

## แก๊สซิฟิเคชันชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยใช้ชีวมวลเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับการนำไปใช้กับชุมชน

### A Fixed bed downdraft Biomass Gasifier for Rural Area

นัฐพล บุญเต็ก<sup>1</sup> และ ธวัชชัย วงศ์ช่าง<sup>1\*</sup>

1 ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก (CTAE) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
\*ติดต่อ: E-mail: TWC@kmutnb.ac.th เบอร์โทรศัพท์: 022 555 2000 โทรสาร: 022 555 2000 ext. 6442

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแก๊สสังเคราะห์เพื่อใช้สำหรับชุมชน จากไม้โตเร็วที่ปลูกได้ภายในประเทศไทย ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลชนิดของไม้และปริมาณอากาศที่มีผลต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ เพื่อนำไปสู่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยการใช้แก๊สซิฟิเคชันรีแอกเตอร์แบบเบดหยุดนิ่งเปลวไฟชนิดไหลลง ออกแบบให้ทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ มีการป้อนเชื้อเพลิงตามอัตราการใช้งาน จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แก๊สซิฟิเคชันสามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์เพื่อใช้สำหรับชุมชนได้เป็นอย่างดี พบว่าในช่วงการจ่ายปริมาณอากาศในช่วงระหว่าง 9 ถึง 21 ลิตรต่อนาที จะมีค่า ER อยู่ในช่วง 0.53 - 0.76 และให้ค่าความร้อนขั้นต่ำ (LHV) อยู่ในช่วง 2,000 - 4,000 kJ/kg<sub>fuel</sub> โดยไม้ที่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงที่สุดคือ ไม้มะขามเทศ ที่ปริมาณการป้อนอากาศ 17 ลิตรต่อนาที

**คำหลัก:** แก๊สซิฟิเคชัน; แก๊สสังเคราะห์; ชีวมวล

#### Abstract

Fixed bed downdraft biomass gasifier for rural area is the research to study manufacture of synthesis gas from quick-growing trees. Which is grown with in Thailand for consumption by rural area with gasifier process. The purpose of the research is to study the effect of each variable as type of trees, air volume which affects to the heat treatment inside reactor, configuration of synthesis gas, to the proper condition for synthesis gas production. The reactor that use for research is fixed bed, downdraft, semi-automatic as well. The research shows the gasifier able to produce well for consumption by rural area. The air volume in the range between 9 to 21 LPM has ER 0.53-0.76 and LHV 2,000-4,000 kJ/kg<sub>fuel</sub>. The properest fuel wood is Manila tamarind wood that has flow rate 17 LPM.

**Keywords:** Gasification; Synthesis gas; Biomass

## 1. บทนำ

จากรายงานสรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-ธันวาคม 2558 พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานมีการเพิ่มจากปีที่ผ่านมาสูงขึ้นร้อยละ 2.7 และพบว่าน้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุด [1] ซึ่งน้ำมันสำเร็จรูปนี้เป็นกลุ่มพลังงานในกลุ่มเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งใช้แล้วหมดไปและมีปริมาณสำรองลดน้อยลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานสำรองจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทน โดยสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนกระทรวงพลังงานปี 2554-2558 พบว่ามีการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนมากที่สุด [2] ซึ่งพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้ในประเทศ ในแต่ละปีมีชีวมวลเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก [3] จึงมีการศึกษานำชีวมวลมาทำการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงาน [4-8] ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [8] โดยกระบวนการนี้จะทำการเปลี่ยนรูปของชีวมวลแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ ซึ่งจะได้เชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์ องค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอื่นๆเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ โดยมีก๊าซพลังงานคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน

