บทความวิจัย

ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวมวลจากขี้เลื่อยแบบฉีดไอน้ำและฉีดอากาศ : กรณีศึกษาจังหวัดพัทลุง

Potential of Producer Gas Production from Sawdust by Using Steam Injection and Air Injection : A Case Study of Phatthalung Province

พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร[1*] จอมภพ แววศักดิ์[2] มารีนา มะหนี[2] ภรพนา บัวเพชร์[3]
ปิติ พานิชายุนนท์[3]และ อุดร นามเสน[4]
Pongsak Jittabut[1*], Jompob Waewsak[2], Marina Mani[2], Pornpana Buaphet[3],
Piti Panichayunon[3] and Udon Namsan[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุงและองค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ได้จากการจำลองแบบและจากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผล ซึ่งแก๊สชีวมวลที่ได้จากกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลสามารถนำไปเดินเครื่องยนต์แก๊สได้โดยตรง สามารถนำแก๊สที่ได้ไปเป็นเชื้อเพลิงประกอบอาหาร และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล จากแผนที่ศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุง พบว่าอำเภอเมืองมีศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยสูงสุดประมาณ 97,667 ตัน/ปี รองลงมาได้แก่อำเภอควนขนุน ประมาณ 79,975 ตัน/ปี และอำเภอเขาชัยสนประมาณ 7,169 ตัน/ปี ตามลำดับ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เหมาะสำหรับการติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวมวล เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเชื้อเพลิงขี้เลื่อย ผลการวิเคราะห์โดยประมาณของขี้เลื่อยมีค่าปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ 65.9% โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากับ 15.6% และปริมาณเถ้า 1.5% ที่ค่าความชื้น 17.0% ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของขี้เลื่อยมีคาร์บอน 46.4% ไฮโดรเจน 7.1% ออกซิเจน 44.8% ไนโตรเจน 0.33% ซัลเฟอร์ 0.03% ตามลำดับ สูตรทางเคมีของขี้เลื่อยคือ $CH_{1.83}O_{0.72}$ ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่ง พบว่าในกรณีที่ฉีดอากาศและกรณีที่ฉีดไอน้ำแก๊สชีวมวลมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 9-36%Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 0-21%Vol. มีเทน 1-4%Vol. และไฮโดรเจน 7-32%Vol. ค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 4.6-8.8 MJ/Nm^3 และ ประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สชีวมวลเท่ากับ 69-90% นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาเปรียบเทียบโดยทำการทดลองเดินระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง

---

[1] นิสิตบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110
[3] อาจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110
[4] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 90000
* Corresponding author: โทร. 080-7065152 โทรสาร 074-693975 Email: pongsak_ey@hotmail.com

ในกรณีฉีดอากาศและฉีดไอน้ำในช่วงอุณหภูมิ 100-800°C โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงพบว่าในกรณีที่ฉีดอากาศและกรณีที่ฉีดไอน้ำแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 8-32%Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 9-22%Vol. มีเทน 2-4.6%Vol. และไฮโดรเจน 6-33%Vol. ค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 6.9-12.0 MJ/Nm^3 โดยมีประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สชีวมวลเท่ากับ 64-75% ซึ่งทั้งสองกรณีสูงพอสำหรับการเดินเครื่องยนต์แก๊สเพื่อการผลิตไฟฟ้า

