บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

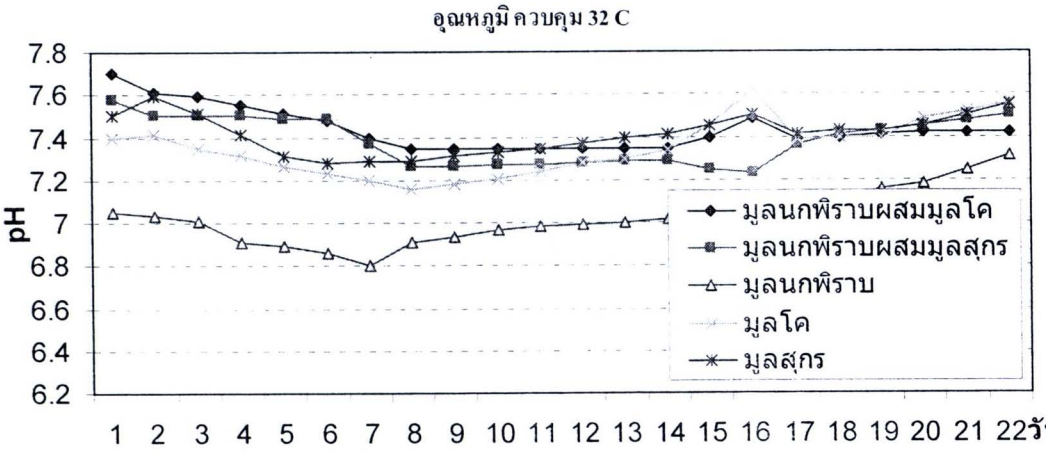
4.1 ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 2 L

ปริมาณก๊าซ CH_4 และค่า pH จากทดลองหมักมูลนกพิราบ เปรียบเทียบกับ มูลสัตว์ต่างๆ ในถังหมักขนาด 2 L โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 32 °C เทียบกับที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ เก็บปริมาณก๊าซ และ $\%CH_4$ ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ซึ่งแสดงผลไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณก๊าซ และ % CH_4 ที่เกิดขึ้นแต่ละวัน ในถังหมักขนาด 2 L ที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 32 °C และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

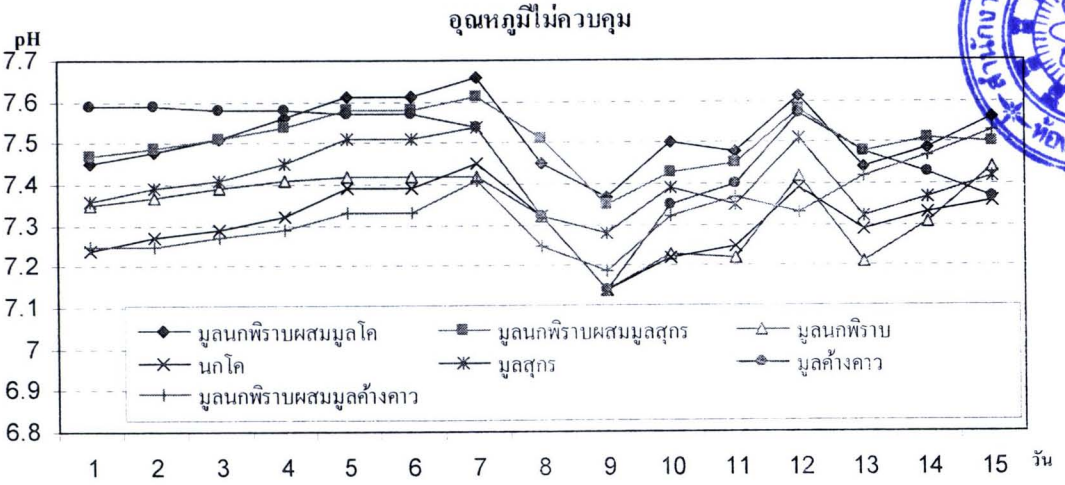
มูลสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบ	ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ (%)		ระยะเวลาที่ผลิตก๊าซต่อเนื่อง(วัน)	
	การหมักที่อุณหภูมิแวดล้อม	การหมักที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 32 °C	การหมักที่อุณหภูมิแวดล้อม	การหมักที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 32 °C
มูลนกพิราบ	65	63	11	13
มูลสุกร	63	63	6	8
มูลโค	57	73	12	14
มูลค้างคาว	67	N/A	19	N/A
มูลนกพิราบผสมมูลสุกร	65	74	26	29
มูลนกพิราบผสมมูลโค	68	74	16	19
มูลนกพิราบผสมมูลค้างคาว	75	N/A	18	N/A

ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จาก มูลนกพิราบ มูลโค มูลหมู มูลนกพิราบผสมมูลโค มูลนกพิราบผสมมูลหมู คือ 63%, 73%, 63%, 74%, และ74% ตามลำดับ การนำมูลนกพิราบมาผสมกับมูลสุกรส่งผลให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้น มากกว่าการใช้มูลนกพิราบเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบการเกิดก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิควบคุม 32 °C กับไม่ควบคุมอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิควบคุม 32 °C จะเกิดก๊าซได้ดีกว่าเนื่องจาก ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 26 °C มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณก๊าซที่ได้ มูลนกพิราบผสมกับมูลสุกรได้ปริมาณมีเทน 74% ซึ่งมีระยะการเกิดอย่างต่อเนื่องนาน 29 วันและค่า pH ของมูลสัตว์ผสมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5 รูปที่ 4.1 แสดงค่า pH ของมูลสัตว์ชนิดต่างๆที่อุณหภูมิควบคุม และรูปที่ 4.2 แสดงค่า pH ของมูลสัตว์ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 4.1 การวัดค่า pH ของมูลสัตว์ ถังหมักขนาด 2 ลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 32 °C

จากกราฟรูปที่ 4.1 เส้นกราฟ pH ของมูลนกพิราบต่ำกว่า 7 เล็กน้อย เนื่องมาจากมูลสัตว์ปีกที่นำมาใช้หมักก๊าซชีวภาพ มีความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากมูลโคกับมูลสุกรบ้าง (การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.6-7.8)



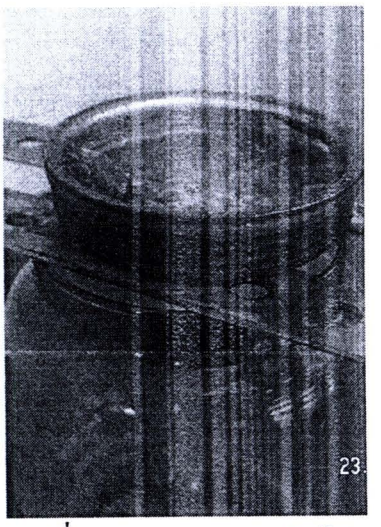
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 4.2 การวัดค่า pH ของมูลสัตว์ ถังหมักขนาด 2 ลิตร โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ

จากกราฟรูปที่ 4.1 และกราฟรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า pH ของมูลนกพิราบ มีค่า 6.8- 7.3 ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพแบบต่อเนื่องได้เนื่องจากค่า pH อยู่ในช่วงที่แบคทีเรียมีเทนเจริญเติบโตได้ได้ คือค่า pHไม่ต่ำกว่า 5.5 ถ้าต่ำกว่าระบบการหมักก๊าซชีวภาพจะล้มเหลวไม่เกิดก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้น ส่วนมูลสุกร มูลโค มูลค้างคาว มูลนกพิราบผสมมูลสัตว์ ก็สามารถเกิดก๊าซมีเทนได้