N. Tipayawong และ คณะ [4] ได้ทำการศึกษาก๊าซซิฟิเคชันชนิดไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงไม้แบบเผาตรงในโรงงานแปรรูปอาหาร โดยกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์จะช่วยลดควันจากการเผาไหม้ตรงและเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้มากขึ้น แก๊สสังเคราะห์ที่ผลิตได้มีส่วนประกอบไฮโดรเจน 25.04% คาร์บอนมอนอกไซด์ 17.07% มีเทน 3.15% และคาร์บอนไดออกไซด์ 19.72% เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการต้มน้ำร้อนของโรงงานสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ \$150 ต่อเดือน

Lin Wei and Lester O. Pordesimo [5] ศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันชนิดไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงไม้เนื้อแข็งผสมกลีเซอรอลเพื่อเพิ่มคุณภาพของแก๊สสังเคราะห์ พบว่าการผสมกลีเซอรอลจะทำให้อัตราการผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ไม้เนื้อแข็งเพียงอย่างเดียว แต่มีปริมาณน้ำมันดินเพิ่มมากขึ้น และพบว่าที่สัดส่วนกลีเซอรอล 20% โดยน้ำหนัก

ทำให้เกิดสังเคราะห์ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์สันดาปภายในมากที่สุด

M. A. Chawdhury [6] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาแก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็กขนาดกำลัง 6-7 กิโลวัตต์เพื่อใช้สำหรับชุมชนในประเทศบังคลาเทศ ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงไม้สับและไม้อัดเม็ด คุณสมบัติในช่วงรีแอกชันได้ 950-1150 °C ผลการทดสอบพบว่า มีองค์ประกอบของแก๊ส ไนโตรเจน 50-56 % คาร์บอนมอนอกไซด์ 19-22% ไฮโดรเจน 12-19% คาร์บอนไดออกไซด์ 10-12% มีเทน 1-2 % ค่าความร้อนขั้นต่ำ 4,424-5,007 kJ/m<sup>3</sup> โดยมีประสิทธิภาพ (Cold gas efficiency) 62.5-69.4%

A. Kuhe [7] ได้ทำการศึกษาก๊าซซิฟิเคชันชนิดไหลแบบ Throatless โดนเน้นการออกแบบที่ง่ายและประหยัดต้นทุน ทำการศึกษาสภาวะการเกิดแก๊สสังเคราะห์โดยใช้กะลามะพร้าว ที่อัตราการป้อน 2.0 kg/hr พบว่าที่ ER 0.332 แก๊สค่าความร้อนขั้นต่ำที่ 5,960 kJ/m<sup>3</sup> เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งานทั่วไครวเรือน

จิระพงษ์ กวนกระโทกและคณะ [8] ได้ทำการศึกษการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลขนาดเล็กชนิดไหลลงโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก ทำการศึกษาค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์โดยทำการเปรียบเทียบเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ กะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์ และไม้ยูคาลิปตัส ค่าความร้อนที่ได้ตามลำดับคือ 6,480, 5,800, 5,650 kJ/m<sup>3</sup> โดยอุณหภูมิในช่วงเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 876-1,062 °C

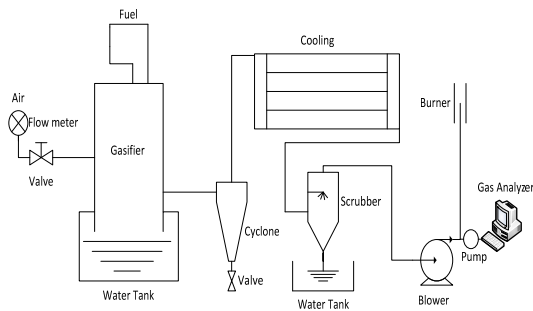
จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จากชีวมวลจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน นั้นมีองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ ไฮโดรเจน มีเทนและคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าความร้อนขั้นต่ำตั้งแต่ 4,000 kJ/m<sup>3</sup> ขึ้นไปสามารถเป็นพลังงานทดแทนได้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นสามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลได้ง่ายและมีชีวมวลเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้จะนำชีวมวลโตเร็วที่ปลูกในประเทศไทยมาศึกษาการเกิดแก๊สสังเคราะห์และองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ จากชีวมวลต่างชนิดกัน โดยเตาแก๊สซิฟิเคชันนี้ออกแบบให้มีการใช้งานโดยง่ายเพื่อใช้สำหรับชุมชนและสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบและ

