.2 ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถังหมัก 200 ลิตร

ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถังหมัก 200 ลิตรรูปที่ 4.8 ช่วงระยะเวลาการหมัก 10 วันแรกปริมาณมีเทนต่ำกว่า 50 หลังจากระยะเวลาการหมักได้ 11 วัน เป็นช่วงที่ถังหมักผลิตแก๊สมีค่า pH สูงสุดที่ 7.9 ซึ่งสอดคล้องกับการผลิตปริมาณมีเทนตั้งแต่วันที่ 11 ถึงวันที่ 20 สามารถผลิตก๊าซมีเทนมีค่าไม่ต่ำกว่า 55%ซึ่งจุดติดไฟได้ หลังจากนั้นระยะเวลาการหมักวันที่ 20 จุลินทรีย์จะเริ่มผลิตแก๊สมีเทนได้มาก โดยสามารถผลิตปริมาณมีเทนได้ไม่ต่ำกว่า 60% ขณะเดียวกันปริมาณมีเทนสูงสุดที่ได้จากการทดลองมีค่า 69%



รูปที่ 4.8 การทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถังหมัก 200 ลิตร

ผลการทดลองการจุดติดไฟในถังหมักขนาด 200 ลิตร รูปที่ 4.9 ได้ทำการทดลองการจุดติดไฟเวลากลางคืนเพื่อจะได้เห็นสีเปลวไฟ ช่วงแรกทำการทดลองจุดติดไฟวันที่ 11 ซึ่งยังไม่ต่อเข้าหับหัวเผาแก๊ส ผลการทดลองจุดติดดับ เนื่องจากมีปริมาณมีเทนต่ำกว่า 55 ในช่วงระยะเวลาการหมักวันที่ 20 ปริมาณมีเทนมากกว่า 60 จึงได้ทำการทดลองจุดติดไฟโดยต่อเข้ากับหัวเผาแก๊ส ที่มีการออกแบบพิเศษเพื่อใช้กับแก๊สชีวภาพ ผลการทดลองเปลวไฟมีลักษณะสีฟ้า สามารถจุดติดไฟต่อเนื่อง มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นแก๊สเชื้อเพลิงหุงต้ม ค่าความร้อนที่คำนวณได้สูงสุดจากปริมาณมีเทน 69 ได้ 4.68 เมะจูล/120 ลิตร หรือ 39 เมกะจูล/ลูกบาศ์กเมตร



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองการจุดติดไฟในถังหมักขนาด 200 ลิตร

4.6.3 ผลของค่า COD และ BOD เริ่มต้นหมักและหลังหมักแก๊สชีวภาพ

จากการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 30 ลิตร และ 200 ลิตร ที่อัตราส่วนเดียวกัน คือ หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1:2:16:0.15) นำน้ำเสียในถังหมักขนาดดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ หาค่า COD BOD ถึงความสกปรกของน้ำ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า COD BOD เริ่มต้นหมัก และหลังหมักใช้ระยะเวลา 90 วัน จากผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร ค่า COD มีประสิทธิภาพในการลดลง 34% ค่า BOD มีประสิทธิภาพในการลดลง 12% ส่วนถังหมักขนาด 200 ลิตร ค่า COD มีประสิทธิภาพในการลดลง 44.8% ค่าBOD มีประสิทธิภาพในการลดลง 15% ซึ่งถังหมัก 200 ลิตร ค่า COD BOD มีประสิทธิภาพลดความเข้มข้นของกระบวนการสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้เหลือน้อยลงดีกว่าถังหมักขนาด 30 ลิตร

ตารางที่ 4.4 ผลของค่า COD และ BOD เริ่มต้นหมักและหลังหมักแก๊สชีวภาพ

ถังหมัก (ลิตร)	COD (mg/L)		COD ที่ลดลง (%)	BOD (mg/L)		BOD ที่ลดลง (%)
	เริ่มต้นหมัก	หลังการหมัก		เริ่มต้นหมัก	หลังการหมัก	
30	2350	1530	34	1667	1452	12
200	5360	3227	44.8	2960	2514	15

