การผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

Production Downdraft Gasifier Stove biomass burning Using a Venturi and installation of cyclone

วัลลภ หอมระหัด[1] ภัทรพงศ์ ขำคม[2] อารีรัตน์ เมืองแสน[3]

[1]อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อีเมล: vallop118@hotmail.com

[2]อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อีเมล: hattharaphong.kk@bru.ac.th

[3]อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ อีเมล: areeratphysics@gmail.com

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน โดยใช้ห้องเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 23 เซนติเมตร ซึ่งออกแบบให้มีลักษณะแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาจะใช้ชีวมวลอัดจากเศษไม้ยางพารา จากการทดลองพบว่า เกิดแก๊สโปรดิวเซอร์ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟต์ (H_2S) 3 เปอร์เซ็นต์ มีเทน (CH_4) 12.66 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าเป็นศูนย์ ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ 20.53 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน คือ 7.28 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพการใช้งานคือ 7.23 เปอร์เซ็นต์ ผลตอบแทนสุทธิรายปี คือ 4,680 บาท ระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 4 เดือน

คำสำคัญ: เตาชีวมวล เวนจูรี ไซโคลน ประสิทธิภาพการใช้งาน

ABSTRACT

The objectives of this special ware to design and create biomass downdraft gasifier stove use room combustion a venturi and installing a cyclone. The room combustion diameter area is 15 cm. high is 25 cm. Venturi design and in stashing a cyclone diameter area is 10.5 cm. high is 30 cm. Testing efficiency stove use product biomass piece fuel from para rubber wood. Product biomass piece fuel have a gas producers is (H_2S) 3% (CH_4) 12.66% and (CO) 0%. Combustion efficiency is 20.53%. Efficiency biomass downdraft gasifier stove use room combustion a venturi and installing a cyclone is 7.28% and efficiency working is 7.23%. The break-even point is 4,680 bath. Payback period is 1 year 4 month.

Keywords: Stove Biomass Burning, Venturi, Cyclone, Efficiency

1.บทนำ

ในอดีตมีการใช้พลังงานจากชีวมวลเป็นจำนวนมาก พลังงานชีวมวลจัดเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่สำคัญต่อมนุษย์ไม่ด้อยไปกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่น ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้กันในโลกส่วนใหญ่มากจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเราจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่างๆ มาใช้แทนน้ำมัน โดยเฉพาะในเขตชนบทและพื้นที่ห่างไกลความเจริญ มีการใช้พลังงานความร้อนจากชีวมวลในกระบวนการหุงต้ม เมื่อสองล้านปีที่แล้วเตาไฟถือว่ามีความสำคัญมาก เตาแต่ละชนิดจะถูกออกแบบแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เตาที่ใช้ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการใช้งานต่ำมาก จากนั้นได้มีการนำไม้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่างมากจนเป็นสาเหตุของการตัดไม้ทำลายป่า นอกจากนั้นไม้ส่วนหนึ่งยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่รูปแบบของเตาที่สร้างขึ้นก็มีความยุ่งยากสำหรับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะไม่สามารถควบคุมปริมาณของอากาศเข้าภายในเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ เป็นการใช้เชื้อเพลิงอย่างสิ้นเปลือง และทำให้เกิดมลพิษ (ประยูร สตารัตน์และคณะ, 2545)จากปัญหาในการใช้เตานั้นอีกมากมายและยังทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็นไปอย่างมาก จึงมีผู้ที่สนใจในการการออกแบบ หรือผลิตเตาให้มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะแก่สถานการณ์ ได้ศึกษาเตาชีวมวลที่ใช้หุงต้มในครัวเรือน โดยใช้เศษไม้เศษวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง (ชาติ ไชยสิทธิ์, 2553) และยังมีการพัฒนามาเป็นการปรับปรุงเตาผลิตแก๊สจากชีวมวลและหาสภาวการณ์ทำงานของเตาที่เหมาะสม (พิริยะ ซุ่นขวาน และมานิต บุญมี, 2551) การผลิตเตาในปัจจุบันนี้ยังมีหลายรูปแบบหลายขนาดตามความเหมาะสมที่จะใช้งานได้โดยการออกแบบและ