พัฒนาเตาแก๊สซิฟิเออร์ให้มีความเหมาะสมกับชนิดเชื้อเพลิงต่อไปในอนาคตได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 1. ระบบป้อนอากาศและมาตรการวัดการไหลอากาศควบคุมการไหลของอากาศโดยวาล์ว 2. Down Draft Gasfier (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 31.5 เซนติเมตร ขนาดคอคอด 6 เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลงด้วยแรงโน้มถ่วงมีการเติมเชื้อเพลิง1ครั้งต่อการทดลอง) 3. ชุดบำบัดแก๊สสังเคราะห์ (ประกอบด้วย Cyclone, Cooling Scrubber, Blower และ Burner)

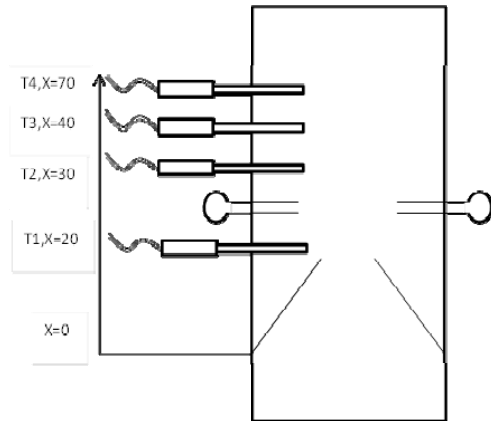


รูปที่ 1 ระบบเตาแก๊สซิฟิเออร์

การทำงานของระบบแก๊สซิฟิเออร์ ในงานวิจัยนี้แสดงดัง รูปที่ 1 ประกอบด้วยอากาศไหลผ่าน Flow meter และมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลก่อนเข้า Gasfier ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 31.5 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร มีคอคอดขนาด 6 เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวมวลไหลโดยแรงโน้มถ่วง ควบคุมการไหลของอากาศโดยวาล์ว ในชุด Gasfier จะเกิดกระบวนการ 4 ขั้นตอนเรียงลำดับจากบนลงล่างคือ อบแห้ง ไพโรไลซิส ออกซิเดชัน และรีดักชัน แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จาก Gasifier จะส่งไปยังชุดบำบัดแก๊สซึ่งประกอบด้วย Cyclone, Cooling, Scrubber, Blower และ Burner ตามลำดับ ตัวอย่างของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จะจัดเก็บก่อนเผาที่ Burner

การเตรียมชีวมวลโดยการย่อยชีวมวล 2 ชนิดให้มีขนาดมิติไม่เกิน 5 เซนติเมตรและนำไปตากแห้ง โดยชีวมวลมีความชื้นเหลือไม่มากกว่า 9.29% และไม่ยุคาลิปตัส 10.14%

การทดลองเริ่มโดยการเติมชีวมวลลงในเตาให้เต็มและปิดทำการเปิดโบลเวอร์ จุดไฟจากช่องจุดไฟให้มีควันออกทาง Burner ปรับการไหลเข้าของอากาศ รอประมาณ 10 นาที ก็จะได้แก๊สสังเคราะห์ออกมา แก๊สจะถูกทำความสะอาดด้วยชุดบำบัดแก๊ส ทำการทดสอบแก๊สสังเคราะห์โดยการทดสอบเบื้องต้น คือ การจุดไฟเพื่อดูการลุกไหม้ของแก๊สสังเคราะห์ ถ้าจุดไฟติดแสดงว่ามีแก๊สสังเคราะห์และตรวจสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟิเออร์จาก Data logger ยี่ห้อ PicoLog Recorder รุ่น 1012 รอประมาณ 1 ชั่วโมงอุณหภูมิภายในเตาจะเข้าสู่สภาวะสมดุลและจึงวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ต่อไปด้วยเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สยี่ห้อ Shimadzu Gas Chromatography Model 2014