คำสำคัญ : แก๊สซิฟิเคชั่น ค่าความร้อนสูง ขี้เลื่อย แก๊สชีวมวล ศักยภาพทางพลังงาน

Abstract

The main objective of this research is to study the energy potential of the sawdust and producer gas production by using steam and air injections. The energy potential map of sawdust revealed that Muang district was the highest potential sawdust resource approx 97,667 ton/year. The second was Khuankanon district approx 79,975 ton/year. In addition, Muang, Khao Chai Son and Khao Chai Son districts were the high potential sawdust resources approx 7,169 ton/year. Results by proximate analysis showed that the contents of compounds in sawdust are of follows; VM 65.9%, the FC was the same as 15.6% and AC 17.1% and 1.5% at the MC of 17.0% respectively. Results by ultimate analysis indicated that sawdust were composed of C 46.4%, H 7.1%, O 44.8%, N 0.12% and S 0.03% respectively corresponding to the chemical formula of sawdust was $CH_{1.83}O_{0.72}$. The simulation of a fixed bed gasifier was accomplished using the stationary model developed by S. A. Klien and F. L. Alvarado. Results showed that using the air as an agent, CO was 9-35%Vol., CO2 was 0-21%Vol., CH4 was 1-4%Vol., and H2 was 7-31%Vol. The high heating value was in the range of 4.6-8.7 MJ/Nm3 and the gasification efficiency was 69-88%. While using the steam as agent, CO was 10-36%Vol., CO_2 was 0-21%Vol., CH_4 was 1-4%Vol., and H_2 was 9-32%Vol. The high heating value was in the range of 4.8-8.8 MJ/Nm^3 and the gasification efficiency was 72-90%. And The composition and heating value of product gas operated with/without steam injection condition were investigated based on experimentation. The operating temperature varied in the range of 100-800°C. Experimental results showed that the gas composition was composed of CO approx 8-32%Vol., CO_2 approx 9-22%Vol., H_2 approx 6-33%, CH_4 approx 2-5%. The high heating value of product gas with/without steam injection was 6.9-8.6 MJ/Nm^3 and 10.8-12 MJ/Nm^3. The gasification efficiency was 64-75%. Finally, the use of either air or steam as an agent could produce the product gas which composed sufficient combustible gases for internal combustion engine in the power generation.

Keywords: Gasification, High Heating Value, Sawdust, Producer Gas, Energy Potential

คำนำ

จากการที่ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นรวมทั้งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งจากภาครัฐและภาคเอกชน โดยภาครัฐได้ตั้งเป้าหมายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้ได้ 20.3% จากปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในปี พ.ศ. 2565 [1] พลังงานจากชีวมวลเป็น

พลังงานหมุนเวียนอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในประเทศไทย [2] อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากชีวมวลผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นยังมีปัญหาอยู่บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการปริมาณน้ำมันดิน (Tar) [3] และความชื้นในชีวมวลซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการเลือกเทคโนโลยีของกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวล ยกตัวอย่างเช่น ชีวมวลที่มีความชื้นสูงมักจะอาศัยกระบวนการหมักในการเปลี่ยนรูปพลังงาน สำหรับชีวมวลที่มีความชื้นต่ำมักจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น กระบวนการไพโรไลซิสหรือการเผาไหม้ เป็นต้น ชีวมวลซึ่งกำลังเป็นที่ได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงชีวมวลพวกขี้เลื่อย เนื่องจากมีศักยภาพและปริมาณแหล่งเชื้อเพลิงอยู่มากในประเทศไทย [4-7] จังหวัดพัทลุงเป็นอีกจังหวัดหนึ่งที่มีกิจกรรมทางด้านเกษตรกรรมค่อนข้างสูงและมีวิสัยทัศน์ที่จะมุ่งเน้นเป็นเมืองเกษตรกรรม จังหวัดพัทลุงยังเป็นแหล่งผลิตสินค้าเกษตรที่สำคัญแห่งหนึ่งในภาคใต้ [8] พืชที่สำคัญมีทั้งพืชสวน พืชไร่และพืชผัก ผลผลิตนอกจากจะใช้ในการบริโภคภายในจังหวัดแล้วยังส่งไปจำหน่ายยังจังหวัดใกล้เคียงอีกด้วย ทำให้การใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นการใช้เพื่อเกษตรกรรมโดยมีการทำสวนยางพาราเป็นหลัก ดังนั้นจึงทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เศษไม้ยางพาราและขี้เลื่อยเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยและการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นชนิดเบดหยุดนิ่งซึ่งเป็นระบบที่กำจัดน้ำมันดินได้ดี และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกกว่าระบบอื่น รวมทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นจากเชื้อเพลิงขี้เลื่อยโดยใช้ไอน้ำและอากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาในระบบแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหยุดนิ่ง (Stationary Model) [9] และได้ทำการทดสอบเดินระบบโดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงเพื่อศึกษาอัตราส่วนสมมูลย์ (Equivalent Ratio) และเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของระบบ และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล และท้ายสุดจะประเมินประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานและประสิทธิภาพรวมของระบบเพื่อทำนายองค์ประกอบและค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลและประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแก๊สก่อนนำไปเผาไหม้เพื่อนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์แก๊สและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1.1 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุง ได้อาศัยข้อมูลปริมาณขี้เลื่อยเฉลี่ยต่อวัน (kg/day) จากสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุงในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2551 (2001-2008) ซึ่งมีผู้ประกอบการโรงเลื่อยรวมกันทั้งสิ้น 53 รายในปี พ.ศ. 2551 โดยมีรายละเอียดของจำนวนผู้ประกอบการโรงเลื่อยแสดงดังตารางที่ 1

