

การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและการประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก

นำพร ปัญญ์ใหญ่¹ ทิพาพร คำแดง² และ ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย^{1*}

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รับเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2560 ตอบรับเมื่อ 29 มิถุนายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 1 กรกฎาคม 2560

© 2017 Rajamangala University of Technology Lanna. All Rights Reserved.

บทความวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยของกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน โดยใช้โพลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นวัสดุทดสอบ น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้นำมาทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ผลการทดสอบพบว่า ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวสูงสุดที่ 400 °C และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 150 cm³/min โดยมีค่าประมาณร้อยละ 93.24 และ 95.67 (w/w) ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ผสมกับน้ำมันจากการไพโรไลซิส ในอัตราส่วน 9 : 1 มาทดสอบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน พบว่าให้แรงบิดและแรงม้าเบรคสูงสุดเท่ากับ 6.02 N·m และ 2.43 hp โดยน้อยกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ประมาณร้อยละ 6.1 และ 2.8 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,600 และ 3,000 rpm ตามลำดับ ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันผสมจะมีปริมาณต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.93 และ 1.32 lph โดยอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ประมาณร้อยละ 9.8 และ 15.7 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,000 และ 3,000 rpm ตามลำดับ

คำสำคัญ : พลาสติก ไพโรไลซิส สมรรถนะ เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

*Corresponding author : t.wongsiriamnuay@gmail.com โทรศัพท์ 053-875019 โทรสาร 053-875011

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

² อาจารย์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

Production of Pyrolysis Oil from Plastic Waste and Its Application in a Small Gasoline Engine

Numpon Panyoyai¹ Tipapon Kamdaeng² and Thanasit Wongsiriamnuay^{1*}

Faculty of Engineering and agro-Industry, Maejo University

Received 3 February 2017; accepted 29 June 2017; published online 1 July 2017

© 2017 Rajamangala University of Technology Lanna. All Rights Reserved.

Research Article

Abstract

This research was to study the effect of pyrolysis process conditions, being temperature and nitrogen flow rate, on product yields. Polystyrene (PS) was used as testing material. The performance of gasoline engine was examined using pyrolysis oil. It was found that a maximum liquid yield of 400 °C and N₂ flow rate of 150 cm³/min were 93.24 and 92.43 % (w/w), respectively. Using mixed of gasoline 91 with pyrolysis oil produced in the ratio of 9:1 in a gasoline engine It was found that the maximum torque and brake horsepower were 6.02 N·m and 2.43 hp, these were less than around 6.1 and 2.8% while compare with gasoline 91, at engine speeds of 2,600 and 3,000 rpm, respectively. While minimum and maximum rate of fuel consumption were 0.932 and 1.32 lph, these were less than around 9.8 and 15.7% while compare with gasoline 91, at an engine speed of 2,000 and 3,000 rpm, respectively.

Keywords: Plastic, Pyrolysis, Performance, Gasoline engine.

*Corresponding author : t.wongsiriamnuay@gmail.com Tel. 053-875019 Fax. 053-875011

¹ Assistant Professor, Faculty of Engineering and agro-Industry.

² Lecturer, Faculty of Engineering and agro-Industry.

1. บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย พลาสติกที่ใช้แล้วส่วนใหญ่จะกลายเป็นขยะที่นับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและกำจัดให้หมดไปได้ยาก เนื่องจากขยะพลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติหากมีการกำจัดที่ไม่ถูกวิธีจะส่งผลให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ ทุกวันนี้วิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่นิยมใช้กันก็คือการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ การนำไปฝังกลบและการเผาทำลาย อย่างไรก็ตามการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่และยังถือว่ามีย่านน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งทั้งหมด ปัญหาดังกล่าวจึงพยายามคิดค้นวิธีการที่จะนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

การเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงานเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกได้โดยอาศัยการแปลงสภาพจากของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยทำให้ของแข็งสลายตัวด้วยความร้อน เพื่อแยกองค์ประกอบต่างๆ โดยทำให้ของแข็งระเหยเป็นไอ ในสภาวะไร้ออกซิเจน ภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อยกระบวนการนี้เรียกว่าไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะใช้กระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกชนิดโพลีสไตรีน (PS) เพื่อเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว หากเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น เช่น โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีน (PE) พลาสติกโพลีสไตรีน (PS) จะให้ปริมาณของเหลวที่สูงกว่า [1] เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ร่วมกับน้ำมันปิโตรเลียมหรือทดแทน สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่นิยมใช้เป็นเครื่องต้นกำลังทางกลที่อยู่กับที่เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า สูบน้ำและใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในภาคเกษตรกรรม