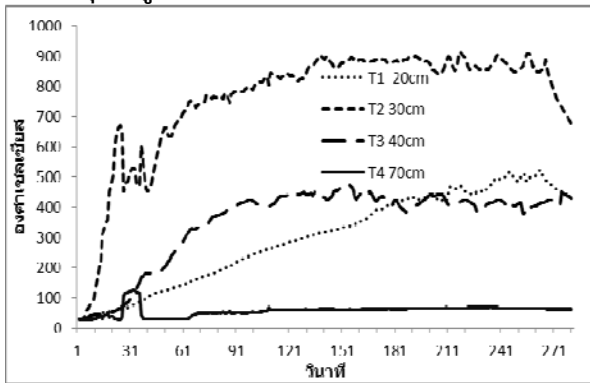
รูปที่ 2 แสดงจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซิฟิเออร์ ได้ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 อยู่สูงจากฐานคอคอด 20 เซนติเมตรเป็นโซนรีดักชัน และอยู่ต่ำกว่าทางเข้าอากาศ 5 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 2 อยู่สูงจากฐานคอคอด 30 เซนติเมตรเป็นโซนออกซิเดชัน และอยู่สูงกว่าทางเข้าอากาศ 5 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 3 อยู่สูงจากฐานคอคอด 40 เซนติเมตรเป็นโซนไพโรไลซิส ตำแหน่งที่ 4 อยู่สูงจากฐานคอคอด 70 เซนติเมตรเป็นโซนอบแห้ง ในการวัดอุณหภูมิมีการอ่านค่าผ่าน Data logger

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

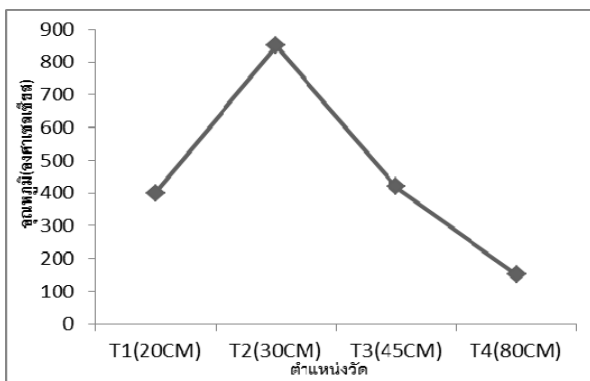
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของปริมาณอากาศและชนิดของไม้ที่เหมาะสม ในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงโดยใช้ไม้โตเร็วที่ปลูกภายในประเทศไทย 2 ชนิดได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส และ ไม้มะขามเทศในการศึกษาพบว่า โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สสังเคราะห์นี้จะสามารถประเมินได้จากอุณหภูมิภายในเตา ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง และค่าความร้อนของแก๊ส ผลการศึกษาแสดงดังนี้

#### 3.1 อุณหภูมิภายในเตา



รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิภายในเตาของไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราป้อนอากาศ 17 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิภายในเตาของไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราอากาศที่ 17 ลิตรต่อนาที จาก รูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า กราฟอุณหภูมิเมื่อเลยระยะเวลา 1 ชั่วโมง ไปแล้วจะเข้าสู่สภาวะสมดุลงานวิจัยนี้จึงมีการเก็บผลการทดลองหลังจาก 1 ชั่วโมงหลังจากได้จุดเตาแก๊สซิฟิเออร์ไปแล้ว 1 ชั่วโมง