4.7 ผลการทดลองการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระดาษสามูลช้าง

ในการทดลองการใช้แก๊สชีวภาพเพื่อเป็นเชื้อเพลิงต้มมูลช้าง สำหรับการผลิตกระดาษสานั้น ได้ใช้ถังหมักขนาด 200 ลิตร ลิตร ที่อัตราส่วนหัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (กรัม) (1:2:16:0.15) ปริมาณวัตถุดิบในการหมักดังนี้ มูลช้าง 26 กิโลกรัม ฟางข้าว 1 กิโลกรัม น้ำเสีย 106.6 ลิตร ถังเก็บแก๊ส 120 ลิตร แก๊สที่ผลิตได้นำไปต้มกับมูลช้าง 1 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิจุดเดือดสูงสุด 90 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนคิดที่เปอร์เซ็นต์มีเทน 60% ได้ 34 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร หรือ 4 เมกะจูล/ 120 ลิตร

4.7.1 การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

ปัจจุบันศูนย์คชอาณาจักร ทำการผลิตกระดาษสามูลช้างปริมาณ 40 กิโลกรัม/วัน ได้ผลิตภัณฑ์กระดาษ 120 แผ่น/วัน กระบวนการผลิตกระดาษสาขั้นตอนการต้มมูลช้างพลังงานที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งคือ ไม้ฟืน ปริมาณวันละ 15 กิโลกรัมต่อวันระยะเวลานาน 3 ชั่วโมง ดังนั้นจากผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว ขนาดถังหมัก 200 ลิตร จะ

ถูกนำไปใช้เป็นประโยชน์แทนพลังงานเชื้อเพลิงแข็งต้มมูลช้าง จากผลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในส่วนราคาแก๊สหุงต้ม น้ำมันเตา ราคาปุ๋ย การออกแบบขนาดถังหมัก ถังเก็บแก๊ส ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้และราคาที่ใช้ประเมิน (คิดเฉพาะค่าวัตถุดิบไม่รวมอุปกรณ์)

1. แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าไฟฟ้า = 1.2 กิโลวัตต์
2. แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าก๊าซหุงต้ม = 0.46 กิโลกรัม
3. แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าน้ำมันเตา = 0.55 ลิตร
4. ราคาก๊าซหุงต้มที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ คือ 5 บาท/กิโลกรัม [19]
5. ราคาน้ำมันเตาที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ คือ 5 บาท/ลิตร [19]
6. ราคาไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ คือ 2.5 บาท/กิโลวัตต์ [19]
7. ราคาปุ๋ยที่ใช้ในการคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ คือ 0.92 [19]

การประเมินผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในระบบถังหมัก 200 ลิตร ให้แก๊สชีวภาพเฉลี่ย 45 ลิตร/วัน

หรือ 0.045 ลูกบาศก์เมตร/วัน และ 16425 ลิตรต่อปี หรือ 16.45 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

เทียบเท่ากับปริมาตรแก๊สหุงต้ม = 0.045 ลูกบาศก์เมตร/วัน = 0.02 กิโลกรัม/วัน

= 0.02 x 365

= 9.13 กิโลกรัม/ปี

เทียบเท่ากับปริมาตรน้ำมันเตา = 0.045 ลูกบาศก์เมตร/วัน = 0.02 ลิตร/วัน

= 0.02 x 365

= 7.3 ลิตรต่อปี

จากการคำนวณเบื้องต้นสามารถคิดมูลค่าพลังงานทดแทนได้

สูตรในการคำนวณ มูลค่าพลังงานทดแทน = ปริมาณแก๊สต่อวัน x จำนวน (ปี) x ค่าเปรียบเทียบแก๊สชีวภาพ x ราคาก๊าซหุงต้ม (13.5 บาท/ลิตร)