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก โดยใช้

น้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกโพลีสไตรีน และทำการศึกษาดัชนีพลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สในโตรเจน ที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส พลาสติกโพลีสไตรีน ในช่วงอุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C และอัตราการไหลของแก๊สในโตรเจน 100, 150 และ 200 cm³/min

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการไพโรไลซิสหรือการกลั่นทำลาย (Destructive distillation) เป็นกระบวนการที่พลาสติกถูกย่อยสลายทางเคมีด้วยความร้อน ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือควบคุมปริมาณออกซิเจนไว้ ทำให้เกิดการสลายตัวสลายออกเป็นองค์ประกอบย่อยชนิดต่าง ๆ [2] อุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสมักอยู่ในช่วงระหว่าง 400-800 °C และได้ผลิตภัณฑ์ 3 ประเภทแบ่งตามสถานะคือ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง ของเหลวที่ได้จะมีสีดำ น้ำตาลเข้ม หรือเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม ปริมาณที่ได้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉพาะสารพอลิเมอร์จะเปลี่ยนเป็นแก๊ส ของเหลว และถ่าน เป็นการหมุนเวียนกลับมาในรูปของเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะของอุณหภูมิ ความดันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสขยะพลาสติกและยางรถยนต์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นวัสดุป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมเคมีโดยจะมีองค์ประกอบที่เป็นโอเลฟินส์ และพาราฟิน เป็นหลัก [3]

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้ขยะพลาสติกประเภทต่างๆ เช่น โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีน (PE) โพลีเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โพลีสไตรีน(PS)[1, 4 – 6] และขยะพลาสติกจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ [7 – 8] รวมถึงยางรถยนต์ (TPO) [9] เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ เช่น ชนิดของพลาสติก การผสมของ

พลาสติกชนิดต่าง ๆ [10] อุณหภูมิ เวลา [11 – 12] อัตราการไหลของไนโตรเจน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ [13] อัตราการสลายตัว [14 – 15] เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสขยะพลาสติก เนื่องจากมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และแก๊สแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย ที่ทำให้มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปจากของเหลวที่ควบแน่นได้ [16,3]

Onwudili, Insura, and Williams (2009) [17] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกโพลีไทรีน 425 จะได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงที่สุดประมาณร้อยละ 97 wt หากเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจะมีปริมาณลดลงน้อยกว่าร้อยละ 80 และ 67 wt ที่อุณหภูมิ 450 และ 500 ตามลำดับ แต่ปริมาณเบนซีนในของเหลว จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.38 - 1.63 w/w oil เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากได้สรุปไว้ว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อปริมาณของเหลวและถ่าน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีองค์ประกอบที่เป็นกลุ่มอะโรมาติกเป็นหลักและปริมาณของกลุ่มอะโรมาติกในของเหลวจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดถ่านในกระบวนการอีกด้วย ดังนั้นหากทดสอบที่อุณหภูมิสูงมากกว่าขึ้นไปน่าสนใจปริมาณกลุ่มอะโรมาติกกว่าจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร

Karaduman, Şimşek, Çiçek, and Bilgesü (2001) [18] ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกโพลีไทรีน พบว่าหากเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสในช่วง 750 – 875 จะพบว่าปริมาณแก๊สโซลีนจะมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 50 ที่ 750 และลดลงใกล้เคียงศูนย์ที่อุณหภูมิ 875 โดยกลุ่ม C2 จะลดลงในขณะที่กลุ่ม C1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นหากทดสอบที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 700°C เป็นช่วงที่น่าสนใจเพื่อศึกษาปริมาณของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้

การนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิส หรือน้ำมันไพโรไลซิสไปใช้ประโยชน์มีทั้งนำไปใช้ทดแทนรวมถึงการใช้ผสมกับเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม เช่น ผสมกับน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ ความเร็วรอบต่ำที่จุดระเบิดด้วยแรงอัดผสมเพื่อลดความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสลงแล้วใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้กับเรือ [19] และการผสมน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกหลาย ๆ ชนิด [20] โดยมีการนำไปใช้ทั้งในระบบการให้ความร้อนรวมถึงการใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน [6, 20, 21] โดยส่วนใหญ่จะใช้กับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยแรงอัดที่มีความเร็วรอบต่ำมีส่วนน้อยที่จะทดสอบเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยแรงอัดที่มีความเร็วรอบสูง [19]

