



การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สสังเคราะห์สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในจาก
ชีวมวลผสมยางรถยนต์ด้วยกระบวนการแก๊สซิไฟเออร์

Investigation of syngas production from Biomass-tire gasification
for internal combustion engine

อัครฉัตร ตรีหิรัญ¹ และ ธวัชชัย วงศ์ช่าง^{1*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก (CTAE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*ติดต่อ: E-mail: thawatjai.w@cit.kmutnb.ac.th เบอร์โทรศัพท์: 022 555 2000 โทรสาร: 022 555 2000 ext. 6442

บทคัดย่อ

การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยวิธีแก๊สซิไฟเออร์เป็นที่สนใจและมีการศึกษามาเป็นระยะเวลายาวนาน ซึ่งปัจจุบันพบว่าแนวทางที่น่าสนใจในการพัฒนากระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์คือ การเพิ่มค่าความร้อน และลดปริมาณการกำเนิดน้ำมันดิน งานวิจัยนี้นำยางรถยนต์เก่าที่มีค่าความร้อนสูงมาผสมกับชีวมวลแล้วนำไปผ่านกระบวนการผลิตแก๊สด้วยอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักระหว่างไม้และยางรถยนต์ที่ 95:5 90:10 และ 85:15 และกำหนดค่าอัตราส่วนสมมูลของอากาศที่ 0.5 – 0.75 (ER = 0.5 – 0.75) โดยทำการศึกษาค่าประกอบของแก๊สสังเคราะห์ และค่าความร้อนทำให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมของแก๊สต่อการนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ผลจากการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของแก๊สสังเคราะห์ของไม้จาก 4.6 MJ/Nm³ เมื่อเพิ่มยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 10 – 25 % ตามลำดับ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์มากขึ้นตามลำดับ

คำหลัก: ชีวมวล ; ยางรถยนต์ ; แก๊สซิไฟเคชัน

Abstract

The production of syngas from biomass by means of the gasifier is interested and educated for a long time. Which found that the interest in the development process, syngas is produced. Increase the heat and reduce the amount of tar. The research used tires and with high calorific value and then mixed with the biomass produced gas with a mixing ratio by weight between the wood and tires are 95:5 90:10 and 85:15 determine equivalence ratio of air (ER) 0.5 to 0.75 by studying the composition of the syngas heating value. Make the right features of the gas used in internal combustion engines. The results obtained from the syngas of wood has a 4.6 MJ/Nm³ heating value. When increasing tire used is increased 10-25%. Which are suitable to be used on more engine respectively.

Keywords: Biomass; tires; gasification

1. บทนำ

จากรายงานสรุปสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม - ธันวาคม 2558 พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานมีการเพิ่มจากปีที่ผ่านมาสูงขึ้นร้อยละ 2.7 และพบว่าน้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุด [1] ซึ่งน้ำมันสำเร็จรูปนี้เป็นกลุ่มพลังงานในกลุ่มเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งใช้แล้วหมดไปและมีปริมาณสำรองลดน้อยลง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานสำรองจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทน โดยสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนกระทรวงพลังงานปี 2556 - 2559 พบว่ามีการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนมากที่สุด [2] ซึ่งพลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้ในประเทศ ในแต่ละปีมีชีวมวลเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก [3] จึงมีการศึกษานำชีวมวลมาทำการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงาน [4-8] ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [8] โดยกระบวนการนี้ทำการเปลี่ยนรูปของชีวมวลแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ ซึ่งจะได้เชื้อเพลิงแก๊สสังเคราะห์ องค์ประกอบของแก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอื่นๆ เรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ โดยมีก๊าซพลังงานคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ มีเทน

N. Tippayawong และ คณะ [4] ได้ทำการศึกษาก๊าซซิฟิเคชันชนิดไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงไม้แบบเผาตรงในโรงงานแปรรูปอาหาร โดยกระบวนการผลิตแก๊สสังเคราะห์จากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์จะช่วยลดวันจากการเผาไหม้ตรงและเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้มากขึ้น 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 ทำให้ได้แก๊สสังเคราะห์ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์สันดาปภายในมากที่สุด