ทดสอบเตาผลิตก๊าซเพื่อใช้แทนเตาฟืนในกระบวนการอบปุ๋ย ผลจากงานวิจัย แสดงให้เป็นว่าการใช้เตาผลิตก๊าซชีวมวล มีศักยภาพในการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอบปุ๋ย (รัตนะ เลหวนิช, 2550) และสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการผลิตเตาแก๊สชีวมวล เพื่อให้การเผาไหม้เกิดความสมบูรณ์ได้อย่างต่อเนื่อง เพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ชีวมวล ลดปัญหาของเขม่าควัน ฝุ่นละอองที่เกิดจากขี้เถ้า ลดการเกิดทาร์หรือน้ำมันดินสะสม โดยนำวัสดุเหลือใช้ทางกระบวนการเก็บเกี่ยวทางการเกษตรนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยนำมาเผาในเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) เป็นการประหยัดพลังงาน ยังได้แก๊สที่สะอาด ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเวลานาน และเพื่อนำสู่ชุมชน ผู้วิจัยจึงได้มีการผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลนให้ใช้งานได้จริง และมีประสิทธิภาพสูง เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

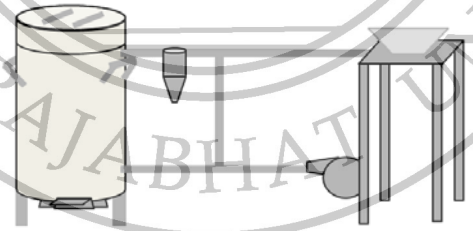
2.1 ออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

2.3 ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบ และการทำงานของเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบการผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

เตาผลิตแก๊สแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) เป็นเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกแบบให้วัตถุดิบและแก๊สเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกันหรือเรียกว่า Gasification วัตถุดิบจะ

ถูกป้อนเข้าสู่ทางด้านบนของเตา ซึ่งจะใช้ความร้อนเชื้อเพลิงแปรรูปเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นแก๊ส ห้องเผาไหม้จะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นเวนจูรีเพื่อลดแรงดันภายในเตาทำให้เกิดการเผาไหม้และการสันดาปที่สมบูรณ์มากขึ้น

3.1.1 เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Downdraft Gasifier

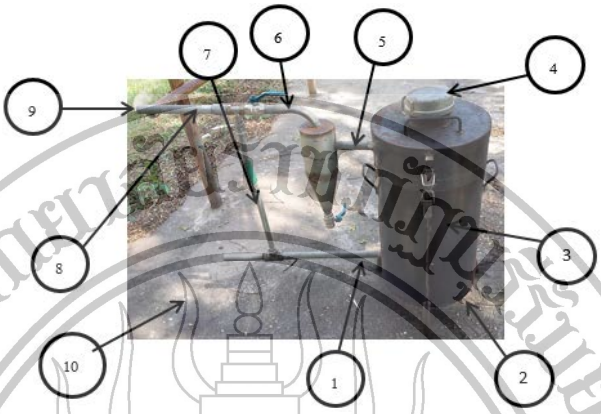
ภาพประกอบ 2 เตาผลิตแก๊สชีวมวล

3.1.2 ไซโคลน

ภาพประกอบ 3 ไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากกระแสแก๊สหมุนวน (Vortex) กระแสที่ไหลเข้าสู่ไซโคลนตามแนวสัมผัสตามแนวแกนโดยผ่าน Vanes ไม่ว่ากรณีใด การทำงานของไซโคลนขึ้นกับความเฉื่อย (Inertia) ของอนุภาคที่จะเคลื่อนในแนวเส้นตรง เมื่อแก๊สเปลี่ยนทิศทางแรงหนีศูนย์กลางจะเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน อนุภาคจะหมุนวนขึ้น-ลงสวนทางกัน ทำให้ฝุ่นหลุดออกไปยังถังพัก

3.1.3 ตำแหน่งในการวัดข้อมูล



ภาพประกอบ 4 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลของเตาแบบ Downdraft Gasifier