Mani et al. (2011) [19] ได้ทำการไพโรไลซิสขยะพลาสติกและนำน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้ มาทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีสีดำนและมีค่าความร้อนต่ำกว่าแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซลประมาณ 0.66 และ 2.16 MJ/kg ตามลำดับ โดยพบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เช่น ค่าซีเทนห้มเบอร์จุดติดไฟและจุดวาบไฟ เป็นต้น แล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลแล้วทดสอบสมรรถนะและไอเสียด้วยเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ผลที่ได้พบว่ายังผสมน้ำมันไพโรไลซิสมากขึ้นจะยิ่งทำให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น น้ำมันไพโรไลซิสจะมีความดันต่ำกว่าในช่วงที่ไหลร้อยละ 20 – 40 หากมีไหลตเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 60 – 100 หากเพิ่มน้ำมันไพโรไลซิสในส่วนผสมก็ส่งผลให้มีความดันเพิ่มขึ้น ส่วนในไอเสียมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และควันดำเพิ่มขึ้น แต่กลับมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการควบแน่นโดยไม่ได้ผ่านการกลั่นจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนและดีเซล และสมบัติน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล หากศึกษาการใช้น้ำมันที่ได้จากกลั่นก็เป็นทางเลือกในการศึกษาเพิ่มเติมแล้วเปรียบเทียบสมบัติทางด้านของ

น้ำมันปรับปรุงขึ้นหรือไม่ เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ และหากมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซลีนก็นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เพื่อศึกษาสมรรถนะและไอเสียต่อไป

Wiwatpreechanon, Janyalertadun and Santaweek (2013) [22] ได้ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 420°C แล้วนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 60 - 170 °C แล้วนำไปทดสอบสมบัติพบว่า น้ำมันที่ได้จากการกลั่นและ น้ำมันแก๊สโซลีน 91 จะมีค่าความร้อนประมาณ 49.25 และ 44.61 MJ/kg ตามลำดับและมีค่าออกเทนนิมเบอร์ 78 และ 91 ตามลำดับ นำน้ำมันแก๊สโซลีน 91 กับน้ำมันที่ได้จากการกลั่นมาผสมในอัตราส่วน 75:25, 50:50, 25:75 โดยจะพบว่ายิ่งผสมน้ำมันที่ได้จากการกลั่นมาก ค่าความร้อนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ค่าออกเทนนิมเบอร์จะลดลง และได้นำมาทดสอบในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟรุ่น GX 120 พบว่าที่ความเร็วรอบเดียวกัน พบว่ายิ่งผสมน้ำมันที่กลั่นมากขึ้นค่าแรงบิดและกำลังเบรคจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะลดลง ส่วนปริมาณไอเสีย อัตราส่วนผสมไม่ได้ส่งผลต่อค่า CO และ HC โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมันที่ได้กลั่นจากถุงพลาสติกเพียงอย่างเดียว ส่วนน้ำมันจากพลาสติกชนิดอื่นยังไม่ได้ศึกษาและหากต้องการลดขั้นตอนการนำน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสมาสู่ใช้โดยไม่กลั่นมาทดสอบกับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดพลังงานในกระบวนการผลิตน้ำมันจากพลาสติก ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

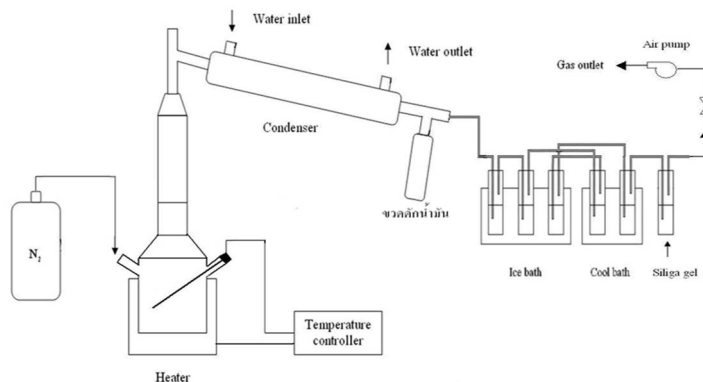
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการใช้น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ได้จากการควบแน่นแต่ยังไม่ได้กลั่น มาทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