M. A. Chawdhury [6] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาแก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็กขนาดกำลัง 6 - 7 กิโลวัตต์ เพื่อใช้สำหรับชุมชนในประเทศบังคลาเทศ ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงไม้สับและไม้อัดเม็ด คุณสมบัติในช่วงรีแอคชันได้ 950 - 1150 °C ผลการทดสอบพบว่า มืองค์ประกอบของแก๊สไนโตรเจน 50 - 56 % คาร์บอนมอนอกไซด์ 19 - 22% ไฮโดรเจน 12 - 19% คาร์บอนไดออกไซด์ 10 - 12% มีเทน 1 - 2 % ค่าความร้อนขั้นต่ำ 4,424 - 5,007 kJ/m³ โดยมีประสิทธิภาพ (Cold gas efficiency) 62.5 - 69.4%

A. Kuhe [7] ได้ทำการศึกษาก๊าซซิฟิเคชันชนิดไหลลงแบบ Throatless โคนเน้นการออกแบบที่ง่ายและประหยัดต้นทุน ทำการศึกษาสภาวะการเกิดแก๊สสังเคราะห์โดยใช้กะลามะพร้าว ที่อัตราการป้อน 2.0 kg/hr พบว่าที่ ER 0.332 แก๊สมีค่าความร้อนขั้นต่ำที่ 5,960 kJ/m³ เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งานทั่วไปในครัวเรือน

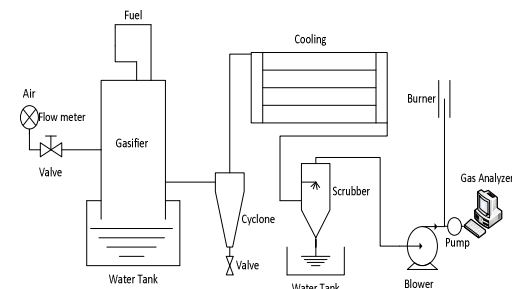
นัฐพล บุญเต็ก [8] ได้ทำการศึกษากาการผลิตแก๊สสังเคราะห์เพื่อใช้สำหรับชุมชน จากไม้โตเร็วที่ปลูกได้ในประเทศไทย เพื่อศึกษาอิทธิพลของไม้และปริมาณอากาศที่มีผลต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ พบว่า ER อยู่ในช่วง 0.53 - 0.76 ให้ค่าความร้อนต่ำ (LHV) อยู่ในช่วง 2,000 - 4,000 kJ/kg_{fuel} โดยไม้ที่เหมาะสมในการทำเป็นเชื้อเพลิงที่สุดคือไม้มะขามเทศ ที่ปริมาณการป้อนอากาศ 17 ลิตรต่ออนาที

Pooya Lahijani and Zainal Alimuddin Zainal [9] ทำการศึกษาโดยการนำเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมา ผสมกับเปลือกอัลมอนต์เพื่อศึกษาองค์ประกอบของแก๊สที่ได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ 850 – 1,000 องศาเซลเซียสพบว่า มีปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่แก๊สอื่นปริมาณลดลง เช่น มีเทน เป็นต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแก๊สสังเคราะห์ที่ได้จาก ชีวมวลจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนั้น มีองค์ประกอบ แก๊สสังเคราะห์ ไฮโดรเจน มีเทนและคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าความร้อนขั้นต่ำตั้งแต่ 4,000 kJ/m³ ขึ้นไปสามารถ เป็นพลังงานทดแทนได้ แต่องค์ประกอบของแก๊สที่ได้มี ปริมาณน้อยที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ สันดาปภายในโดยตรง จึงได้เห็นว่ายางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เป็นขยะที่กำลังขาดองค์ประกอบของยางที่ได้เมื่อนำไปเผาไหม้แล้วพบว่าปริมาณค่าความร้อน สูงสุดที่ 19.05 MJ/Kg และยังมีองค์ประกอบของแก๊สที่ ให้ค่าความร้อน คือ คาร์บอน และไฮโดรเจนสูงอีกด้วย จึงได้นำยางรถยนต์มาผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแก๊ส ที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 1. ระบบป้อนอากาศและ มาตรการวัดการไหลอากาศ ควบคุมการไหลของอากาศโดย วาล์ว 2. Down Draft Gasifier (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.5 เซนติเมตร ขนาดคอคอด 6 เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลงด้วยแรงโน้มถ่วงมีการเติมเชื้อเพลิง 1 ครั้งต่อการทดลอง) 3. ชุดบำบัดแก๊สสังเคราะห์ (ประกอบด้วย Cyclone, Cooling Scrubber, Blower และ Burner)