มูลค่าพลังงานทดแทนแก๊สหุงต้ม = 0.045 x 365 x 0.46 x 13.5

= 102 บาท/ปี

มูลค่าพลังงานทดแทนน้ำมันเตา = 0.045 x 365 x 0.55 x 13.5

= 122 บาท/ปี

นอกจากนี้ยังมีผลตอบแทนจากปุ๋ยมูลช้าง ผลิตได้ประมาณ 0.04 กิโลกรัม/วัน เมื่อเทียบต่อปี 14.6 กิโลกรัม/ปี ขายได้ในราคากิโลกรัมละ 0.6 บาท [19]

สูตรในการคำนวณ มูลค่าตอบแทนจากปุ๋ยมูลช้าง = ปริมาณปุ๋ยต่อวัน จำนวน (ปี) (ราคาที่สามารถขายได้ ค่า Facter ปุ๋ย)

มูลค่าผลตอบแทนปุ๋ยมูลช้าง = 0.04 x 365 x (0.6x0.92)

= 8.05

ดังนั้นผลตอบแทนโดยรวมจากการประหยัดพลังงานและรายได้จากการขายปุ๋ยมีมูลค่าทั้งสิ้น ทดแทนแก๊สหุงต้ม 110.05 บาท/ปี ทดแทนน้ำมันเตา 130.05 บาท/ปี

นำค่าจากการทดลองเบื้องต้นมาคำนวณการผลิตกระดาษสามูลช้างด้วยแก๊สชีวภาพ ขยายขนาดสเกลให้ใหญ่ขึ้นต้องใช้แก๊สชีวภาพประมาณ 4 ชั่วโมงต้มมูลช้าง ออกแบบขนาดถังหมัก 1100 ลิตร ถังเก็บแก๊ส 700 ลิตร ให้แก๊สชีวภาพเฉลี่ยประมาณ 0.247 ลูกบาศก์เมตร/วัน และปุ๋ยมูลช้างประมาณ 80.3 กิโลกรัม/ปี

เทียบเท่าค่าแก๊สหุงต้ม = 0.247 ลูกบาศก์เมตร/วัน = 0.11 กิโลกรัม

= 0.11 x 365

= 40 กิโลกรัม/ปี

เทียบเท่าค่าน้ำมันเตา = 0.247 ลูกบาศก์เมตร/วัน = 0.14 ลิตร

= 0.14 x 365

= 51 ลิตร/ปี

จากการคำนวณสามารถคิดมูลค่าพลังงานทดแทนได้

มูลค่าพลังงานทดแทนแก๊สหุงต้ม = 0.247 x 365 x 0.46 x 6.5

= 270 บาท/ปี

มูลค่าพลังงานทดแทนน้ำมันเตา = 0.247 x 365 x 0.55 x 6.5

= 322 บาท/ปี

ผลตอบแทนจาการขายปุ๋ยมูลช้าง ผลิตได้ประมาณ 80.3 กิโลกรัม/ปี ขายในกิโลกรัมละ 1 บาทได้ 80 บาท/ปี

ดังนั้นผลตอบแทนโดยตรงจากการประหยัดพลังงานและรายได้จากการขายปุ๋ยมีมูลค่าทั้งสิ้น ทดแทนก๊าซหุงต้ม 350 บาท/ปี ทดแทนน้ำมันเตา 402 บาท/ปี นอกจากนี้การที่จะใช้เชื้อเพลิงได้ต่อเนื่องระยะเวลานาน 4 ชั่วโมง ต้องออกแบบถังหมักให้มีขนาด 1100 ลิตร ถังเก็บแก๊ส 700 ลิตร ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องใช้มูลช้าง 143 กิโลกรัม (ช้าง 1 เชือกขับถ่าย 150 กิโลกรัม/วัน) ฟางข้าว 5.5 กิโลกรัม น้ำเสียปริมาณ 589 ลิตร