4.วิธีการวิจัย

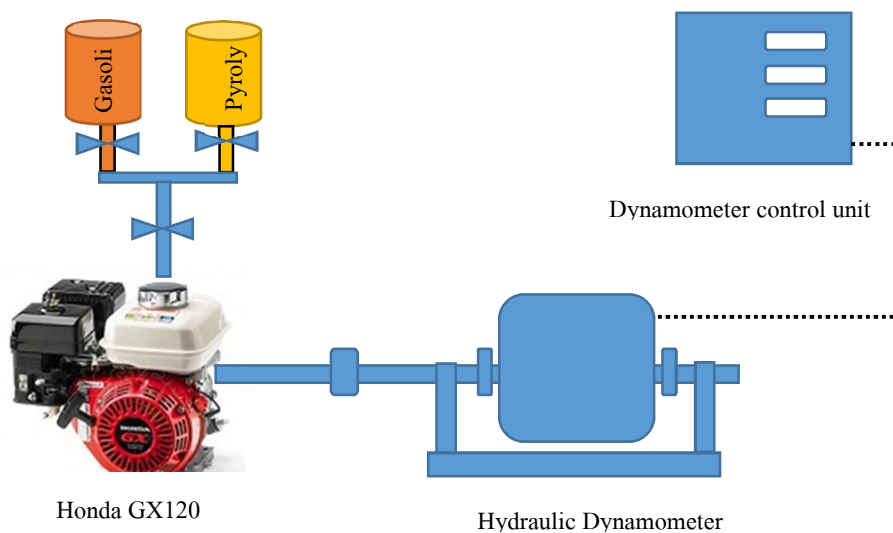
4.1 กระบวนการไพโรไลซิส

ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิส ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกด้านล่างและด้านบนมีทางออกสามทาง โดยใช้วัสดุเป็นแก้ว และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 cm ทางออกด้านบนซ้ายต่อกับถังแก๊สไนโตรเจนเพื่อใช้เป็นตัวพาและเป็นแก๊สเฉื่อยในกระบวนการ ส่วนด้านขวาติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ โดยต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของชุดลดความร้อน (Heater) ส่วนทางออกตรงกลางเป็นทางออกของผลิตภัณฑ์โดยต่อกับอุปกรณ์ควบแน่น (condenser) ที่มีน้ำหล่อเย็นเพื่อควบแน่นของเหลวแล้วเก็บไว้ในขวดดักน้ำมัน จากนั้นแก๊สที่ไม่ควบแน่นจะไหลผ่านชุดสารละลายเพื่อใช้ดักน้ำมันที่ยังไม่ถูกควบแน่นถูกบรรจุไว้ในหลอดแก้วจำนวน 5 หลอด และแช่ไว้ในถังน้ำแข็งและต่อพ่วงกับอีก 1 หลอดที่ใช้ซิลิกาเจลไว้ส่วนทางออกของแก๊สจากชุดนี้ได้ต่อกับปั๊มเพื่อระบายแก๊สผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการทดสอบ เริ่มต้นจากเตรียมพลาสติกขนาด 5x5 mm น้ำหนัก 100 g ใส่ไว้ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1 เริ่มต้นเปิดแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลที่กำหนด 100 ml/min โดยป้อนใส่อากาศเป็นเวลาประมาณ 5 min และเปิดฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนแก่เตา ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C/min จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ที่ 400, 500 และ 600 °C นำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อยู่ขวดดักน้ำมันไปวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักส่วนของแข็งที่เหลือในเตา นำไปชั่งน้ำหนัก ส่วนปริมาณแก๊สคำนวณจากส่วนต่างระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นลบออกด้วยน้ำหนักของเหลวและของแข็ง



รูปที่ 1 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิส



รูปที่ 2 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์

4.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วย เครื่องยนต์แก๊สโซลีน Honda รุ่น GX120 ที่ต่อกับไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ ขั้นตอนการทดสอบจะทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแก๊สโซลีน 91 และน้ำมันผสมในอัตราส่วน 9:1 ระหว่างแก๊สโซลีน : ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยให้ภาระด้วยน้ำที่อัตราการไหล 190 lph เริ่มที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm แล้วปรับความเร็วรอบ