ในการหาผลิตผลของขี้เลื่อยรายปีได้ใช้ข้อมูลปริมาณขี้เลื่อยเฉลี่ยต่อวันแล้วนำมาคำนวณกับจำนวนวันทำการของโรงเลื่อยจะได้ปริมาณผลิตผลของขี้เลื่อยในหน่วยตันต่อปี หลังจากนั้นจึงนำไปคำนวณกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยที่ได้จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D2105 โดยขี้เลื่อยมีค่าความร้อนเท่ากับ 16,149 kJ/kg หลังจากนั้นจึงนำค่าผลิตผลทางพลังงานของขี้เลื่อยในหน่วยล้านจูล (GJ) ที่ได้มาทำการเทียบเท่ากับน้ำมันโดยใช้ตัวแปลง 1 ton oil equivalent (toe)

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ประกอบการโรงเลื่อยในจังหวัดพัทลุง

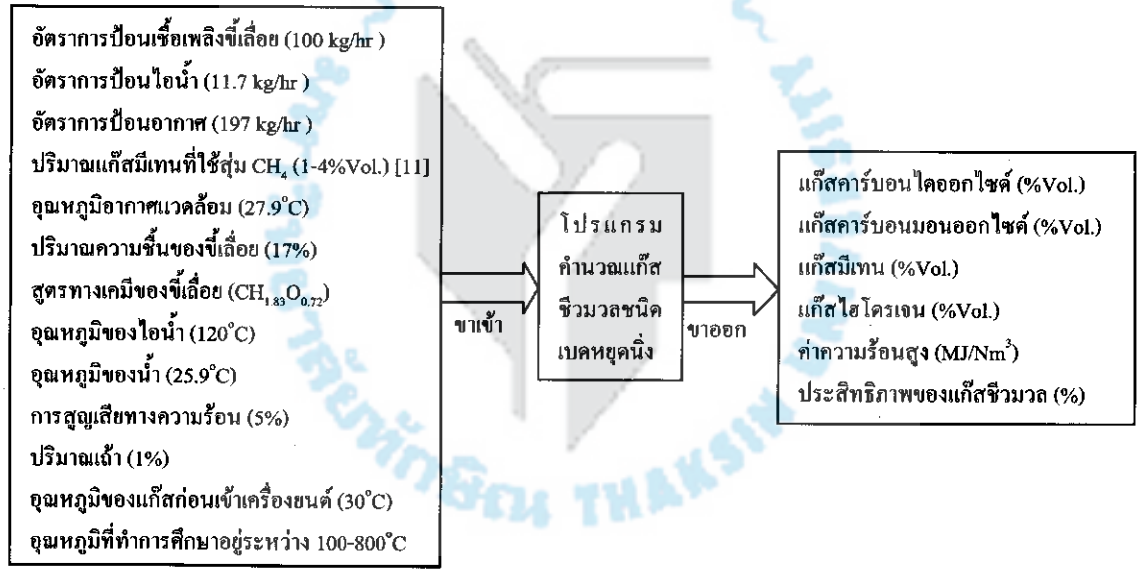
ปี พ.ศ.	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551
โรงเลื่อย	43	45	47	49	50	52	53	53

= 10,800 kcal/kg โดยที่ 1 cal = 4.184 J สำหรับปริมาณเทียบเท่าน้ำมันของขี้เลื่อยแสดงอยู่ในรูปของกิโลตันเทียบเท่าน้ำมัน (ktoe) [10] โดยในส่วนสุดท้ายได้ทำการสร้างแผนที่ปริมาณผลิตผล (Yield) และแผนที่ศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อย โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป Arc GIS 9.2

1.2 คุณลักษณะทางเชื้อเพลิงของขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุง ซึ่งถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส (Gaseous Fuel) โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) จะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าการนำเชื้อเพลิงชีวมวลในรูปของแข็งไปเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ดังนั้นการวิเคราะห์คุณลักษณะ (Characteristics) ของเชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบระบบแก๊สซิฟิเคชั่น การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงแข็งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงแต่เฉพาะมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การวิเคราะห์ โดยประมาณ (Proximate Anaysis) ตามมาตรฐาน ASTMD3172 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ตามาตรฐาน ASTMD3176 และการหาค่าความร้อน (Heating Value) ตามมาตรฐาน ASTM D2105