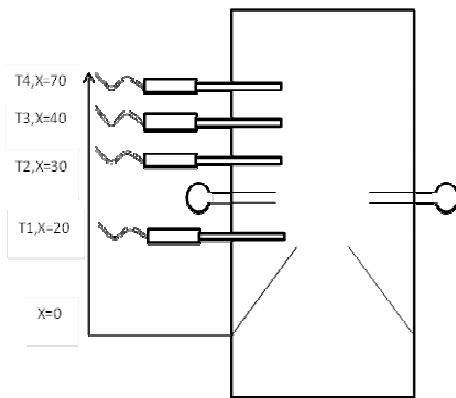
รูปที่ 1 ระบบเตาแก๊สซิฟิเคชัน

การทำงานของระบบแก๊สซิฟิเคชัน ในงานวิจัยนี้ แสดงดัง รูปที่ 1 ประกอบด้วยอากาศไหลผ่าน Flow meter และมีวาล์วควบคุมอัตราการไหลก่อนเข้า Gasifier ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.5 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร มีคอคอดขนาด 6 เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวมวลไหลโดยแรงโน้มถ่วง ควบคุมการไหลของอากาศโดยวาล์ว ในชุด Gasifier จะเกิดกระบวนการ 4 ขั้นตอนเรียงลำดับจากบนลงล่างคือ อบแห้ง ไพโรไลซิส ออกซิเดชัน และรีดักชัน แก๊สสังเคราะห์ที่ได้จาก Gasifier จะส่งไปยังชุดบำบัดแก๊สซึ่ง ประกอบด้วย Cyclone, Cooling, Scrubber, Blower และ Burner ตามลำดับ ตัวอย่างของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ จะจัดเก็บก่อนเผาที่ Burner

การเตรียมชีวมวลโดยการย่อยชีวมวล คือ ไม้มะขามเทศให้มีขนาดมิติไม่เกิน 5 เซนติเมตรและนำไปอบแห้งโดยชีวมวลมีความชื้นเหลือ 2.1% นำไปผสมกับยางรถยนต์ที่ใช้แล้วนำมาย่อยโดยมีขนาดประมาณ 1×1 ตารางเซนติเมตร โดยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างชีวมวลกับยาง ที่ 100:0 95:5 90:10 และ 85:15

การทดลองเริ่มจากการเติมชีวมวลลงในเตาให้เต็มและ ปิด ทำการเปิดโบลเวอร์ จุดไฟจากช่องจุด ให้มีควันออกทาง Burner ปรับการไหลเข้าของอากาศให้มีอัตราการไหลที่ 17 ลิตรต่อนาที รอประมาณ 10 นาที ก็จะได้แก๊สสังเคราะห์ออกมา แก๊สจะถูกทำความสะอาดด้วยชุดบำบัดแก๊ส ทำการทดสอบแก๊สสังเคราะห์โดยการทดสอบเบื้องต้น คือ การจุดไฟเพื่อดูการลุกไหม้ของแก๊ส

สังเคราะห์ ถ้าจุดไฟติดแสดงว่ามีแก๊สสังเคราะห์ และตรวจสอบอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟเออร์จาก Data logger ยี่ห้อ PicoLog Recorder รุ่น 1012 รอประมาณ 1 ชั่วโมงอุณหภูมิภายในเตาจะเข้าสู่ภาวะสมดุล และจึงเก็บแก๊สไปวิเคราะห์ทางองค์ประกอบแก๊สสังเคราะห์ต่อไปด้วยเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สยี่ห้อ Shimadzu Gas Chromatography Model 2014



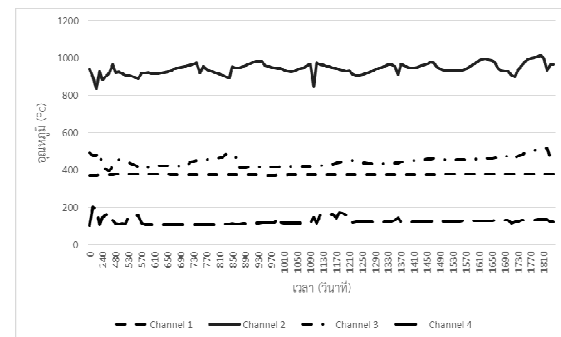
รูปที่ 2 แสดงจุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในเตาแก๊สซีฟเออร์ 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 เซนติเมตรเป็นโซนไฟโรไลซิส ตำแหน่งที่ 4 อยู่สูงจากฐานคอคอด 70 เซนติเมตร เป็นโซนอบแห้ง ในการวัดอุณหภูมิมิมีการอ่านค่าผ่าน Data logger

