ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246491

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

(ไทย) การพัฒนาเครื่องฟักไข่ โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพ ร่วมกับ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

(อังกฤษ) Development of Egg Incubator by using Small Scale Biogas and Solar Water Heater

นายรัตนชัย ไพรินทร์

นายชัยณรงค์ ธรรมกูล

คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปีงบประมาณ

2552

b00254544

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246491

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

(ไทย) การพัฒนาเครื่องฟักไข่ โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพ ร่วมกับ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

(อังกฤษ) Development of Egg Incubator by using Small Scale Biogas and Solar Water Heater

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นายรัตนชัย ไพรินทร์

นายชัยณรงค์ ธรรมกูล

คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปีงบประมาณ
2552

บทคัดย่อ

246491

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพจากมูลนกพิราบมาให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ช่วงเวลากลางคืน ส่วนเวลากลางวันใช้น้ำร้อนจากเครื่องทำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซจากมูลนกพิราบ ที่ขนาดถังหมัก 2 ลิตรเป็นแบบ Batch ในห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ถังแบ่งออกเป็น มูลนกพิราบ มูลโค มูลหมู มูลนก พิราบผสมมูลโค มูลนกพิราบผสมมูลหมู ที่ความเข้มข้นมูลสัตว์ 30 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรถังหมัก อุณหภูมิในการทดลอง 32 °C ควบคุมการหมักระยะเวลาเก็บกักไว้นาน 30 วัน เก็บตัวอย่างโดยการแทนที่น้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ จากนั้นจึงขยายขนาดถังหมักเป็น 40 ลิตรแบบ Semi-Batchโดยป้อนอินทรียวัตถุ 1.2 ลิตรต่อวัน เพื่อใช้หาปริมาณก๊าซที่ได้ต่อวัน เปรียบเทียบกับถังหมักขนาด 200 ลิตร ทำการออกแบบถังหมักขนาด 200 ลิตรแบบ Semi-Batch โดยป้อนอินทรียวัตถุ 8-10 ลิตรต่อวัน สามารถช่วยกำจัดมูลนกพิราบและนำก๊าซที่ได้ไปให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ขนาดถาดฟัก 24 ฟอง ในส่วนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีถังเก็บน้ำร้อนขนาด 60 ลิตร ตัวรับรังสีเป็นแบบแผ่นเรียบ ขนาด 2 m^2

ผลทดสอบการหมักก๊าซชีวภาพจากมูลนกพิราบ ในถังหมักขนาด 2 ลิตร โดยใช้ มูลนกพิราบ มูลโค มูลหมู มูลนกพิราบผสมมูลโค มูลนกพิราบผสมมูลหมู ได้ก๊าซมีเทน 63%, 73%, 63%, 74%, และ 74% ของปริมาตรก๊าซรวม ตามลำดับ การนำมูลนกพิราบมาผสมกับมูลสุกรส่งผลให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น มากกว่าการใช้มูลนกพิราบเพียงอย่างเดียวเนื่องจากมีแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนได้มากกว่ามูลสัตว์ชนิดเดียว โดยปริมาณมีเทน 74% และระยะการเกิดอย่างต่อเนื่องนาน 29 วันและค่า pH ของมูลสัตว์ผสมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.5 การผสมมูลนกพิราบกับมูลสุกรสามารถนำมาใช้ในการหมักในถังหมักขนาด 40 ลิตรได้ปริมาณก๊าซเฉลี่ย 20 ลิตรต่อวัน ซึ่งมี มีเทน 72 % เป็นองค์ประกอบให้ความร้อนได้นาน 20 นาที นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับถังหมักขนาด 200 ลิตร ซึ่งได้ปริมาณก๊าซสูงสุด 230 ลิตรต่อวัน ปริมาณมีเทน 73% ให้ความร้อนโดยแบบที่ 1.วิธีการต้มน้ำกับถังขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้ก๊าซประมาณ 60-80 ลิตร แบบที่ 2. วิธีการเผาไหม้โดยตรง ใช้ก๊าซ 230 ลิตร ทำงานให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ได้ 6 ชั่วโมง

จากการทดลองสรุปได้ว่า เครื่องฟักไข่ที่ใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิทำงานห้องฟักไข่ 38 °C เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์รายชั่วโมงมีค่าไม่น้อยกว่า 400 W/m^2 ใช้เวลาสะสมความร้อน 2 ชั่วโมง ในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิทำงาน 41 °C จะทำงานกับเครื่องฟักไข่ได้นาน 13.5 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนปริมาณก๊าซที่ได้ 230 ลิตรต่อวัน สามารถทำงาน 6 ชั่วโมง เมื่อต้องใช้เครื่องฟักไข่นาน 24 ชั่วโมง ต้องเพิ่มขนาดถังหมัก 400 ลิตร จะทดแทนการใช้ไฟฟ้าในการ