1. ช่องทางเข้าอากาศ 2. ช่องระบายขี้เถ้า 3. ห้องเผาไหม้ 4. ฝาเปิดปิด 5. ท่อส่งแก๊ส 6. ท่ออากาศจากไซโคลน 7. ท่ออากาศไปหัวเตาแก๊ส 8. ท่อนำแก๊ส 9. หัวเตาแก๊สแรงดันสูง 10. อุณหภูมิแวดล้อม

3.2 ทดสอบสภาวะที่เหมาะสมกับเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

ภาพประกอบ 5 เตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

ทำการวัดอุณหภูมิ วัดความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บันทึกผลทุก ๆ 2 นาที แก๊สชีวมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล อัตราความสิ้นเปลืองคิดเป็น 1 ก้อนต่อชั่วโมง โดยน้ำหนักการกำจัดขี้เถ้ามีการบันทึกผลเมื่อเผาไหม้ชีวมวลหมด 1 ก้อน ปริมาณเชื้อเพลิงนำใส่ทุก ๆ 30 นาที สุดท้ายทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier

วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน ดังสมการ

$$\eta_C = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{m_a c_{pa} \Delta T}{m_f (H.V)} \quad (1)$$

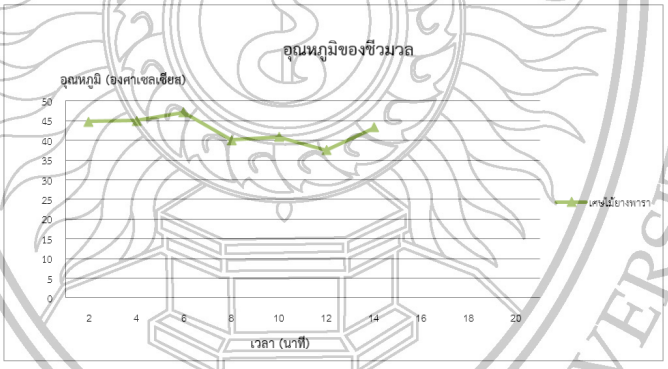
วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (SPB)} = \frac{\text{มูลค่าของเงินลงทุนรายปี}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}} \quad (2)$$

4. ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน นำผลการทดสอบที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเศษไม้ยางพารา การทดลองแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเตาชีวมวล วิเคราะห์การเกิดก๊าซเชื้อเพลิงของเตาชีวมวล และทดสอบการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน

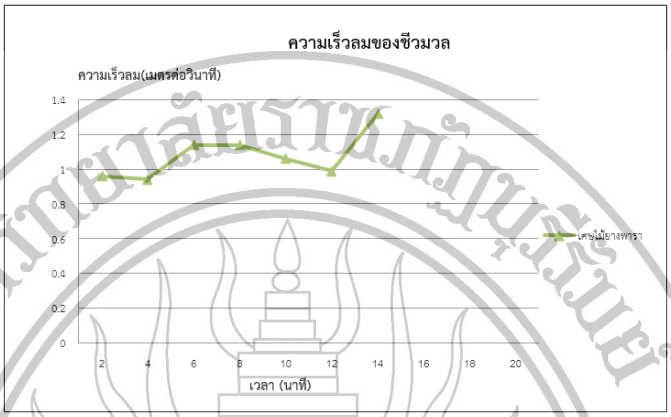
4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่เวลาต่างๆ



ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเชื้อเพลิงชีวมวลกับเวลา

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชีวมวลกับเวลา โดยกำหนดเวลาในการวัดทุก 2 นาที จากการเผาแต่ละครั้งแต่ละตำแหน่ง พบว่าเศษไม้ยางพาราใช้เวลาในการเผาไหม้ 14 นาทีต่อครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของรัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ และวัลลภ หอมระหัด, 2559 ปรากฏว่า ชีวมวลแกลบจะใช้เวลาในการเผาในเตาชีวมวลมากกว่าเหง้ามันสำปะหลัง เศษไม้ยางพารา และอ้อย ตามลำดับ แต่อุณหภูมิชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังจะมีค่าเฉลี่ยที่เวลา 4 นาที 6 นาทีและ 8 นาที จะมีอุณหภูมิสูงกว่าชีวมวลแกลบ เศษไม้ยางพารา และอ้อย