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

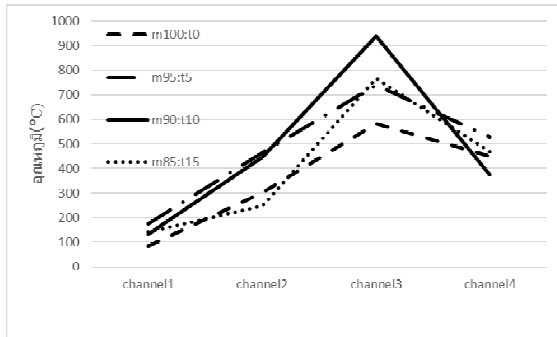
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแก๊สสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแก๊สซีฟเคชั่นแบบไหลลง โดยใช้ไม้ไผ่เร็วที่ปลูกในประเทศไทย คือ ไม้มะขามเทศผสมกับยางรถยนต์ที่ใช้แล้วในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ในการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สสังเคราะห์นี้จะสามารถประเมินได้จากอุณหภูมิภายในเตา ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของแก๊ส ผลการศึกษาแสดงดังนี้

3.1 อุณหภูมิภายในเตา



รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิภายในเตาของไม้มะขามเทศผสมยางในอัตราส่วน 90:10

รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิภายในเตาของไม้มะขามเทศผสมยางที่อัตราส่วน 90:10 จาก รูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากราฟอุณหภูมิเมื่อเลยระยะเวลา 1 ชั่วโมง ไปแล้วจะเข้าสู่ภาวะสมดุล งานวิจัยนี้จึงมีการเก็บผลการทดลองหลังจากจุดเตาแก๊สซีฟเออร์ไปแล้ว 1 ชั่วโมง

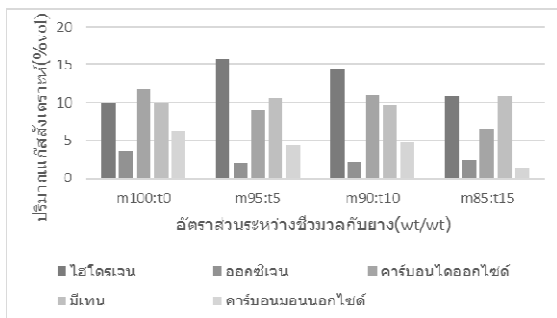


รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิในโซนต่างๆ โดยเฉลี่ยหลังจากจุดเตา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4 แสดงการเกิดอุณหภูมิในโซนต่างๆ ในช่วง channel3 นั้น บ่งบอกถึงอุณหภูมิในช่วงโซนออกซิเดชันสูงกว่าที่ใช้ไม้มะขามเทศอย่างเดียว โดยที่อัตราส่วน 90:10 นั้นให้อุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ที่ 938.60 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจาก 100:0 ที่ให้อุณหภูมิในช่วงโซนออกซิเดชันเพียง 584.33 องศาเซลเซียสเท่านั้น

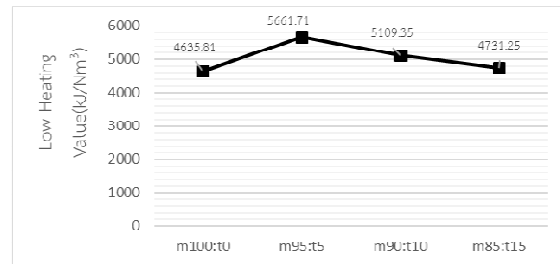
3.2 องค์ประกอบแก๊ส

แก๊สสังเคราะห์ที่ได้ นั้น นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สโดยเครื่อง Shimadzu Gas Chromatography Model 2014 ซึ่งจะได้แก๊สหลักๆ ออกมาเป็นแก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สมีเทน โดยงานวิจัยนี้จะนำแก๊สที่ได้แต่ละอัตราป้อนอากาศที่ 17 ลิตรต่ออนาที