1.3 การจำลองแบบระบบผลิตแก๊สชีวมวล โดยใช้เงื่อนไขในการทดสอบ 2 เงื่อนไข คือ เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำและไม่เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำ ขาเข้าและขาออกพารามิเตอร์ของการจำลองแบบแสดงดังรูปที่ 1

1.4 การทดลองระบบแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยใช้เงื่อนไขในการทดสอบ 2 เงื่อนไข คือ เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำและไม่เดินเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยทำการจับเวลาสำหรับหาระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มเดินเครื่อง (start up time) จากนั้นทำการทดสอบส่วนประกอบของแก๊สชีวมวล โดยทำการวัดองค์ประกอบและปริมาณขององค์ประกอบของแก๊สแต่ละตัว (ppm) ที่ออกมาจากเตาแก๊สซิไฟเออร์ ไซโคลนสครับเบอร์ชนิดเปียก ตัวกรองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังต่อไปนี้ แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นต่างๆได้แก่ชั้นเผาไหม้ ชั้นรีดักชั่น ชั้นไพโรไลซิส ชั้นการอบแห้ง เพื่อศึกษา



รูปที่ 1 การจำลองแบบโปรแกรม Stationary model พัฒนาโดย S. A. Klien และ F. L. Alvarado

โปรไฟล์ อุณหภูมิในเตาผลิตแก๊สชีวมวล ทำการคำนวณหาอัตราการบริโภคเชื้อเพลิง จากนั้นคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศสำหรับระบบแก๊สซิฟิเคชั่นของขี้เลื่อย และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบแก๊สซิไฟเออร์สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นจากขี้เลื่อย

ผลการวิจัยและอภิปราย

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณพลังงานจากขี้เลื่อยในปี พ.ศ. 2546-2551 มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.244-2.245 TJ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2544-2546 ประมาณ 0.0035 TJ ซึ่งปริมาณพลังงานดังกล่าวมีค่าเทียบเท่าน้ำมันประมาณ 49.66-49.69 ktoe แสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 3-4 และตารางที่ 2 แสดงแผนที่ผลิตผลขี้เลื่อยและศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุง ปี พ.ศ. 2551 จากแผนที่พลังงานแสดงให้เห็นว่าอำเภอเมืองมีศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อยมากที่สุด รองลงมาคือ อำเภอควนขนุน และอำเภอเขาชัยสน ตามลำดับ ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการก่อสร้างหรือติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ชีวมวลโดยอาจจะเป็นระบบแบบแยกศูนย์ (Decentralized) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล

จากผลการวิเคราะห์โดยประมาณของขี้เลื่อยมีค่าปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ 65.9% โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากันที่ 15.6% และปริมาณเถ้า 1.5% ที่ค่าความชื้น 17.0% ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุแสดงให้เห็นว่าขี้เลื่อยมีค่าคาร์บอน 46.4% ไฮโดรเจน 7.1% ออกซิเจน 44.8% ไนโตรเจน 0.33% ซัลเฟอร์ 0.03% ตามลำดับ นอกจากนี้ขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุงมีค่าความร้อนเท่ากับ 16,149 KJ/kg โดยขี้เลื่อยตามผลการวิเคราะห์นี้มีสูตรเคมีคือ $CH_{1.83}O_{0.72}$

ผลจากการจำลองระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง 2 กรณี คือกรณีที่ฉีดอากาศและฉีดไอน้ำ ซึ่งทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 100-800°C โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิง พบว่าแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 9-36%Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 0-21%Vol. มีเทน 1-4%Vol. ไฮโดรเจน 7-32%Vol. และค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ของแก๊สชีวมวลในกรณีที่ฉีดอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 4.6-8.7 MJ/Nm^3 และกรณีที่ฉีดไอน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 4.8-8.8 MJ/Nm^3 โดยมีประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 69-90% แสดงดังตารางที่ 3

ผลจากการทดลองระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง 2 กรณี คือกรณีที่ฉีดอากาศและฉีดไอน้ำซึ่งทำการศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 100-800°C โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิง พบว่าแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 8-32%Vol.