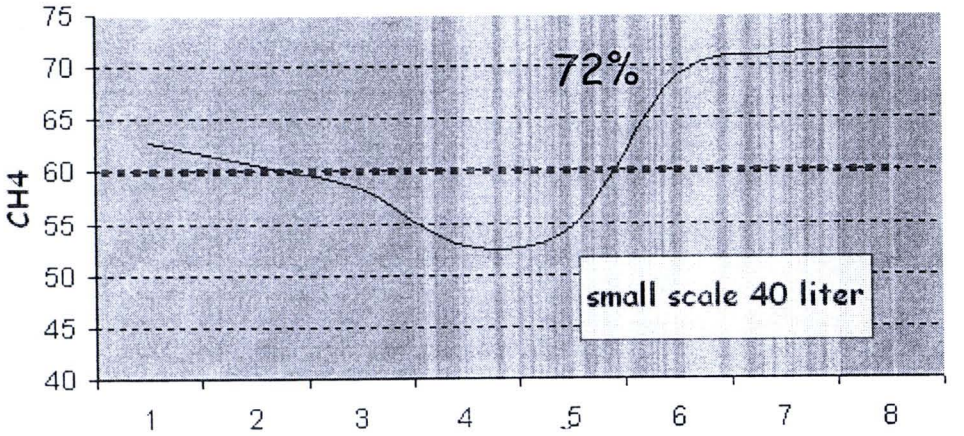
4.2 ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 40 L

การหมักก๊าซชีวภาพในถังหมักขนาด 40 L เป็นการหมักเป็นแบบเติมอาหารกึ่งต่อเนื่อง ประมาณ 2-3 วันต่อการเติม 1 ครั้ง จำนวนการเติมอาหาร 2 L ต่อครั้ง รูปที่4.3 แสดงการทดสอบการจุดติดไฟ



รูปที่ 4.3 การทดลองจุดติดไฟ

จากรูปที่ 4.3 การจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณก๊าซในถังเก็บก๊าซชีวภาพขนาด 20 L เผาไหม้ได้นาน 20 นาที การเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ เฉลี่ย 20 L/วัน โดยแสดง $\%CH_4$ ที่ได้ดังรูปที่ 4.4



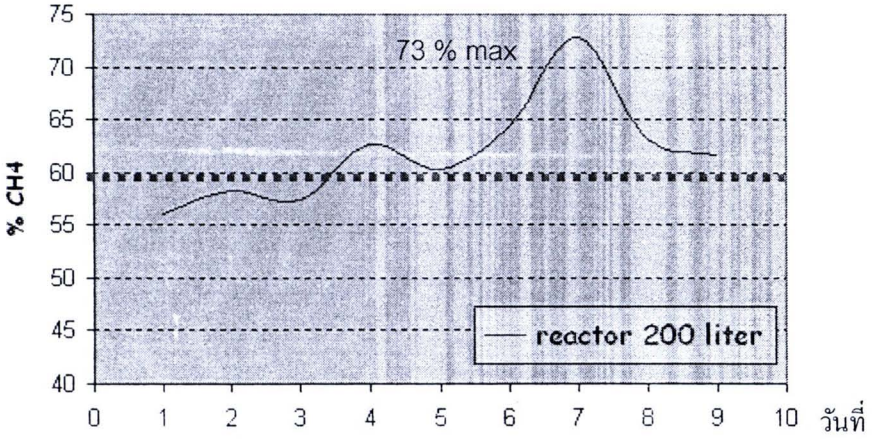
รูปที่ 4.4 ค่า $\%CH_4$ ของถังหมักก๊าซชีวภาพ 40 L

จากกราฟรูปที่ 4.4 เส้นค่า $\%CH_4$ มีช่วงลดต่ำลง เป็นเพราะมีการนำก๊าซที่หมักมาใช้ทดสอบจุดติดไฟ หาเวลาที่ใช้ก๊าซต่อปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวัน และเป็นช่วงการเติมอาหาร 2-3 วัน ทำให้แบคทีเรียผลิตมีเทนลดต่ำลง แล้วจึงเพิ่มปริมาณมากได้ จากการตรวจวัดจะเกิดการขึ้นลงของเส้นกราฟ $\%CH_4$ อยู่บ้าง ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 40 L เกิดก๊าซแล้วทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่มีการรั่วซึมของถังหมักและถังเก็บก๊าซ ผลการวิเคราะห์ได้นำข้อมูลที่ได้มาสร้างถังหมักขนาด 200 L เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ และสามารถหาปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพที่ใช้งานในการฟักไข่ตลอดช่วงเวลาการฟักไข่จริง

4.3 ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาดถังหมัก 200 L

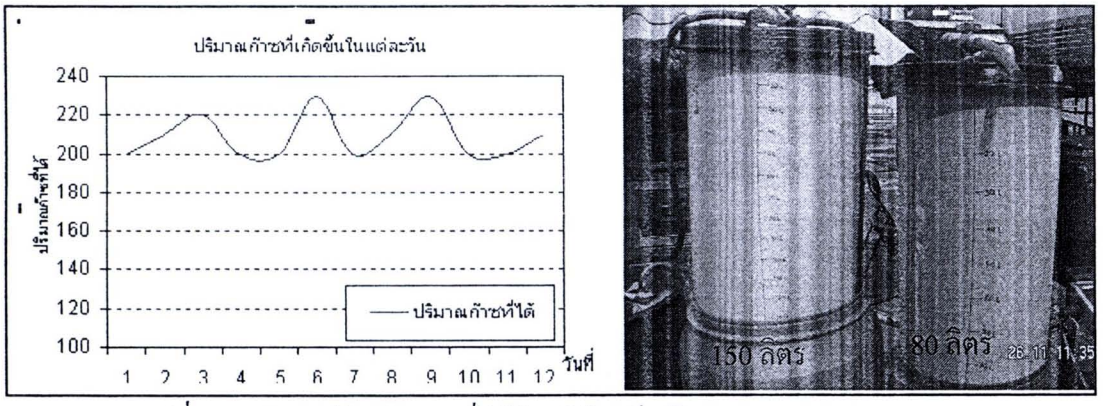
การหมักก๊าซชีวภาพในขนาดถังหมัก 200 L เป็นการนำมูลนกพิราบผสมมูลสุกรโดยขยายสัดส่วนมูลสัตว์ผสมให้เพิ่มขึ้นเป็นมูลนกพิราบ 2 kg มูลสุกร 2 kg เชื้อน้ำหมักที่หมักไว้ก่อนแล้ว 4 L และน้ำ 2 L

โดยการปรับสัดส่วนของวัตถุดิบเพื่อให้การหมักเกิดปริมาณก๊าซที่ได้ต่อวันเพิ่มมากขึ้น เติมมูลสัตว์แบบกึ่งต่อเนื่อง ประมาณ 1-3 วันต่อครั้ง ซึ่งเหมาะสมในการให้ปริมาณก๊าซอย่างต่อเนื่องได้ ผลการตรวจวัด %CH_4 ที่ได้แต่ละวันแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 %CH_4 ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