เพิ่มขึ้น 200 rpm โดยใช้เวลาในการทดสอบ 30 min ทำการทดสอบ 3 ชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์หาแรงบิด แรงม้า เบรค และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งมีตัวแปรต้นคือ อุณหภูมิ และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนตัวแปรตาม คือ ปริมาณเชื้อเพลิงเหลว และผลที่ได้นำไปทดสอบทางสถิติ

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบการผลิตน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้พลาสติกโพลิสไตรีน (PS) ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 100, 150 และ 200 cm³/min โดยควบคุมอัตราการให้ความร้อนคงที่ที่ 10 °C/min เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิและอัตราการไหลของไนโตรเจนที่ได้เชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด

5.1 กระบวนการไพโรไลซิส

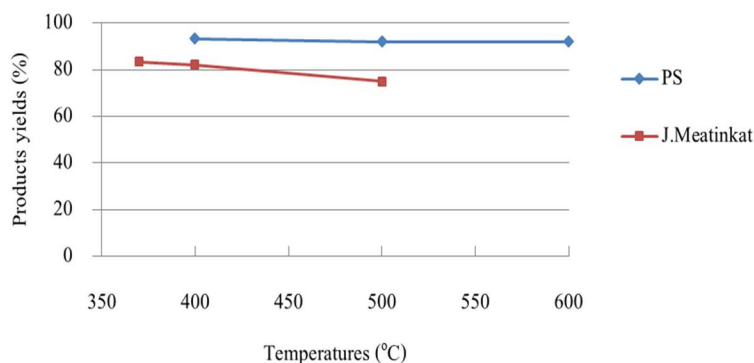
ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติก โพลิสไตรีน (PS) แสดงดังรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เท่ากับร้อยละ 93.24, 91.89 และ 91.95 (w/w) ตามลำดับโดยของเหลวมีน้ำหนักมากที่สุดที่ 400°C โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Mertinkat et al. (1999) [23] ที่พบว่าเมื่อไพโรไลซิสพลาสติกโพลิสไตรีน (PS) ที่อุณหภูมิ 400°C มีปริมาณมากกว่าที่ 500°C และเมื่อลดอุณหภูมิไปที่ 370°C จะได้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวสูงสุด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของเหลวและของแข็งลดลงแต่ก๊าซจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ [18] ของเหลวที่ได้แบ่งตามจุดเดือดได้ 3 กลุ่ม จุดเดือดต่ำกว่า 200 °C จะเป็นกลุ่ม styrene monomer, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene จุดเดือดปานกลาง ในช่วง 200 - 350 °C เป็นกลุ่ม dimer และ อื่น ๆ กลุ่มสุดท้ายเป็นจุดเดือดสูงมากกว่า 350 °C เป็นกลุ่ม trimer และ อื่น ๆ โดยในกลุ่มจุดเดือดต่ำจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเพื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่กลุ่มจุดเดือดปานกลางและสูงมีแนวโน้มลดลง [11] ส่วนผลของอัตราการไหลของไนโตรเจนต่อปริมาณของเหลวแสดงดังตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 100 - 150 cm³/min น้ำหนักของเหลวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 92.43 - 95.67 (w/w)

เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3.24 (w/w) และมีน้ำหนักและปริมาณสูงสุดที่อัตราการไหล 150 cm³/min เมื่อเพิ่มอัตราการไหลถึง 200 cm³/min น้ำหนักของเหลวที่ได้ลดลง ส่วนปริมาณแก๊สมีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ Demiral (2011) [24] พบว่าการไหลอย่างรวดเร็วของไนโตรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ออกจากเขตร้อนหรือโซนปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วจึงเป็นผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่อัตราการไหลของ ไนโตรเจน 200 cm³/min ได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวลดลงดังรูปที่ 4

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ผลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสโพลิสไตรีน (PS) แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าการทดสอบอัตราการไหลของไนโตรเจน ค่า Sig. = 0.032 มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวโดยน้ำหนักที่อัตราการไหลของไนโตรเจนที่ 100, 150 และ 200 cm³/min ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อัตราการไหลของไนโตรเจนในช่วง 100 - 200 cm³/min ไม่มีผลต่อปริมาณของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสของโพลิสไตรีน

5.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 และน้ำมันไพโรไลซิส มีค่าความร้อนประมาณ 44.5 และ 39.3 MJ จะพบว่าน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าความร้อนต่ำกว่า และเมื่อนำมาผสมที่อัตราส่วนผสม 9 : 1 จะทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันผสมต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ประมาณร้อยละ 1.2 เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ ผลที่ได้พบว่าตั้งน้ำมันที่อัตราส่วนผสม 9 : 1 ให้แรงบิดต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ทุกความเร็วรอบ ดังรูปที่ 5 เนื่องจากน้ำมันผสมมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 และพบว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,600 rpm แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแรงบิดมาตรฐานและแก๊สโซลีน 91 ที่