ตารางที่ 2 ปริมาณขี้เลื่อยในแต่ละอำเภอของจังหวัดพัทลุง

อำเภอ	ปริมาณผลผลิต (ตัน/ปี)	จำนวนโรงเลื่อย
เมือง	97,667	19
ควนขนุน	79,975	12
เขาชัยสน	7,169	7
ป่าบอน	5,879	3
ศรีบรรพต	807	1
บางแก้ว	470	8
ตะโหมด	110	2
ศรีนครินทร์	108	1

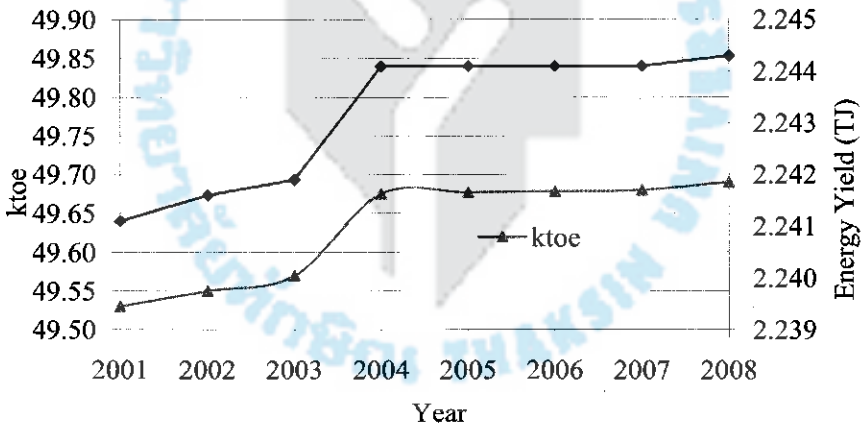
คาร์บอนไดออกไซด์9-22%Vol. มีเทน2-5%Vol. ไฮโดรเจน 6-33%Vol. และค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ของแก๊สชีวมวลในกรณีที่ฉีดอากาศมีค่าอยู่ในช่วง 6.9-8.6 MJ/Nm^3 และกรณีที่ฉีดไอน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 10.8-12.0 MJ/Nm^3 โดยมีประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 64-75% แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและค่าปริมาณความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลจากขี้เลื่อย

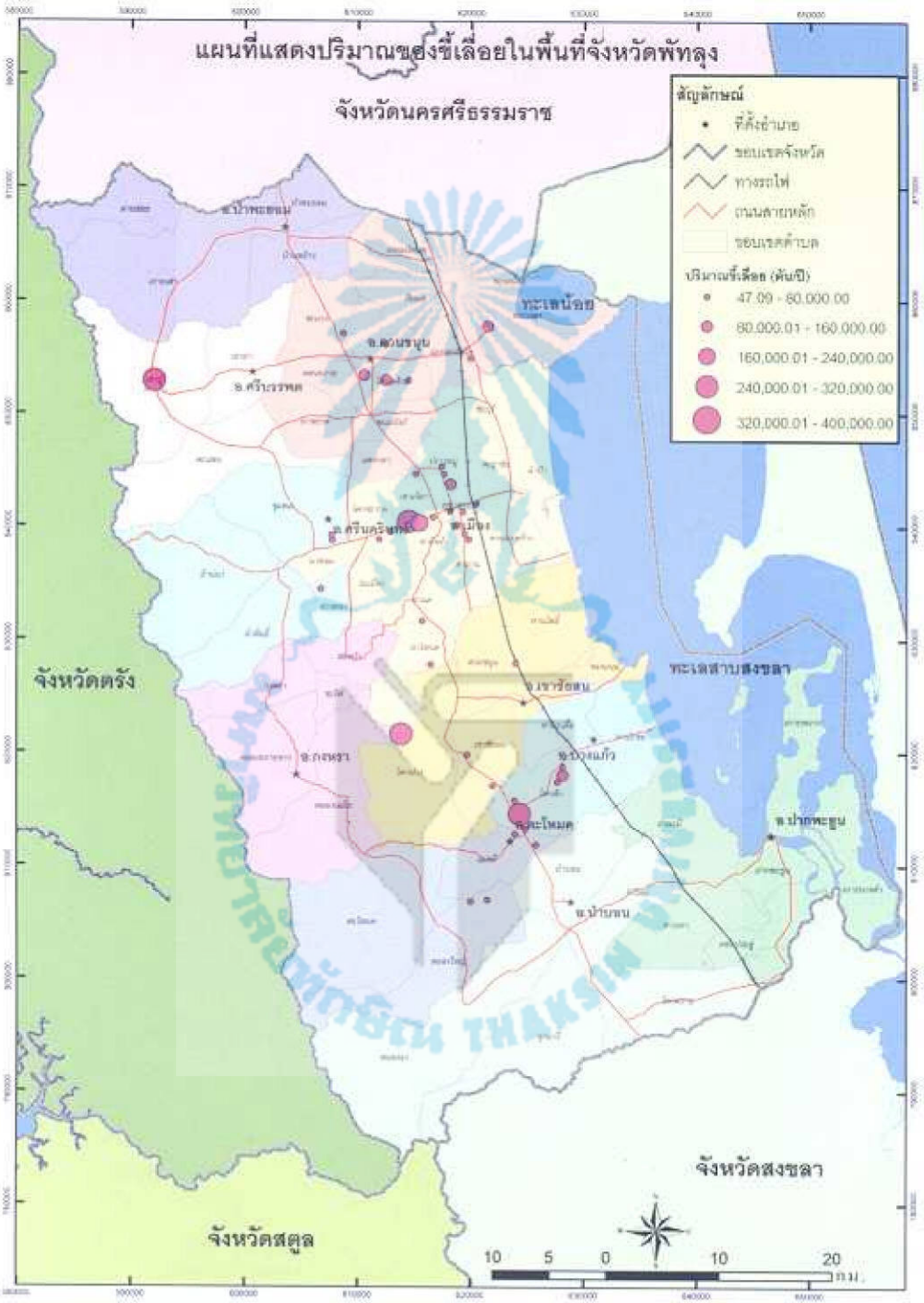
เงื่อนไข	คาร์บอนมอนออกไซด์ (%Vol.)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%Vol.)	ไฮโดรเจน (%Vol.)	มีเทน (%Vol.)	ประสิทธิภาพของแก๊สชีวมวล (%)	ค่าความร้อนสูง (MJ/Nm^3)
ฉีดอากาศ	9-35	0-21	7-31	1-4	69-88	4.6-8.7
ฉีดไอน้ำ	10-36	0-21	9-32	1-4	72-90	4.8-8.8