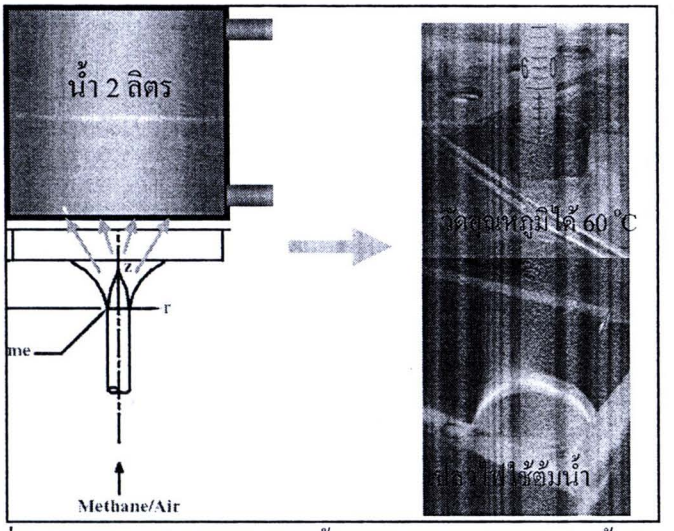
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าช่วงเส้นกราฟที่ได้แต่ละวันมีความแตกต่างกันเนื่องจาก ช่วงการเติมอาหารมูลสัตว์ผสมจะเกิดการลดลงของ %CH_4 และเพิ่ม %CH_4 ได้ เมื่อปริมาณแบคทีเรียสร้างมีเทนขยายตัวเพิ่มขึ้น และต้องทำการตรวจปริมาณก๊าซที่ได้ในแต่ละวันเพื่อตรวจเช็คการลดลงของปริมาณก๊าซที่ได้ด้วยเพราะอาจเกิดการรั่วซึมทำให้ก๊าซที่ได้ลดต่ำลง ช่วงการตรวจวัดมีการดึงก๊าซไปใช้ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่เพื่อหาความเหมาะสมในการเผาก๊าซที่ได้ในรูปแบบต้มน้ำร้อน หรือเผาโดยตรง รูปที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ โดยใช้ถังเก็บก๊าซขนาด 150 L และ 80 L

จากรูปที่ 4.6 เส้นกราฟปริมาณก๊าซที่ได้ในแต่ละวัน หลังจากหมักไปแล้ว 1 สัปดาห์ปริมาณก๊าซที่ได้มีลักษณะขึ้นลงบ้างเนื่องจากช่วงการเติมอาหารแบบ Semi Batch ที่ 2-3 วัน เกิดการขยายตัวของแบคทีเรียมีเทนมากน้อยแตกต่างกันบ้าง รวมทั้งแสงอาทิตย์นั้นช่วยทำให้อุณหภูมิการหมักก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย

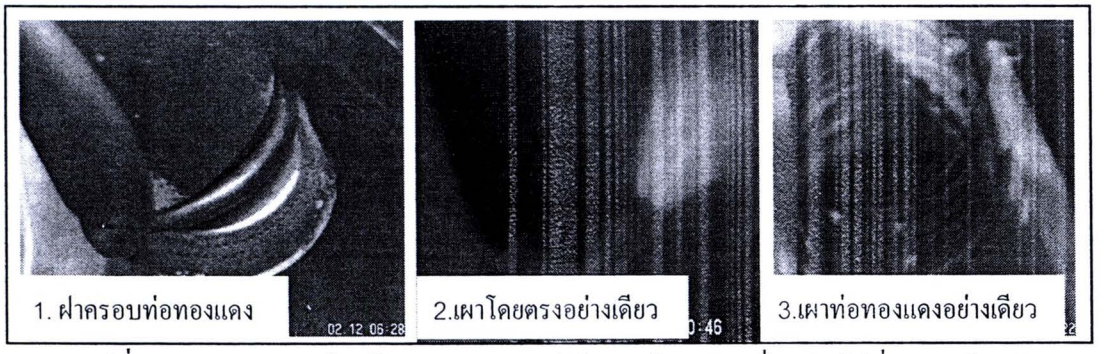
จากนั้นทำการทดสอบการให้ความร้อนของถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่ง การใช้ความร้อนจากก๊าซชีวภาพของถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L มาต้มน้ำในขนาดปริมาณขนาด 2 L ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 28-30 °C โดยวัดอุณหภูมิน้ำในหม้อต้มน้ำที่เปลี่ยนแปลง และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ให้ความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การใช้ก๊าซชีวภาพต้มน้ำให้ความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อน

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 200 L ต่อวัน หรือ เกิดก๊าซชั่วโมงละ 10 L รูปที่ 4.7 ต้องใช้ก๊าซชีวภาพประมาณ 60 L ทำให้น้ำในถังขนาด 2 L อุณหภูมิสูง 60 °C ที่อุณหภูมิแวดล้อม 30 °C ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อนขนาด 60 L ต้องการใช้ก๊าซชีวภาพปริมาณ 1,800 L ซึ่งไม่สามารถเก็บก๊าซชีวภาพได้มากเพียงพอ

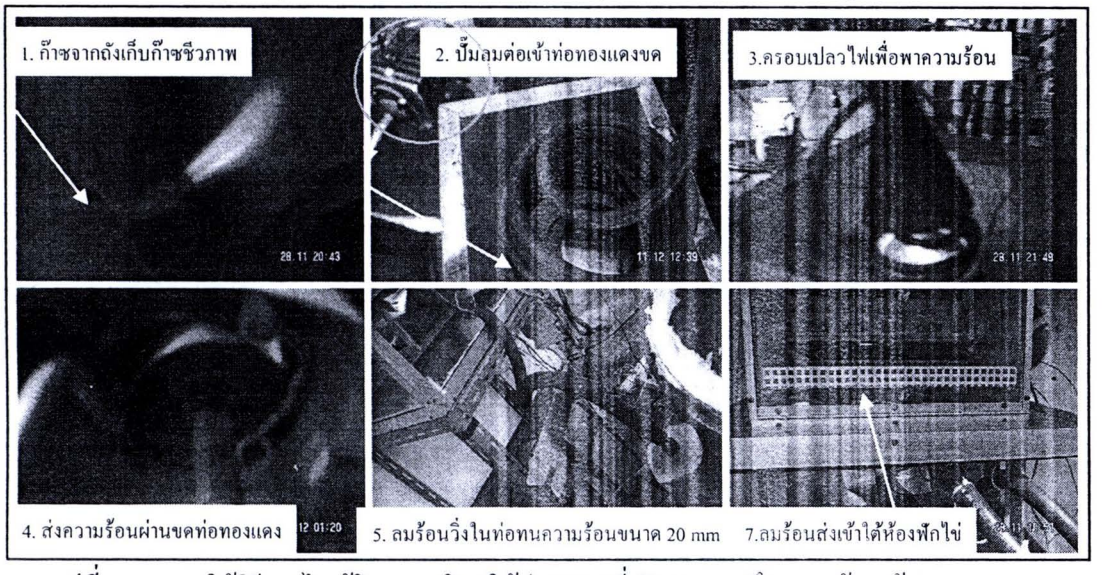
ส่วนวิธีที่สอง เป็นการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังหมักขนาด 200 L มาเผาไหม้โดยตรง เพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องฟักไข่ ใช้หัวเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.1 mm และปั๊มลมร้อนโดยใช้ Air Pump AP-30 โดยอาศัยการพาความร้อนจากหัวเผาส่งไปตามท่อลมด้านในท่อมีท่อทองแดง 3.1 mm ขดรอบหัวเผาให้ลมวิ่งผ่านหัวเผาเป็นลมร้อนเข้าไปในห้องฟักไข่ โดยแสดงรูปการให้หัวเผาดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แบบการเผาไหม้โดยตรงทดสอบให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่อุณหภูมิ 38°C