รูปที่ 5 แสดงปริมาณแก๊สสังเคราะห์ของไม้มะขามเทศและยางรถยนต์

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการนำยางเข้าไปผสมในเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วจะให้ปริมาณไฮโดรเจนที่สูงขึ้น แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 6 กราฟแสดงปริมาณค่าความร้อนขั้นต่ำของไม้มะขามเทศผสมกับยางในอัตราส่วนต่างๆ

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

จากรูปที่ 6 ค่าความร้อนขั้นต่ำของแก๊สสังเคราะห์ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (1) [9] แก๊สสังเคราะห์ของ m95:t5 นั้นให้ค่าความร้อนสูงที่สุดโดยให้ค่าความร้อนขั้นต่ำที่ 5661.716 kJ/Nm³

ดังนั้นอุณหภูมิที่สูงมากจนเกินไปก็ไม่ได้ทำให้แก๊สสังเคราะห์นั้นดีตามไปด้วย [9] เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปที่ 900 องศาเซลเซียสแล้ว ทำให้ปริมาณแก๊สจำพวกคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนลดต่ำลงไป

3.3 อัตราส่วนผสม

งานวิจัยนี้ได้ทำการควบคุมปริมาณอากาศเข้าที่ 17 ลิตรต่ออนาที เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของอุณหภูมิองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ และปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแต่ละอัตราส่วน

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เชื้อเพลิง	ER
m100:t0	0.38
m95:t5	0.32
m90:t10	0.30
m85:t15	0.31

$$ER = (\text{Weight of air}) / (\text{Weight of dry fuel}) \quad (2)$$

จากตารางที่ 1 พบว่าในอัตราส่วนผสมของ m95:t5 มีค่าอัตราส่วนสมมูลที่ 0.32 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดรองจาก m100:t0 ซึ่งใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 0.49 Kg/hr แต่เชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมอื่นๆ นั้นก็ไม่ได้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแตกต่างกันไปมาก จึงทำให้อัตราส่วนสมมูลไม่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการเปรียบเทียบจากการผสมระหว่างชีวมวลกับยางรถยนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ นั้นทำให้อุณหภูมิในช่วงโซนออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป ทำให้แก๊สสังเคราะห์ที่ได้นั้นมี การเปลี่ยนแปลงออกไป โดยเฉพาะแก๊สไฮโดรเจน เนื่องจากยังมีปริมาณไฮโดรเจนที่สูง

ในงานวิจัยนี้พบว่าในอัตราส่วนผสมระหว่างไม้ มะขามเทศกับยางที่อัตราส่วน 95:5 นั้นผลิตแก๊สสังเคราะห์ที่ได้ออกมาคือ ไฮโดรเจน 15.845 %vol คาร์บอนไดออกไซด์ 8.89 %vol มีเทน 10.645 %vol ซึ่งทำให้มีค่าความร้อนขั้นต่ำอยู่ที่ 5661.716 kJ/Nm³ ส่วนในอัตราส่วนที่ 90:10 นั้น ให้อุณหภูมิในโซนออกซิเดชันที่สูงกว่าแต่ทำให้ปริมาณแก๊สสังเคราะห์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สอื่น ๆ ทำให้ได้ค่าความร้อนขั้นต่ำอยู่ที่ 5109.35 kJ/Nm³ ซึ่งอุณหภูมิในโซนนี้มีผลต่อองค์ประกอบของแก๊สสังเคราะห์ที่ได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาทำให้เกิดประโยชน์ด้วยการนำมาย่อยผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแก๊สสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถนำแก๊สที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ มีกลิ่นของยางจากการเผาไหม้เล็กน้อย เนื่องจากปริมาณยางที่ผสมลงไปนั้นมีปริมาณที่น้อย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานระหว่างที่ศึกษาอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเฉพาะทาง CTAE ที่ให้คำปรึกษา เครื่องมือวัด และช่วยเหลือโดยตลอดมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน (2558) สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยมกราคม-ธันวาคม2558 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, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2560



- [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] นัฐพล บุญเต็ก (2559) “แก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยใช้ชีวมวลเพื่อศึกษาสภาวะเหมาะสมกับการนำไปใช้กับชุมชน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30
- [9] Pooya Lahijani and Zainal Alimuddin Zainal “Co-gasification of tire and biomass for enhancement of tire-char reactivity in CO₂ gasification process” Bioresource Technology, 2013