246491

ฟักไข่ได้ตลอด 24 ชั่วโมงที่เวลาการฟักไข่ 21 วัน ซึ่งก๊าซชีวภาพได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการจุดติดไฟที่ 60 % มีเทน

คำสำคัญ : การหมักแบบไร้อากาศ, เครื่องฟักไข่, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ, มูลนกพิราบ

ABSTRACT

246491

The aim of this research was to study use pigeon manure digestion and use of biogas as renewable energy. Manure from dung of pigeon, cow, swine, mixture of pigeon-cow and pigeon-swine at 30% concentration (w/v) were used as organic matter fermentation to produce biogas. The seven 2 liter reactors, at a semi-continuous flow rate of 0.2 l/d and at an ambient temperature of 32 $^{\circ}$C, to a hydraulic retention time (HRT) of 30 day. Organic matter was degraded to gaseous products, mainly CH_4, which were analyzed by gas chromatography. The methane content produced from dung of pigeon, cow, swine, pigeon mixtures of cow and pigeon-swine were 63%, 73%, 63%, 74% and 74% respectively. Organic matter composed of mixture dung gave higher methane content than single dung. In the second of the investigation, co-digestion of pigeon-swine dung using an anaerobic mixed Bio-film reactor (AMBR) at 40 liter reactor. The steady state biogas production for the mixture was in the range 1.2 l/d, with a methane content of 72% yield of 60 days of operation. The methane yields were around 20 l/d. In the third increaser scale co-digestion of pigeon-swine dung at 200 liter reactor using AMBR was investigated for biogas energy production potential of heat egg incubator and waste treatment. The mixture was in the range 10 l/d, with a methane content of 73% and gas volume yields were 230 l/d of operation.

Results are development of egg incubator by using small scale biogas and solar water heater. The preceding solar water heater system had a hot water storage tank of 41 $^{\circ}$C at egg incubator working system of 13.5 hr/day. The preceding biogas system had heat direct-combustion of 230 l/day at egg incubator working system 6 hr/day. System of egg incubator a long time at 24 hr/day, necessary to increase scale biogas of 400 little/reactor to work at 12 hr/day.

Keywords: Biogas, Co-digestion, Egg incubator, Methane, Organic matter, Pigeon dung

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งมอบเงินทุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัย ตลอดการดำเนินงาน และห้องปฏิบัติการไขมัน (Lipid Lab) คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งเพื่อน พี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ทั้งในส่วนของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ และคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยีทุกคน ทั้งบุคคลผู้คอยให้การช่วยเหลือ และคอยกระตุ้นให้มีแรงผลักดันในการทำงานตลอดมา จนงานวิจัยเล่มนี้เสร็จสิ้นลงได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ซ
รายการรูปประกอบ	ฌ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อย	ฎ

บทที่

1. บทนำ		**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3-4	ขอบเขตของงานวิจัย และแนวทางการวิจัย	1
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**3**
2.1	ก๊าซชีวภาพ	3
2.1.1	ก๊าซมีเทนของก๊าซชีวภาพ	3
2.1.2	การเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพ	3
2.2	กระบวนการทางชีวเคมีของการผลิตก๊าซชีวภาพ	4
2.2.1	ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	5
2.2.2	เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับมูลสัตว์ที่ใช้ในประเทศไทย	6
2.2.3	การออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ	8
2.3	ตู้ฟักไข่ในปัจจุบัน	9
2.3.1	ตู้ฟักไข่แบบถาดชั้นเดียว	9
2.3.2	ตู้ฟักไข่ขนาดใหญ่	9
2.3.3	ตู้ฟักไข่แบบห้องฟักไข่	9
2.4	การพัฒนาเครื่องฟักไข่	10