ตารางที่ 4 องค์ประกอบและค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลจากขี้เลื่อย

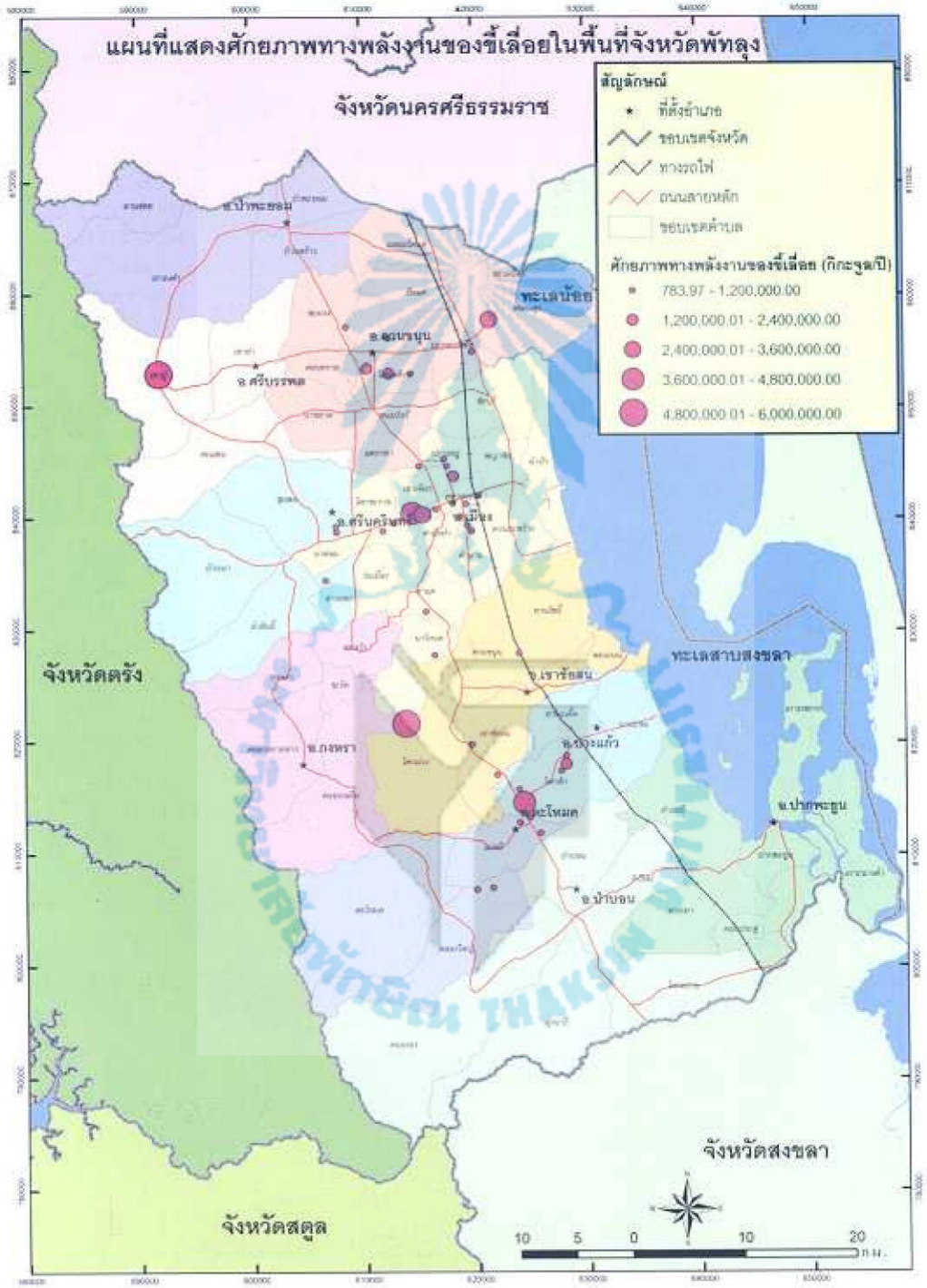
เงื่อนไข	คาร์บอนมอนออกไซด์ (%Vol.)	คาร์บอนไดออกไซด์ (%Vol.)	ไฮโดรเจน (%Vol.)	มีเทน (%Vol.)	ประสิทธิภาพของแก๊สชีวมวล (%)	ค่าความร้อนสูง (MJ/Nm^3)
ฉีดอากาศ	8-12	9-10	6-7	2-3	64	6.9-8.6
ฉีดไอน้ำ	16-32	17-22	21-33	3-4.6	75	10.8-12.0