จากรูปที่ 4.8 แสดงการหาแบบการเผาไหม้ที่สามารถส่งผ่านความร้อนเข้าห้องฟักไข่ ของก๊าซชีวภาพขนาดถังหมัก 200 L ต้องคำนึงถึง อุณหภูมิในห้องฟักไข่ที่ 38 °C และ การใช้ก๊าซชีวภาพให้ได้ประสิทธิภาพมีการสูญเสียน้อยที่สุด และควบคุมก๊าซที่เข้าห้องฟักไข่ได้พอเหมาะ จากรูปที่ 1 ส่งผ่าน

ความร้อนให้ขดท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์ขนาด 2.1 mm และเพิ่มลมร้อนที่เผาไหม้วิ่งผ่านท่อนำความร้อนเข้าห้องฟักไข่ด้วย โดยการพาความร้อนด้วยปั๊มลม ซึ่งปรับปรุงมาจากรูปแบบที่ 2 เผาไหม้โดยตรงส่งความร้อนเข้าห้องฟักไข่เพียงอย่างเดียว และรูปแบบที่ 3 การเผาไหม้โดยตรงที่ใช้ขดท่อทองแดงให้ความร้อนซึ่งสูญเสียความร้อนจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอุณหภูมิแวดล้อมที่ต่ำกว่าในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นได้พัฒนาวิธีของรูปที่ 4.8.1 แบบที่ 1 ให้ใช้งานกับเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง ซึ่งมีท่อยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm เป็นแบบท่อทนความร้อน ปลายด้านหนึ่งต่อรับความร้อนจากหัวเผาและลมร้อนอัดจาก Air Pump ส่วนปลายด้านบนต่อเข้าด้านใต้ของห้องฟักไข่ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องฟักไข่ได้ด้วยการหยุด Air Pump แสดงดังรูปที่ 4.9

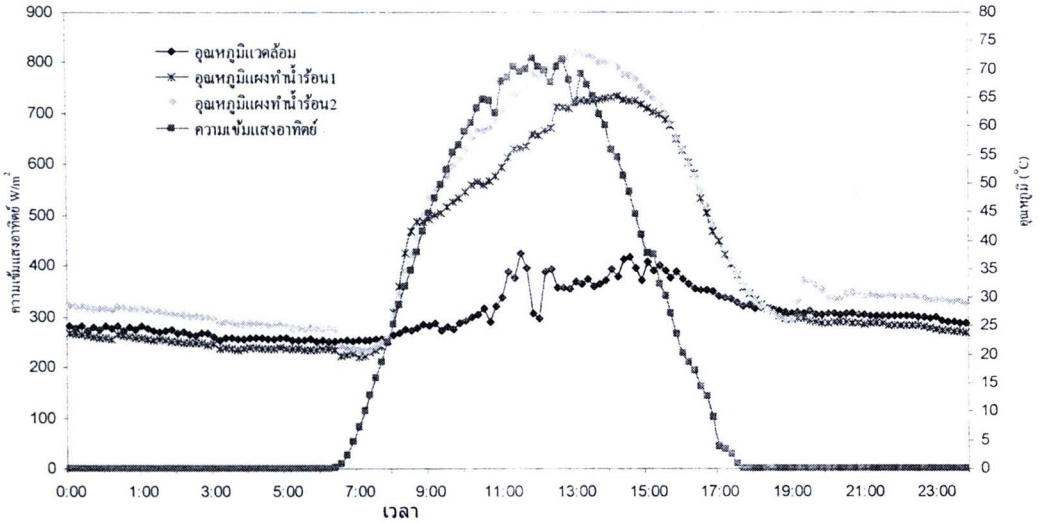


รูปที่ 4.9 การใช้วิธีเผาไหม้โดยตรงโดยใช้ฝาครอบที่หัวเผาและดึงความร้อนด้วย Air Pump

สรุปการส่งผ่านความร้อนของก๊าซชีวภาพขนาดถังหมัก 200 L ใช้วิธีการเผาไหม้โดยตรง เลือกแบบที่ 1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบอื่น และยังสามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้นานกว่าด้วย

4.4 ผลการทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์

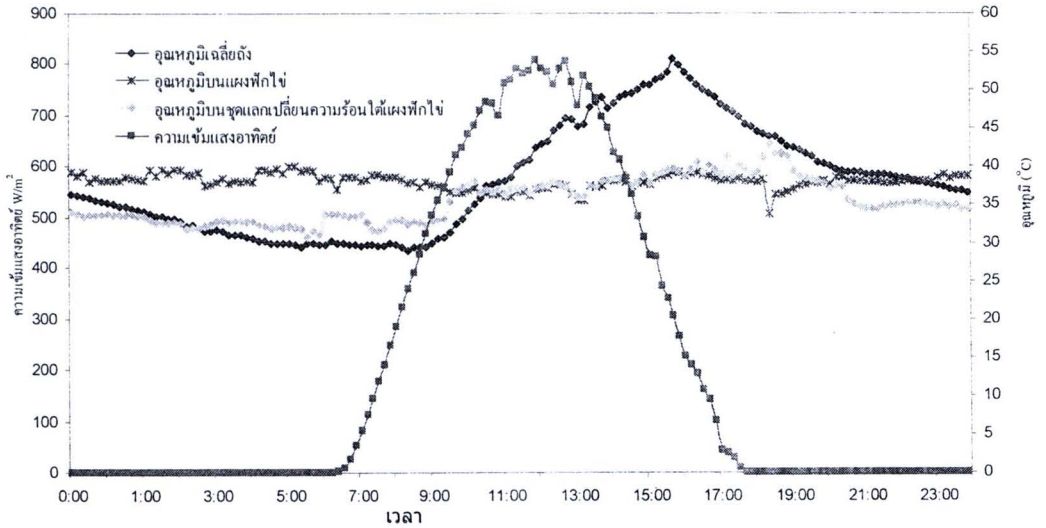
ในการทดสอบแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 2 m^2 กับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 60 L เพื่อนำน้ำร้อนมาใช้งาน โดยทดสอบช่วงเวลารับแสงอาทิตย์ของแผงรับรังสีทำน้ำร้อนส่งเข้าถังเก็บให้อุณหภูมิน้ำร้อนสามารถส่งผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นลมร้อนเพื่อใช้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่อุณหภูมิฟัก 38 °C การวัดอุณหภูมิเป็นช่วงเวลา 9.00-17.00 น. ซึ่งเป็นการทำงานของระบบเครื่องน้ำร้อนสะสมน้ำร้อนเข้าถังเก็บขนาด 60 L สะสมน้ำร้อนจนถึงอุณหภูมิการทำงาน $T_{ถังเก็บน้ำร้อน} > 41$ °C โดยแสดงผลดังรูปกราฟที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวม และอุณหภูมิน้ำร้อนในแผงรับรังสี

จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำร้อนในแผงรับรังสี ที่สัมพันธ์กับค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในแผงทำน้ำร้อนจะสูงเพิ่มขึ้น โดยนำน้ำร้อนที่ได้ไปเก็บในถังสะสมน้ำร้อนขนาด 60 L ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 630-830 W/m^2 สามารถทำน้ำร้อนที่แผงรับรังสีได้อุณหภูมิน้ำร้อน 70 °C ที่ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 30 °C) เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนสะสม $T_{ถังเก็บน้ำร้อน} < 41$ °C ระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 200 L สามารถเดินระบบเครื่องฟักไข่ต่อได้

จากนั้นรูปที่ 4.11 แสดงรูปกราฟผลการเก็บน้ำร้อนในถังเก็บและนำน้ำร้อนไปใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้ลมร้อนส่งผ่านเข้าเครื่องฟักไข่ โดยอุณหภูมิห้องฟักไข่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 38 °C



รูปที่ 4.11 น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนและลมร้อนที่ได้จากชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผ่านความร้อนเข้าเครื่องฟักไข่ ที่อุณหภูมิ 38°C

จากรูปที่ 4.11 กราฟถังเก็บน้ำร้อนจะทำงานที่อุณหภูมิห้องฟักไข่ 38 °C ได้ ต้องสะสมน้ำร้อนในช่วงความเข้มแสงเฉลี่ย 400 W/ m^2 เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 41 °C และบนแผงชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 38.5 °C จะทำให้อุณหภูมิในห้องฟักไข่ อยู่ที่ 37.5 °C ± 6 °C จากนั้นน้ำร้อน

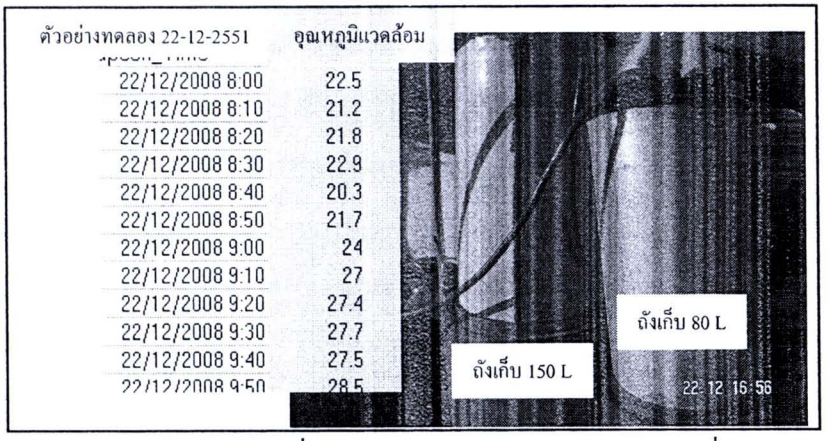
ในถังเก็บน้ำร้อนสะสมอุณหภูมิไว้เพื่อใช้งานในเวลาที่ความเข้มแสงลดต่ำลงตั้งแต่ก่อนช่วงเวลา 9 น. จนกระทั่งเวลา 10.30 น. โดยมีการดึงน้ำร้อนมาใช้กับชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นลมร้อนมีอุณหภูมิลมร้อนใต้แผงเครื่องฟักไข่ 40.5 °C ที่ใต้แผงห้องฟักไข่ที่ 38 °Cในช่วงเวลาเย็นใช้อุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 41 °C ระบบเครื่องทำน้ำร้อนสามารถทำงานได้และถูกเปลี่ยนเป็นระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 200 L ที่เวลา 17 น. หรืออุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนต่ำกว่า 41°C

4.5 ผลการทดลองเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง โดยใช้ Biogas ขนาด 200 L ร่วมกับ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ซึ่งได้ใช้เป็นพลังงานทางเลือก ส่งความร้อนให้แก่เครื่องฟักไข่ในรูปแบบของลมร้อนโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิในห้องฟักไข่ไก่ อยู่ที่ 37.5 °C ± 6 °C และ มีความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 60% (ข้อมูลจากตารางที่ 2.11) มีข้อมูลการทดสอบการทำงานของระบบต่างๆ ดังนี้

4.5.1 วิเคราะห์ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L

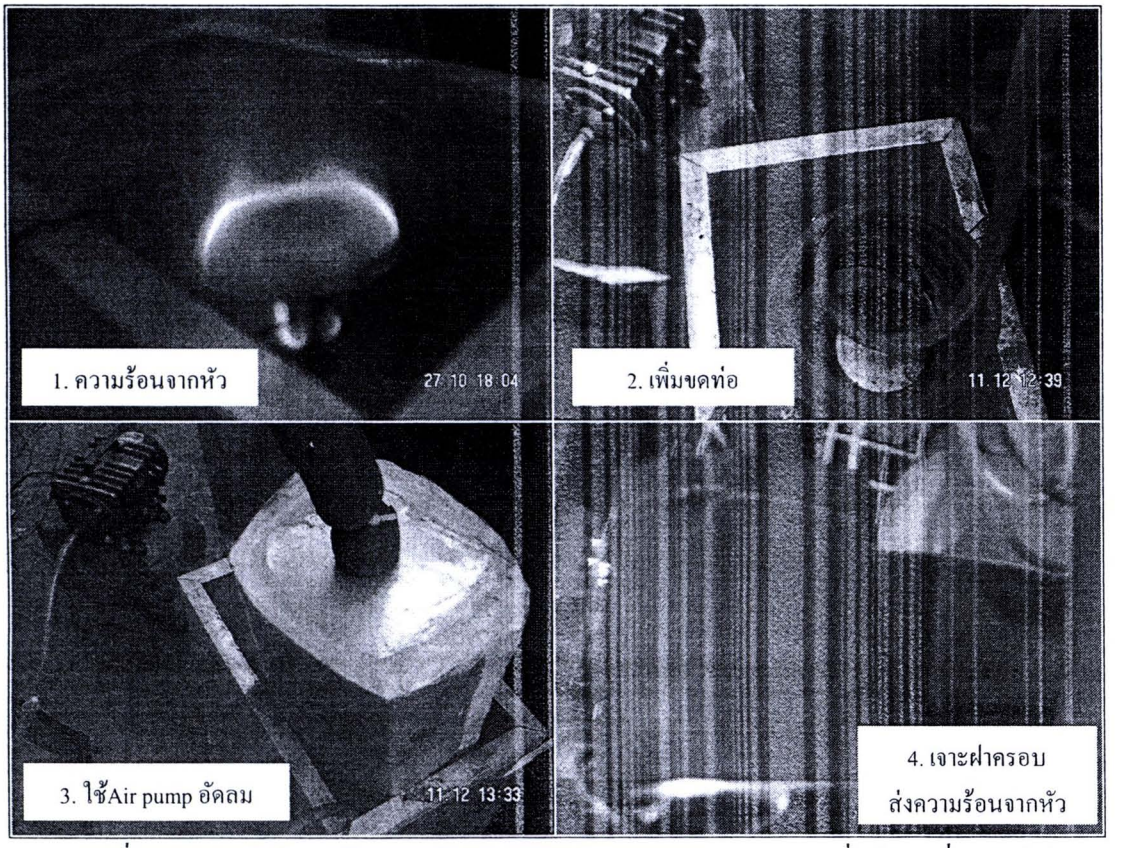
ที่ใช้มูลนกพิราบเป็นวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ โดยเบื้องต้นได้นำมูลนกพิราบมาผสมมูลสุกรในสัดส่วนที่เท่ากันทั้งหมด 4 kg เชื้อน้ำหมักก๊าซชีวภาพ จำนวน 4 L และน้ำ 2 L เติมทุกๆ 2-3 วัน เป็นแบบ Semi Batch ใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ ก่อนทำการทดสอบเพื่อให้แบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนขยายตัวเพิ่มขึ้นพร้อมกับตรวจเช็ครอยรั่วซึมบริเวณถังหมักและถังเก็บก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีถังเก็บก๊าซแบบยกลอยผ่านน้ำได้ ขนาดถังเก็บก๊าซ 150 L กับ 80 L ช่วงที่ระบบการหมักทำงานสมบูรณ์ก๊าซที่ได้ประมาณ 10 L/hr หรือ 200-230 L/day แสดงตัวอย่างรูปประกอบรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ถังหมักก๊าซชีวภาพที่เก็บก๊าซได้ 230 L/day หรือ 10 L/hr ที่ T_{amb} 22-28 °C