2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.5.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพ	10
2.5.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องฟักไข่	14
2.5.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	14
3. การดำเนินงานวิจัย		**15**
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	16
3.1.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยของถังหมักก๊าซชีวภาพ	16
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	18
3.2	การประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์	20
3.2.1	ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L	20
3.2.2	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	21
3.3.1	ชุดการทดสอบก๊าซชีวภาพขนาดถังหมักก๊าซชีวภาพ 2 L	22
3.3.2	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)	22
3.3.5	เครื่อง pH meter	23
3.3.6	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heater)	23
3.3.7	Data logger	23
3.3.8	เครื่องวัดปริมาณรังสีอาทิตย์	24
3.4	วิธีการทดลอง	24
3.4.1	การออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพ	24
3.4.2	วิธีการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ	25
3.4.3	การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	26
3.4.4	หลักการทำงานของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	26
3.4.5	วิธีการพัฒนาเครื่องฟักไข่	26
3.4.6	การทดลองเครื่องฟักไข่โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	27
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์		**29**
4.1	ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 2 L	29
4.2	ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 40 L	30
4.3	ผลการทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาดถังหมัก 200 L	31
4.4	ผลการทดลองแผงรับรังสีอาทิตย์	34
4.5	ผลการทดลองเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง โดยใช้ Biogas ขนาด 200 L	36

ร่วมกับ Solar water Heater

4.5.1 วิเคราะห์ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 L 36

4.5.2 วิเคราะห์การทดสอบเครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง 37

4.5.3 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องฟักไข่ 38

4.5.4 การวัดความชื้นสัมพัทธ์ 39

4.6 วิเคราะห์การทดสอบเครื่องฟักไข่จริง 42

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 43

5.1 สรุปผลการวิจัย 43

5.1.1 ผลการทดสอบการผลิต Biogas 43

5.1.2 เครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ 43

5.1.3 การนำ Biogas ไปใช้งานเป็นพลังงานเสริมในเครื่องฟักไข่ 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 44

5.2.1 การปรับปรุงเครื่องฟักไข่ให้ทำงานได้ 24 ชม. 44

5.2.2 การทดสอบรอยรั่วและเผาก๊าซชีวภาพ 44

5.2.3 การสร้างถังหมักก๊าซชีวภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น 44

6. เอกสารอ้างอิง 45

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	จุดติดไฟอัตโนมัติของก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	3
2.2	สรุปการย่อยสลายอินทรียวัตถุของแบคทีเรีย 4 ขั้นตอน	4
2.3	ตารางการเปรียบเทียบระบบหมักก๊าซชีวภาพสำหรับมูลสัตว์	13
2.4	ตารางต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์แบบต่างๆ	16
4.1	ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละวัน และ % CH_4 ที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 32 °C และไม่ควบคุมอุณหภูมิ	29
4.2	อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ (26/12/2008) โดยใช้ระบบเครื่องทำน้ำร้อนและถังหมักก๊าซชีวภาพ ให้ความร้อนแก่เครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิการฟักไข่ 38 °C	39

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเร็วของเปลวไฟ	3
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับความเข้มข้นของมีเทน	4
2.3	รูปแสดงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลทำให้เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นได้	5
2.4	บ่อหมักช้าแบบถังลอย (Floating drum digester) เป็นบ่อหมักแบบช้าเหมาะสำหรับใช้มูลสัตว์ต่างๆ เป็นอินทรียวัตถุในการหมัก	6
2.5	บ่อหมักแบบ UASB (Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นบ่อหมักแบบเร็ว	7
2.6	ถังหมักแบบตัวกลางกรองที่ด้านในบรรจุวัสดุตัวกลางให้แบคทีเรียยึดเกาะได้	8
2.7	บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบลูกผสม (Hybrid digester)	8
2.8	ตู้ฟักไข่ขนาดเล็ก มีถาดสำหรับใส่ไข่ฟักชั้นเดียว	9
2.9	เครื่องฟักไข่ขนาด 720 ฟอง ของ ชาญวิทย์ อุดมศักดิกุล	9
2.10	การฟักไข่โรงฟักไข่ที่มีห้องฟักขนาดใหญ่	10
2.11	เครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง	10
3.1	ขั้นตอนการทดลองการดึงความร้อนของเครื่องฟักไข่โดยใช้หมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	16
3.2	ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 2 ลิตร	17
3.3	การทดลองปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ	17
3.4	ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพ ขนาด 40 L	17
3.5	การใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาง่ายมาเพิ่มปริมาณก๊าซ ในถังหมักขนาด 40 ลิตร	18
3.6	ส่วนประกอบของถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร	18
3.7	ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่มีขนาดพื้นที่รับแสง 2.15 ตารางเมตร	19
3.8	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดึงลมร้อนเข้าเครื่องฟักไข่	19
3.9	ถังเก็บสะสมน้ำร้อนขนาดปริมาตร 60 L พร้อมหุ้มฉนวน	20
3.10	ปั๊มน้ำไหลเวียนดึงน้ำร้อนจากถังสะสมน้ำร้อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	20
3.11	ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 200 ลิตร และถังเก็บก๊าซชีวภาพ	21