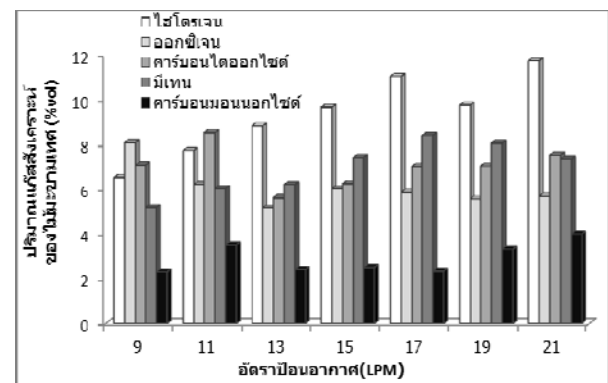
รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิในโซนต่างหลังจากจุดเตา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3,4 แสดงการเกิดอุณหภูมิในโซนต่างๆจะเห็นว่าที่ T1 คือ โซนริตักชั้นอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

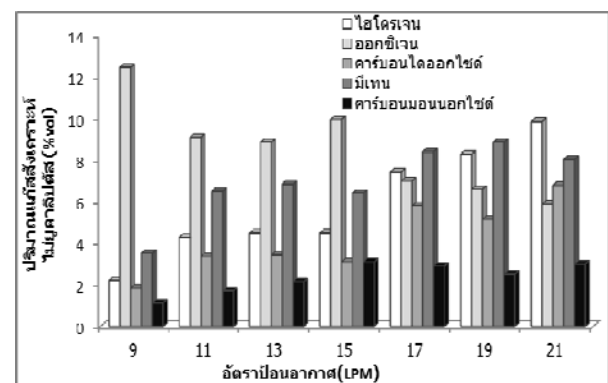
T2 คือ โซนออกซิเดชันอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ไพลโรซิส 420 องศาเซลเซียส และ อบแห้ง 100 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในเตาแก๊สซิฟิเออร์นั้นเกิดอุณหภูมิ 4 โซน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีแก๊สซิฟิเคชัน

#### 3.2 องค์ประกอบแก๊ส

แก๊สสังเคราะห์ที่ได้นั้นจำนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สโดยเครื่อง Shimadzu Gas Chromatography Model 2014 ซึ่งจะได้แก๊สหลักๆ ออกมาเป็นแก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สมิเทน โดยงานวิจัยนี้จะนำแก๊สที่ได้แต่ละอัตราป้อนอากาศที่ปริมาณต่างกัน ทำให้ได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ต่างกัน



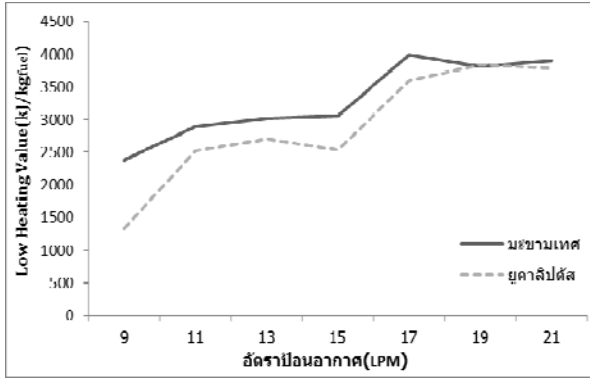
รูปที่ 5 แสดงปริมาณแก๊สสังเคราะห์ของไม้มะขามเทศต่ออัตราป้อนอากาศ



รูปที่ 6 แสดงปริมาณแก๊สสังเคราะห์ของไม้ยูคาลิปตัสต่ออัตราป้อนอากาศ

จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าไม้ 2 ชนิดนั้นที่อัตราป้อนอากาศที่ 9-15 ลิตรต่อนาที มีปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงน้อย พบว่าปริมาณออกซิเจนมากเป็นช่วงที่

อากาศนั้นไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา และช่วงอัตราป้อนอากาศที่ 17-21 ลิตรต่อนาที เป็นช่วงทำปฏิกิริยาได้ดี จึงได้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่สูงกว่า พบว่ามีปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ

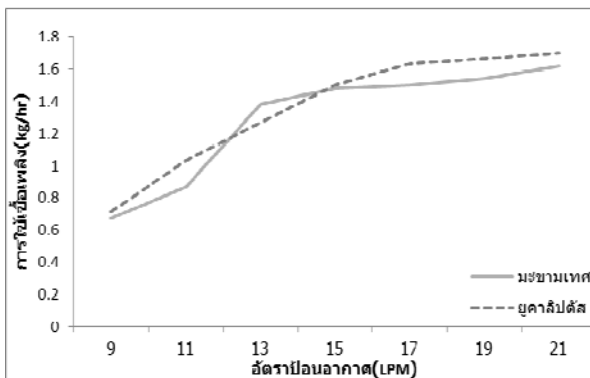


รูปที่ 7 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อนขั้นต่ำของไม้เมฆามเทค และ ยูคาลิปตัสต่ออัตราป้อนอากาศ

$$LHV = H_2 (\dot{h}_{f, H_2}) + CH_4 (\dot{h}_{f, CH_4}) + CO (\dot{h}_{f, CO}) - CO_2 (\dot{h}_{f, CO_2}) + H_2O (\dot{h}_{f, H_2O(g)}) \quad (1)$$

จากรูปที่ 7 ค่าความร้อนขั้นต่ำของแก๊สสังเคราะห์ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (1) [9] แก๊สสังเคราะห์ของไม้เมฆามเทคสูงสุดมีค่าความร้อนขั้นต่ำ 4000 kJ/kg<sub>fuel</sub> ที่อัตราป้อนอากาศที่ 17 ลิตรต่อนาที และ แก๊สสังเคราะห์ของไม้ยูคาลิปตัสสูงสุดมีค่าความร้อนขั้นต่ำ 3800 kJ/kg<sub>fuel</sub> ที่อัตราอากาศที่ 19 ลิตรต่อนาที จะเห็นได้ว่าไม้เมฆามเทคนั้นสามารถให้ค่าความร้อนได้สูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส

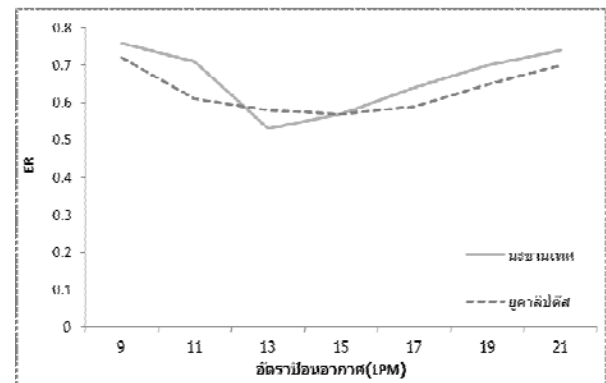
### 3.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าการใช้เชื้อเพลิงต่ออัตราป้อนอากาศ

$$FCR = \text{Weight of fuel used} / \text{Time} \quad (2)$$

รูปที่ 8 แสดงการใช้เชื้อเพลิงต่ออัตราป้อนอากาศคิดจากสมการที่ (2) การใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate (kg/hr)) คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อเวลาในการทดลอง [10] พบว่าเมื่ออัตราป้อนอากาศเพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นเพราะอากาศทำให้การเผาไหม้ภายในเตาแก๊สซิไฟเออร์มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่า ER ต่ออัตราป้อนอากาศ

อัตราป้อนอากาศ (LPM)	ER (ยูคาลิปตัส)	ER (เมฆามเทค)
9	0.72	0.76
11	0.61	0.71
13	0.58	0.53
15	0.57	0.57
17	0.59	0.64
19	0.65	0.7
21	0.7	0.74