4.2 ความเร็วลมเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่เวลาต่างๆ



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมของชีวมวลกับเวลา

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมของชีวมวลกับเวลา โดยกำหนดเวลาในการวัดทุก 2 นาที จากการเผาแต่ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งพบว่าความเร็วลมนั้นจะแปรผันตรงกันกับเวลาที่ใช้เผาชีวมวล โดยค่าที่แตกต่างกันอาจเกิดขึ้นจากความเร็วลมแวดล้อมของแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ และวัลลภ หอมระหัด, 2559 ว่าความเร็วลมนั้นจะแปรผันตรงกันกับเวลาที่ใช้เผาชีวมวลทั้งสามชนิด คือ แกลบ เหง้ามันสำปะหลัง และชานอ้อย

4.3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งาน

จากการศึกษาทำการทดลองหาประสิทธิภาพการใช้งานของการผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเศษไม้ยางพารา เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเศษไม้ยางพารากับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากแกลบ เหง้ามันสำปะหลัง และชานอ้อย

เชื้อเพลิงชีวมวล	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	ประสิทธิภาพของเตา	ประสิทธิภาพการใช้งาน
แกลบ	32.11	10.09	10.9
เหง้ามันสำปะหลัง	41.13	8.23	8.13
ชานอ้อย	6.54	11.00	10.93
เศษไม้ยางพารา	20.53	7.28	7.23

ที่มา : รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ และวัลลภ หอมระหัด, 2559

4.4 ผลการทดสอบมลพิษจากการเผาไหม้

การทดสอบมลพิษการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเศษไม้ยางพารา เปรียบเทียบกับการเผาไหม้ของเตาชีวมวลที่ใช้ในครัวเรือน โดยสร้างชุดทดลองกรวยครอบดูดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่อง GasALERT MICROCLIP แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซต่าง ๆ

ปริมาณก๊าซที่วัด	แกลบ	เหง้ามันสำปะหลัง	ชานอ้อย	เศษไม้ยางพารา
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	0	2.66	0	3
คาร์บอนมอนอกไซด์	0	0	0	0
ออกซิเจน	15.16	17.6	9.7	18.66
LEL (มีเทน)	12.33	15.33	11	12.66

ที่มา : รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ และวัลลภ หอมระหัด, 2559

5. สรุปผล

จากการออกแบบและสร้างเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรีมีขนาดเส้นศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 23 เซนติเมตรและติดตั้งไซโคลนเพื่อกำจัดน้ำมันดิน (ทาร์) ที่เกิดจากเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งได้ทำการทดลองนำชีวมวลอัดแท่งจากเศษไม้ยางพารา มาเผาในเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier เพื่อหาค่าอุณหภูมิของน้ำ มวลน้ำที่หายไป ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และปริมาณขี้เถ้า แล้วนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้งาน พบค่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้ คือ 20.53 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพของเตาที่เกิดจากการเผาไหม้ของเศษไม้ยางพารา 7.28 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพการใช้งานจากเศษไม้ยางพารา 7.23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้จากเศษไม้ยางพารากับ แกลบ เหง้ามัน และชานอ้อยจากงานวิจัยของรัตนาภรณ์ สมฤทธิ์ และวัลลภ หอมระหัด (2559) พบว่าค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงที่สุดได้จากเหง้ามันสำปะหลัง ส่วนชีวมวลอ้อยจะมีค่าประสิทธิภาพของเตาสูงที่สุด และอ้อยกับแกลบจะมีค่าประสิทธิภาพการใช้งานที่สูงที่สุด ดังนั้น ชีวมวลแต่ละชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเตาผลิตแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier ซึ่งชีวมวลอัดแท่งที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ อ้อย การทดลองการเกิดก๊าซโปรดิวเซอร์ร่วมด้วย ดังนั้นในการเผาไหม้จึงเป็นการเผาไหม้โดยตรงของชีวมวลนั้นๆ และก๊าซโปรดิวเซอร์ (H_2S,CH_4,CO) และเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะใกล้เคียงในทุกชนิดเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่าชีวมวลมันสำปะหลังจะมีค่าความร้อนมากที่สุดและการปล่อยมลพิษของเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลทุกชนิดจะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มี