3.12	การเปรียบเทียบการให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ แบบ 2 วิธี	**21**
3.13	ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	22
3.14	กระบอกเก็บก๊าซ 300 มล. และหลอดเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	22
3.15	เครื่อง GC	22
3.16	การตรวจสอบค่า pH ของน้ำหมักก๊าซชีวภาพเพื่อหาความเหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ	23
3.17	จุดวัดต่างๆ ของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	23
3.18	Data Logger	24
3.19	เครื่องวัดปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์	24
3.20	ถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด 2 ลิตร การทดลองการเกิดก๊าซจากมูลนกพิราบ	25
3.21	เครื่องฟักไข่ขนาด 24 ฟอง ที่นำมาปรับปรุงเพื่อใช้ในงานวิจัย	27
3.22	การให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	27
3.23	ชุดเทอร์โมสตัทควบคุมอุณหภูมิที่ 37.5 C	28
4.1	การวัดค่า pH ของมูลสัตว์ ถังหมักขนาด 2 ลิตร โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 32 C	30
4.2	การวัดค่า pH ของมูลสัตว์ ถังหมักขนาด 2 ลิตร โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิ	30
4.3	การทดลองการจุดติดไฟ	31
4.4	ค่า % มีเทนของถังหมักก๊าซชีวภาพ 40 ลิตร	31
4.5	มีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน	32
4.6	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ โดยใช้ถังเก็บก๊าซขนาด 150 และ 80 ลิตร	32
4.7	การใช้ก๊าซชีวภาพต้มน้ำให้ความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อน	33
4.8	แบบการเผาไหม้โดยตรงทดสอบให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่อุณหภูมิ 38 C	**33**
4.9	การใช้วิธีการเผาไหม้โดยตรงใช้ฝาครอบที่หัวเผา และดึงความร้อนด้วย Air pump	**34**
4.10	ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวม และอุณหภูมิน้ำร้อนในแผงรังสี	35
4.11	น้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อน และลมร้อนที่ได้จากชุดแลกเปลี่ยนความร้อน	35
4.12	ถังหมักก๊าซชีวภาพที่เก็บได้ 230 ลิตร/วัน หรือ 10 ลิตร/ชม. ที่ T amb.=22-28C	36

4.13	การใช้ความร้อนจากก๊าซชีวภาพจากถังหมักขนาด 200 ลิตร ที่ใช้กับเครื่องฟักไข่	37
4.14	เทอร์โมสตัทควบคุมอุณหภูมิการฟักไข่ 37.5 C	38
4.15	การติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ตำแหน่งต่างๆ	38
4.16	เครื่องวัดความชื้นสัมพันธ์ ยี่ห้อ Walk lab วัดภายในห้องฟักไข่ และอุณหภูมิไข่ไก่	39
4.17	การทำงานของระบบ Solar Water Heater และ Biogas ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิ 38 °C วันที่ 1 ธันวาคม 2551	40
4.18	สัดส่วนการใช้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ ในช่วงเวลา 1 วัน	41
4.19	การทำงานของระบบ Solar Water Heater และ Biogas ให้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ที่ควบคุมอุณหภูมิ 38 °C วันที่ 22 ธันวาคม 2551	41
4.20	สัดส่วนการใช้ความร้อนกับเครื่องฟักไข่ ในช่วงเวลา 1 วัน	42

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	MJ/kg°C
H_L	ค่าความร้อนของแก๊ส LPG	MJ/kg
M_w	มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน	kg
t	เวลาในหน่วยของชั่วโมงที่พิจารณา	-
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	°C
T_{fi}	อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี	°C
T_{fo}	อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี	°C
T_L	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าไปแทนที่ในถังเก็บสะสม	°C
T_{max}	อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน	°C
T_{min}	อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน	°C
T_p	อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์	°C
T_{set}	อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	°C
T_{sf}	อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่เวลาสุดท้าย	°C
T_{si}	อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น	°C
U_L	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวดูดรังสีอาทิตย์	$MJ/m^2hr°C$
V_l	ปริมาณการใช้น้ำร้อน	m^3
V_t	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน	m^3
η_o	ประสิทธิภาพรวมในการต้มน้ำและใช้น้ำร้อน	ทศนิยม
Δt	ผลต่างช่วงระยะเวลา	hr