รูปที่ 3 ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการไพโรไลซิสโพลีสไตรีนเทียบกับงานวิจัยของ Mertinkat et al. (1999)

ตารางที่ 1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนต่างกัน ที่อุณหภูมิ 500°C

อัตราการไหลไนโตรเจน (cm ³ /min)	ปริมาณผลิตภัณฑ์			
	ของเหลว (ml)	ของแข็ง (%w/w)	แก๊ส (%w/w)	แก๊ส (%w/w)
100	101.33	92.43	1.71	5.86
150	105.00	95.67	2.07	2.26
200	99.67	91.02	0.47	8.51

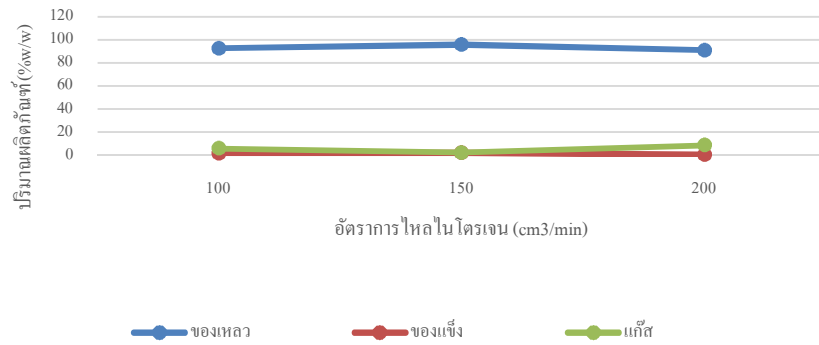
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

Tests of Between-Subjects Effects

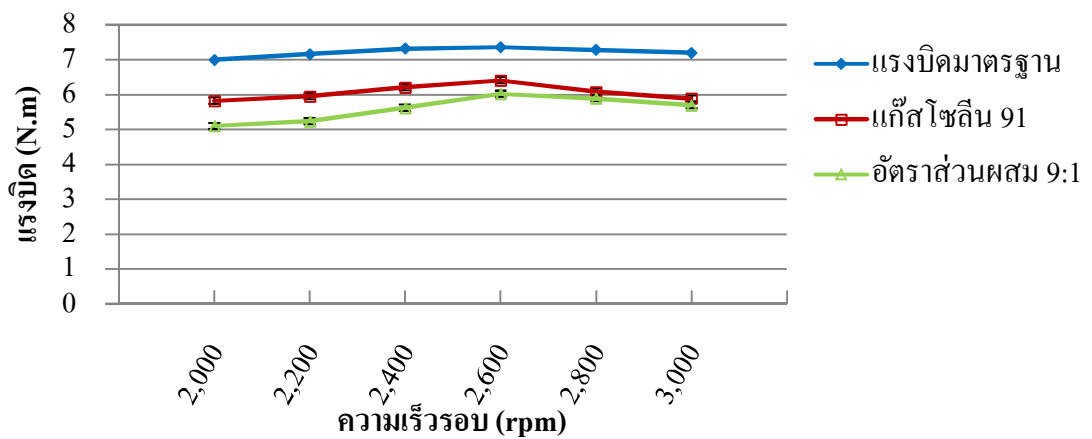
Dependent Variable: oil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	34.161 ^a	2	17.080	6.425	.032
Intercept	77904.253	1	77904.253	2.931E4	.000
Nitrogen	34.161	2	17.080	6.425	.032
Error	15.950	6	2.658		
Total	77954.363	9			
Corrected Total	50.111	8			