รูปที่ 2 ปริมาณพลังงานจากขี้เลื่อยและปริมาณเทียบเท่าน้ำมัน



รูปที่ 3 แผนที่ศักยภาพของผลิตผลข้าวเลื่อยในจังหวัดพัทลุง ปี พ.ศ. 2551



รูปที่ 4 แผนที่ศักยภาพทางพลังงานของชีเลื่อยในจังหวัดพัทลุง ปี พ.ศ. 2551

สรุปผลการวิจัย

ศักยภาพของขี้เลื่อยซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ในจังหวัดพัทลุง โดยอาศัยข้อมูลสถิติปริมาณขี้เลื่อยจากอุตสาหกรรมจังหวัดในช่วง 8 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2551 พบว่าพื้นที่ศักยภาพทางพลังงานของเชื้อเพลิงขี้เลื่อยที่อำเภอเมืองมีศักยภาพสูงสุดประมาณ 97,667 ตัน/ปี รองลงมาได้แก่อำเภอควนขนุนประมาณ 79,975 ตัน/ปี อำเภอเขาชัยสนประมาณ 7,169 ตัน/ปี และอำเภอป่าบอนประมาณ 5,879 ตัน/ปี ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณขี้เลื่อยรวมประมาณ 192,185 ตัน/ปี สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงผลิตแก๊สชีวมวลแทนน้ำมันดิบได้ประมาณ50 ktoe ปริมาณพลังงานจากขี้เลื่อยในปี พ.ศ.2546-2551 มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.244-2.245 TJ และมีค่าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2544-2546 ประมาณ 0.0035 TJ ซึ่งปริมาณพลังงานดังกล่าวมีค่าเทียบเท่าน้ำมันประมาณ 49.66-49.69 ktoe ผลการวิเคราะห์ โดยประมาณแสดงให้เห็นว่าขี้เลื่อยมีค่าปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ 65.9% โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเท่ากันที่ 15.6% และปริมาณเถ้า 1.5% ที่ค่าความชื้น 17.0% ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุแสดงให้เห็นว่าขี้เลื่อยมีค่าคาร์บอน 46.4% ไฮโดรเจน 7.1% ออกซิเจน 44.8% ไนโตรเจน 0.33% และซัลเฟอร์ 0.03% ตามลำดับ นอกจากนี้ขี้เลื่อยในจังหวัดพัทลุงมีค่าความร้อนเท่ากับ 16,149 kJ/kg โดยขี้เลื่อยตามผลการวิเคราะห์นี้มีสูตรเคมีคือ $CH_{1.83}O_{0.72}$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดเบดหยุดนิ่งซึ่งพัฒนาโดย S. A. Klien และ F. L. Alvarado 1992-2001 ของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงในกรณีที่ฉีดอากาศและฉีดไอน้ำในช่วงอุณหภูมิ 100-800°C โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิง พบว่าในกรณีที่ฉีดอากาศแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 9-35%Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 0-21%Vol. มีเทน 1-4%Vol. ไฮโดรเจน 7-31%Vol. และปริมาณค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 4.6-8.7 MJ/Nm^3 และประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 69-88% ส่วนในกรณีที่ฉีดไอน้ำแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 10-36%Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 0-21%Vol. มีเทน 1-4%Vol. ไฮโดรเจน 9-32%Vol. และค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 4.8-8.8 MJ/Nm^3 และประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 72-90%

ผลจากการทดลองเดินระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงในกรณีที่ฉีดอากาศและฉีดไอน้ำในช่วงอุณหภูมิ 100-800°C โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิง พบว่าในกรณีที่ฉีดอากาศแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 8-12% Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 9-10% Vol. มีเทน 2-3% Vol. ไฮโดรเจน 6-7%Vol. และค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 6.9-8.60 MJ/Nm^3 และประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 64% ส่วนในกรณีที่ฉีดไอน้ำแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนออกไซด์ 16-32% Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ 17-22% Vol. มีเทน 3-4.6% Vol. ไฮโดรเจน 21-33%Vol. และค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 10.8-12.0 MJ/Nm^3 โดยที่ประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์เท่ากับ 75% ดังนั้นเมื่อพิจารณาองค์ประกอบและค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวล พบว่าระบบลผิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงในกรณีที่ฉีดไอน้ำดีกว่าระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงในกรณีที่ฉีดอากาศ ซึ่งสามารถนำไปเผาไหม้ในเครื่องยนต์แก๊สสำหรับการผลิตไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยทักษิณปี พ.ศ.2549-2550 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปี พ.ศ. 2551 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุงที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล

และสถานีตรวจอากาศเกษตรจังหวัดพัทลุงสำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและขอขอบคุณ คุณฉลอง แก้วประเสริฐ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณสำหรับให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพทางพลังงานของขี้เลื่อย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี.** สืบค้นจาก : http: //www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/mar52/REDP_present.pdf.

[2] Zainal, Z. A., Ali, R., Lean, C. H. and Seetharamu, K. N.(2001). Prediction of Performance of a Downdraft Gasifier using Equilibrium Modeling for Different Biomass Materials. **Energy Conversion and Management.42,** 1499-1511.

[3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2545). การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย. **วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่55.** มกราคม-มีนาคม 2545. กรุงเทพมหานคร.

[4] Prasertsan, S. and Sajjakulnukit. (2006). Biomass and Biogas Energy in Thailand: Potential Opportunity and Barriers. **Renewable Energy. 31,** 599-610.

[5] กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน. (2543).รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2543. **วารสารรายงานพลังงานของประเทศไทย. ฉบับที่** 1, 2-10.

[6] กรมพัฒนาและสงเสริมพลังงาน. (2544). **อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิตแฟคเตอร์ของการใช้เป็นพลังงาน** และแฟคเตอร์วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการนำไปใช้. รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.

[7] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2542). **อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต.** สถิติการเกษตรของประเทศไทย.ปีเพาะปลูก 2543/2544. กรุงเทพฯ.

[8] จตุพร แก้วอ่อน จอมภพ แววศักดิ์ มารีนา มะหนิ และ สุวิทย์ เพชรห้วยลึก. (2548). การเปลี่ยนรูปพลังงานจากชีวมวล: แก๊สซิฟิเคชั่น.**วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ. ปีที่ 2. ฉบับที่ 2,** 56-67.

[9] Klien, S.A. and Alvarado, F.L. (2001). **Engineering Equation Solver Distributable version 6.163**. Available from http://www.fhart.com/ees/eesexmpl/shtml.

[10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (2551). **ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย,** Available from:http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=437.

[11] Wander, P. R., Altafinib, C. R., Ronaldo and Barretob, M. (2004). Assessment of a Small Sawdust Gasification Unit. **Biomass and Bioenergy.27,** 467–476.