ตารางที่ 1 แสดงอัตราป้อนอากาศต่อ ER ไม้ 2 ชนิด

$$ER = (\text{Weight of air}) / (\text{Weight of dry fuel}) \quad (3)$$

จากรูปที่ 9 และตารางที่ 1 ค่า ER คืออัตราส่วนสมมูลแสดงน้ำหนักอากาศต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงคิดจากสมการที่ (3) [10] จากรูปที่ 8, 9 และตารางที่ 1 จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราอากาศที่ 9-11 ลิตรต่อนาที มีค่า ER 0.61-0.76 เกิดการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำใช้เชื้อเพลิง 0.6-0.9 kg/hr เนื่องจากอากาศเข้าไม่เพียงพอ เมื่ออัตราป้อนอากาศที่ 13-15 ลิตรต่อนาที มีค่า ER 0.53-0.58 เกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้นใช้เชื้อเพลิง 1.1-1.4 kg/hr ทำให้มี



การใช้เชื้อเพลิงขึ้นมากขึ้น เมื่ออัตราป้อนอากาศ 17-21 ลิตรต่ออนาที มีค่า ER 0.59-0.74 อากาศเข้าเพียงพอต่อการเปิดปฏิกิริยาทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นไม่มาก

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองในขณะที่มีการป้อนอากาศน้อยจะเกิดแก๊สสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนขึ้นต่ำน้อยเมื่ออากาศเพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่าความร้อนขึ้นต่ำเพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน และเมื่ออากาศเข้ามากเกินไปก็จึงทำให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่ลดลง

ในงานวิจัยเตาแก๊สซิไฟเออร์นี้ไม่ยูคาลิปตัสให้องค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ที่ดีที่สุดที่ 19 ลิตรต่ออนาทีที่ ER0.65 มีค่าความร้อนขึ้นต่ำที่ 3800 kJ/kg<sub>fuel</sub> ใช้เชื้อเพลิง 1.6 kg/hr และไม้มะขามเทศให้องค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ที่ดีที่สุดที่ 17 ลิตรต่ออนาทีที่ ER 0.64 มีค่าความร้อนขึ้นต่ำที่ 4000 kJ/kg<sub>fuel</sub> ใช้เชื้อเพลิง 1.5 kg/hr

จากการทดลองเห็นได้ว่า ไม้โตเร็วเป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก เตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเตาต้นแบบที่เริ่มทำการทดลอง เพื่อหาช่วงอากาศที่เหมาะสมเป็นแนวทางของการวิจัยระยะแรกและเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อนำไปประยุกต์และปรับปรุงเตาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานระหว่างที่ศึกษาอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมภาควิชาเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเฉพาะทาง CTAE ที่ให้คำปรึกษา เครื่องมือวัด และช่วยเหลือตลอดมา

#### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน (2558) สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยมกราคม-ธันวาคม 2558 URL: <http://www.dede.go.th/download/state59/frontpagedec2558.pdf>

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. รายงานสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน 2554-2558 กระทรวงพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

URL: [http://www.dede.go.th/download/state\\_59/3mar59Percentage\\_of\\_Alternative\\_Energy\\_Consumption.pdf](http://www.dede.go.th/download/state_59/3mar59Percentage_of_Alternative_Energy_Consumption.pdf), เข้า

ดูเมื่อวันที่ 17/03/2559

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (2556). รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2556, กระทรวงพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา URL: <http://www.dede.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 26/10/2558

[4] N. Tippayawong, "Gasification of cashew nut shells for thermal application in local food processing factory" International Energy Initiative, 2010

[5] Lin Wei and Lester O. Pordesimo "CO-gasification of hardwood chip and crude glycerol in a pilot scale downdraft gasifier" Elsevier Ltd, 2011

[6] M. A. Chawdhury "Development of a Small Downdraft Biomass Gasifier for Developing Countries" JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH 2011

[7] A. Kuhe "Experimental Investigation of Biomass Gasification in a Closed Top Throatless Downdraft Gasifier" INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RENEWABLE ENERGY RESEARCH, 2012

[8] จิระพงษ์ กวนกระโทก (2557) "การศึกษาการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28

[9] Stephen R. Turns (2000) "An Introduction to Combustion: Concepts and Applications 3rd Edition", Second Edition

[10] ภาณุพงศ์ ตันตীনัย (2557) "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28