เมื่อได้ก๊าซชีวภาพเก็บในถังเก็บก๊าซแล้ว เลือกใช้การเผาก๊าซชีวภาพแบบเผาไหม้โดยตรงผ่านหัวเผาก๊าซที่สร้างขึ้นใช้รูก๊าซเข้าหัวเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์ 2.1 mm ช่วงที่ต่อก๊าซออกจากถังเก็บใช้สายยางขนาด 20 mm ทำการลดขนาดลงมาจนใช้สายยางขนาดเล็ก ก่อนนำก๊าซเข้าหัวเผาต้องต่อด้วยท่อทองแดงเป็นความยาวประมาณ 8-10 cm ป้องกันเปลวไฟย้อนกลับที่ขนาดเดียวกับสายยาง ตำแหน่ง

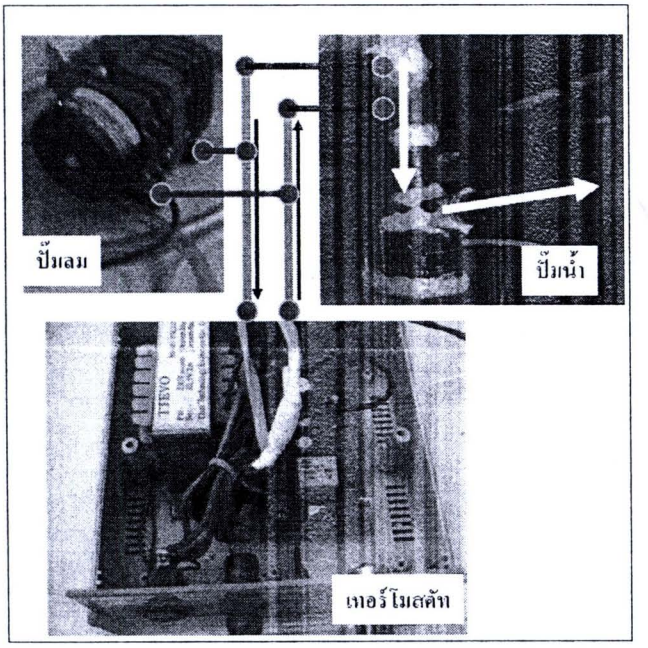
หัวเผาใช้ฝาครอบป้องกันลมภายนอก ซึ่งต่อท่อด้านบนฝาครอบเพื่อให้เปลวไฟส่งความร้อนไปตามท่อเข้าด้านใต้ของห้องฟักไข่ จากนั้นใช้ Air pump ส่งลมเข้าที่ขดลวดทองแดงที่พันขดรอบหัวเผาก่อนที่ปลายอีกด้านไปอยู่ตำแหน่งภายในท่อที่ส่งความร้อนของหัวเผาก๊าซ ซึ่งมีการดึงความร้อนและพาความร้อนเข้าไปตามท่อให้ทันในช่วงการใช้งานเวลากลางคืนที่มีอุณหภูมิแวดล้อมลดต่ำลง แสดงรูปประกอบดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การใช้ความร้อนจากก๊าซชีวภาพจากถังหมักขนาด 200 L ที่ใช้กับเครื่องฟักไข่

4.5.2 วิเคราะห์การทดสอบเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง

การทำงานของระบบเครื่องฟักไข่เดิมก่อนทำการปรับปรุงใช้ระบบไฟฟ้าจ่ายไฟให้ฮีตเตอร์ โดยใช้เทอร์โมสตัทตรวจจับสัญญาณความร้อนของอุณหภูมิ ทำงานตัดต่อการจ่ายไฟฟ้าของฮีตเตอร์เป็นการควบคุมอุณหภูมิในห้องฟักไข่โดยอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 38°C ทำการปรับเปลี่ยนการใช้งานของเครื่องฟักไข่เดิมเป็นแยกสัญญาณที่สายเทอร์โมสตัทมาเป็นแบบแยกสายสัญญาณให้เป็น 3 ช่อง แต่ละช่องสัญญาณสามารถปรับเปลี่ยนตัวส่งความร้อนเข้าเครื่องฟักได้ คือ ช่องที่ 1 ให้ความร้อนจากฮีตเตอร์ ช่องที่ 2 ให้ความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และช่องที่ 3 ให้ความร้อนจากระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 200 L โดยแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.14

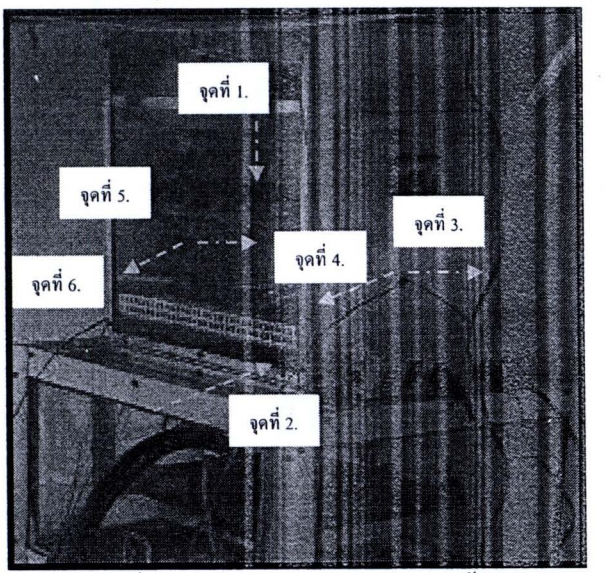


รูปที่ 4.14 เทอร์โมสตัทควบคุมอุณหภูมิการฟักไข่ไก่ 37.5 °C ± 0.6 °C

จากรูปที่ 4.14 ช่วงเวลากลางวันอุปกรณ์ปั๊มน้ำของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะส่งน้ำร้อนผ่านท่อยางทนความร้อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วใช้พัดลมเป่าลมร้อนเข้าเครื่องฟักไข่ โดยที่อุณหภูมิในห้องฟักไข่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณของเทอร์โมสตัท ช่วงเวลากลางคืนอุปกรณ์ปั๊มลมของระบบถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L จะส่งลมร้อนเข้าไปตามท่อยางทนอัดลมร้อนเข้าใต้แผงเครื่องฟักไข่ โดยใช้สัญญาณจากเทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุมตัดต่อการอัดลมร้อน