ค่าเป็นศูนย์ จะไม่มีก๊าซมลพิษเกิดขึ้นให้เห็นว่าเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เงินทุนในการผลิตเตาแก๊สชีวมวล Downdraft Gasifier โดยใช้ห้องเผาแบบเวนจูรี และติดตั้งไซโคลน 6,180 บาท ผลตอบแทนสุทธิรายปีคือ 4,680 บาท ระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 4 เดือน

6. กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จากสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุก ๆ ขั้นตอนของการทำวิจัย ทั้งในการทดลอง ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและผู้ที่ศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

คงศิลปะ คุณวันดี และจีระเดช อุไรวงศ์. (2549). *การนำเถ้าที่เผาไหม้ไม่หมดกลับมาใช้ใหม่ในเตาสำหรับผลิตไอน้ำ*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

จตุรงค์ ประเมนาโพธิ์ และจีรศักดิ์ สอนเพ็ง. (2550). *การออกแบบ สร้างและทดสอบเตาผลิตถ่านไร้ควันจากไม้ยูคาลิปตัส*. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

จักรพรรดิ์ ปะถานะ และธีรฤทธิ์ โสรวงศ์. (2550). *การออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลง*. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

จิรวัฒน์ กิติคุณ. (2548). *การผลิตไอน้ำสำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยใช้เตาเผาแบบตะกรับเลื่อนเป็นแหล่งให้ความร้อน*. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ชัยยัน สังข์สุข และอรรณพ อิสริยะชัยกุล. (2547). *เตาเผาชีวมวลสำหรับหุงต้มแบบอากาศไหลขึ้น (Upflow gasifier)*. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ไชยวัฒน์ จวงทอง. (2553). *การศึกษาออกแบบเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สชีวมวลจากใบอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธานินย์ มุมอภัย และพงศักดิ์ หนูศรี. (2546). *เตาชีวมวลสำหรับหุงต้ม*. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) มหาวิทยาลัยหมาสารคาม.

ธีระภัทร์ อนุชาติ และวัตชะรา โมลาเลิศ. (2545). *การศึกษาห้องผสมทุติยภูมิเตาแบบ Invert Downdraft Gasifier Stove*. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ธนันพร พรมมี และอธิวัฒน์ โสรัตน์. (2546). *การปรับปรุงประสิทธิภาพของเตา*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ณรงค์ฤทธิ์ อุปพงษ์ และพิสาร โครตภักดี. (2546). *เตาแก๊สชีวมวล.* สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ประยูร สตารัตน์ และคณะ. (2545). *การวิจัยศึกษาเตาเผาด้วยขบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น.* มหาวิทยาลัยหมาสารคาม.

พิริยะ ซุ่นขวาน และมานิต บุญมี. (2551). *การปรับปรุงสมรรถนะเตาผลิตแก๊สโปรดิวเซอร์จากชีวมวล.* สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

รัตนะ เลหะวนิช. (2550). *การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลงสำหรับกระบวนการอบปุ๋ย.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรชัย อาจหาญ และคณะ. (2551). *รายงานการวิจัยภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย เรื่อง โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร.* สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

วสัน อันทะสี และอาทิตย์ พิมพ์ศรีจันทร์. (2550). *การทดสอบสมรรถนะของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลงโดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง.* มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สุพิน จอดนอก. (2553). *ขบวนการเผาไหม้และสมรรถนะของเตาชีวมวลทรงกระบอก.* มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อภิชัย เทิดเทียนวงศ์. (2528). *เตาเผาไหม้ชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด.* สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุร.

A.Jain. (2006). *Design Parameters for a Rice Husk Throatless Gasifier.* Agricultural Engineering International the CIGR E journal, Mauscript, 8. EE 05 012Food and Agricultural Organization of the united.

F. A. Payne, P. K. Chandra. (1985). *Mass balance for biomass gasifier combustors.* Transactions of the ASAE. 28 (6): 2037-2041

Nation (FAO). (1986). *Wood gas as engine fuel.* Rome, Italy : Forestry paper 72.