4.5.3 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องฟักไข่

โดยจากการทดลองติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล ที่ตำแหน่งต่างๆ

จากรูปที่ 4.15 การทดสอบอุณหภูมิภายในห้องฟักไข่ สมมติให้ อุณหภูมิแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงได้ และอุณหภูมิห้องฟักไข่ควบคุมไว้ที่ 37.5 °C ± 6 °C แสดงดังตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิในห้องฟักไข่ในช่วงเวลาต่างๆ $T_{ก่อนเข้าแผงฟัก}$, °C

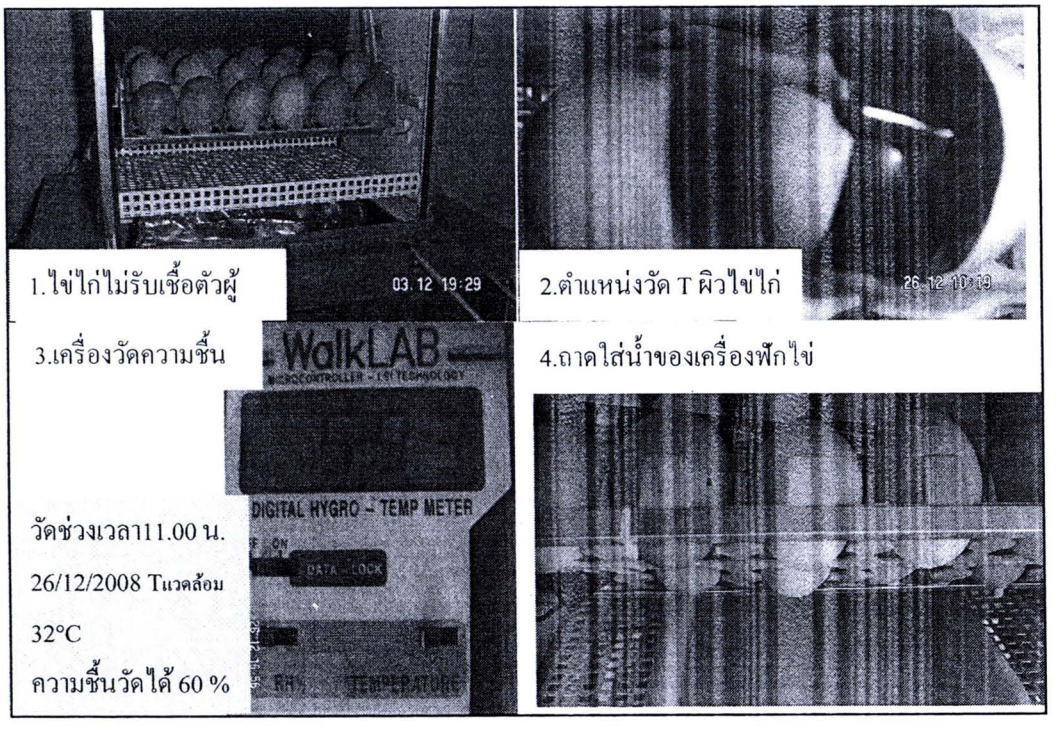
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ (26/12/2008) โดยใช้ระบบเครื่องทำน้ำร้อนและถังหมักก๊าซชีวภาพ ให้ความร้อนแก่เครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิการฟักไข่ 38 °C

ช่วงเวลา	ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิ ที่ควบคุมห้องฟักไข่ 38 °C						อุณหภูมิแวดล้อม, °C
	$T_{บนแผงฟัก}$, °C	$T_{ก่อนเข้าแผงฟัก}$, °C	$T_{ด้านขวาใน}$, °C	$T_{ด้านขวานอก}$, °C	$T_{ด้านซ้ายใน}$, °C	$T_{ด้านซ้ายนอก}$, °C	
8.00 น.	38	33.9	36.1	36.8	36.6	37.1	24.3
12.00 น.	36.1	39.5	36.3	36.5	36.2	36.7	29.1
14.00 น.	39	45.1	38.7	38.7	38	38	31.6
16.00 น.	39.2	46.5	39	39	39.1	39.5	27.8
20.00 น.	39.8	44.1	39	38.2	39.3	39	27.1
24.00 น.	38.6	44.6	38.9	38.6	37.8	38.3	25.5

จากตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิในห้องฟักไข่มีความแตกต่างตามตำแหน่งจุดวัดต่างๆ ช่วงเวลาที่เปลี่ยน ซึ่งความร้อนที่ให้กับเครื่องไข่กระจายอุณหภูมิในห้องฟักใกล้เคียงอุณหภูมิฟักไข่ไก่ 38 °C

4.5.4 การวัดความชื้นสัมพัทธ์และทดลองกับไข่ทดสอบก่อนทำการฟักจริง

โดยติดตั้งจุดวัดของสายเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งเปลือกไข่และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องฟักไข่ ซึ่งแสดงรายระเอียดดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Walk Lab วัดภายในห้องฟักไข่ และอุณหภูมิไข่ไก่

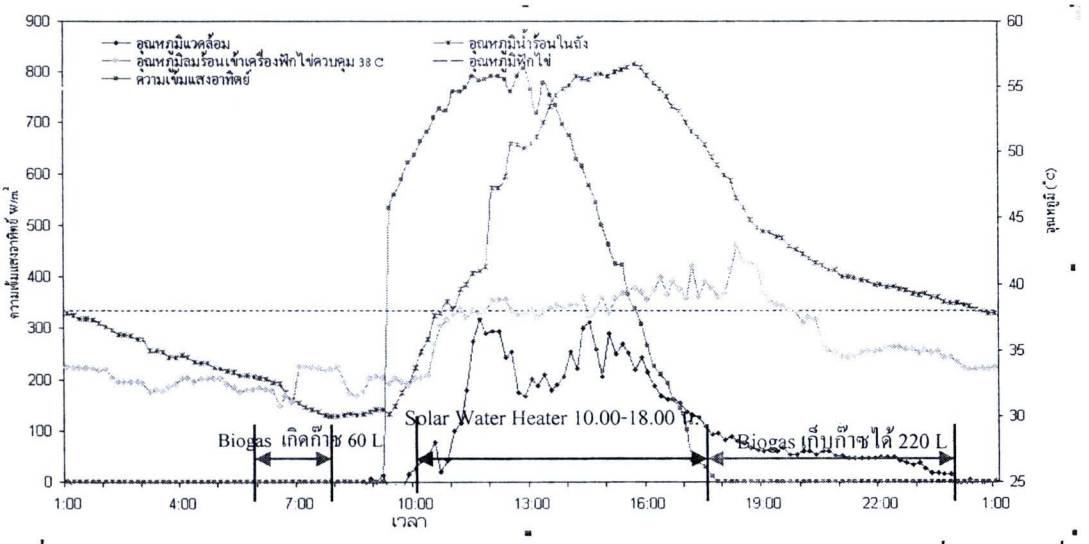
4.5.4 วิเคราะห์การทดสอบการใช้ไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องฟักไข่

ระบบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ไฟฟ้าในส่วนของปั๊มน้ำ และพัดลม ส่วนระบบของถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ใช้ไฟฟ้าในส่วนปั๊มลม สามารถเปรียบการใช้ไฟฟ้าในส่วนฮีตเตอร์ของเครื่องฟักไข่ที่ใช้ได้ โดยใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต่อผ่านก่อนเข้าระบบเครื่องทำน้ำร้อนหรือระบบถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L โดยใช้มิเตอร์วัดไฟฟ้าได้ จากการทดสอบการใช้ไฟฟ้าของ Heater ที่ติดตั้งมากับเครื่องฟักไข่วัดไฟฟ้าได้ ประมาณ 1,000 watt/day หรือเท่ากับ 1 unit/day คิดเป็นค่าไฟฟ้า 5 Bath/day

4.5.5 วิเคราะห์การทดสอบเครื่องฟักไข่โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

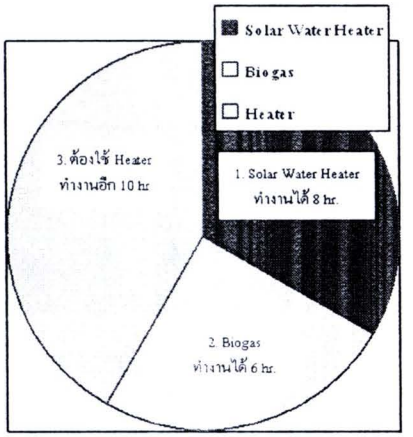
แสดงตัวอย่างช่วงเวลาการทำงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันที่ถังเก็บน้ำร้อนสามารถสะสมอุณหภูมิน้ำร้อนได้สูง และช่วงเวลาการทำงานของถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 Lในเวลากลางคืนที่ใช้ก๊าซในถังเก็บก๊าซขนาด 150 L กับ 80 L มาทดสอบให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง ซึ่งใช้เงื่อนไขต่างๆ ตามหัวข้อ 4.5.1 ถึง 4.5.4 แสดงตัวอย่างรายละเอียดดังนี้

ตัวอย่างที่ 1. การทำงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ ทดสอบการทำงานวันที่ 1 ธันวาคม 2551



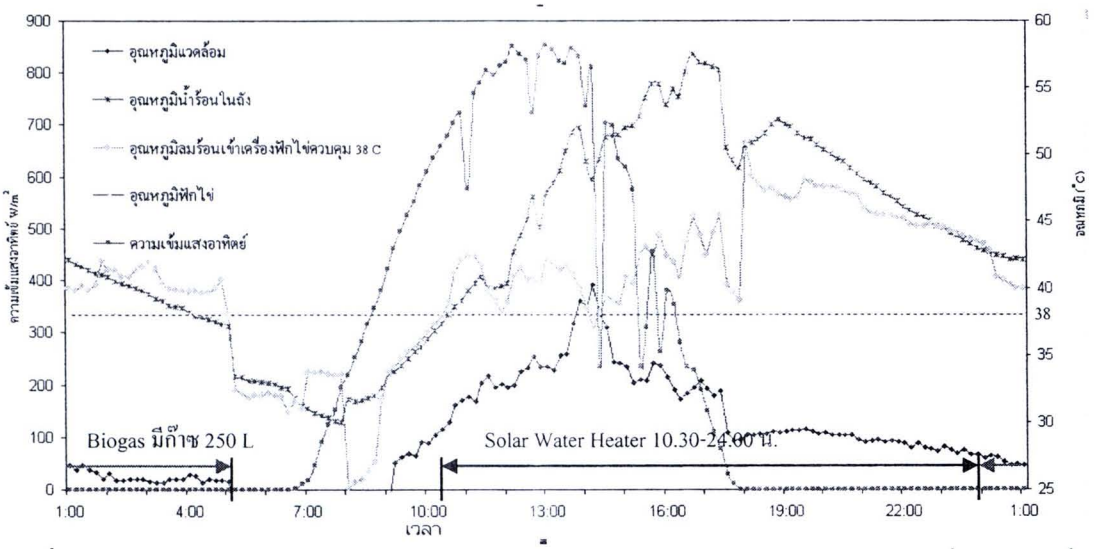
รูปที่ 4.17 การทำงานของระบบ Solar Water Heater และ Biogas ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิ 38°C วันที่ 1 ธันวาคม 2551

จากรูปที่ 4.17 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสะสมน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่อุณหภูมิทำงาน 41°C ตั้งแต่ 10.00-18.00 น. จากนั้นระบบถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ที่เก็บก๊าซไว้จำนวน 220 L ทำงานตั้งแต่ 19.00-22.30 น. และสะสมก๊าซเพิ่มขึ้นทำงานได้อีก 60 L ตั้งแต่ 6.30-8.00 น. แสดงสัดส่วนการทำงานแต่ละระบบดังรูปที่ 4.18



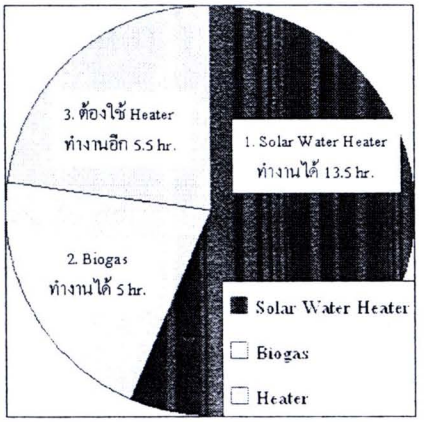
รูปที่ 4.18 สัดส่วนการใช้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ ในช่วงเวลา 1 วัน

ตัวอย่างที่ 2. จากการทดสอบวันที่ 1 ธันวาคม 2551 ได้ทำการปรับปรุงหุ้มท่อน้ำร้อนที่เข้าและออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนแก่ภายนอก แล้วทำการทดสอบระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ทำการทดสอบ วันที่ 22 ธันวาคม 2551



รูปที่ 4.19 การทำงานของระบบ Solar Water Heater และ Biogas ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิ 38°C วันที่ 22 ธันวาคม 2551

จากรูปที่ 4.19 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสะสมน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนที่อุณหภูมิทำงาน 41°C ตั้งแต่ 10.30-24.00 น. จากนั้นระบบถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ที่เก็บก๊าซไว้จำนวน 220 L ทำงานตั้งแต่ 0.01-5.00 น. แสดงสัดส่วนการทำงานแต่ละระบบดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 สัดส่วนการใช้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ ในช่วงเวลา 1 วัน

4.6 วิเคราะห์การทดสอบเครื่องฟักไข่จริง

สรุปสภาวะในการทดสอบการทำงานดึงความร้อนของเครื่องฟักไข่โดยใช้Biogasร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L ถังเก็บก๊าซแบบก๊าซยกลอยผ่านน้ำขนาดรวม 230 L โดยอาศัยการดึงความร้อนเข้าเครื่องฟักไข่แบบเผาไหม้โดยตรง ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่มีการตัดต่อกระแสไฟจ่ายเข้าปั๊มลมขนาดเล็ก ใช้เวลาในการทำงานช่วงเวลากลางคืน 6 ชั่วโมง ส่วนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ส่งน้ำร้อนเข้าแผงชุดแลกเปลี่ยนความร้อนให้เป็นลมร้อน กรณีหุ้มฉนวนที่ท่อน้ำร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำงานในช่วงเวลากลางวันได้นาน 13.5 ชั่วโมง