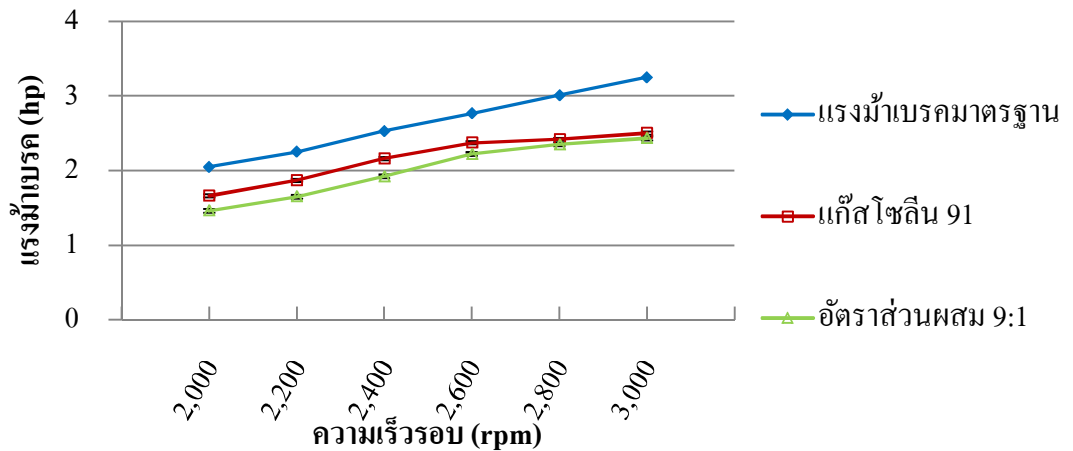
a. R Squared = .682 (Adjusted R Squared = .5)



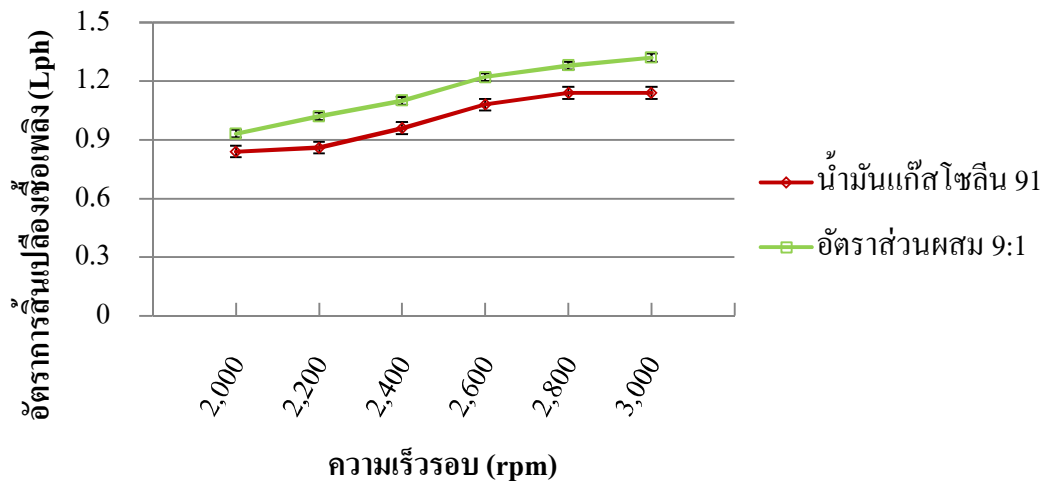
รูปที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกที่อุณหภูมิ 500°C



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างแรงม้าเบรคกับความเร็วรอบ



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบ

แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลงเช่นกัน และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นถึง 2800 - 3000 rpm พบว่าน้ำมันผสมจะให้แรงบิดใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซลีน 91 เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงแรงบิด

ผลการทดสอบแรงม้าเบรกแสดงดังรูปที่ 6 น้ำมันที่อัตราส่วนผสม 9 : 1 มีค่าแรงม้าเบรกต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ทุกความเร็วรอบ เนื่องจากแรงบิดของน้ำมันผสมให้ค่าต่ำกว่าจึงส่งผลให้แรงม้าเบรกต่ำกว่าด้วยและแรงม้าเบรกจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วรอบสูงสุดที่ 3,000 rpm ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับแรงม้าเบรกมาตรฐานและแก๊สโซลีน 91 เนื่องจากแรงบิดของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ส่งผลให้แรงม้าเบรกจะมีแนวโน้มเหมือนแรงบิดโดยมีค่าใกล้เคียงกับแก๊สโซลีน 91 เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2800 - 3000 rpm

ผลของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 7 น้ำมันผสมอัตราส่วนผสม 9 : 1 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 เนื่องจากมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ในช่วงความเร็วรอบ 2000 - 2600 rpm น้ำมันผสมจะมีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าแก๊สโซลีน 91 ประมาณร้อยละ

9.8 - 15.7 และจะให้แรงบิดและแรงม้าเบรกต่ำกว่าร้อยละ 6.1 - 12.3 และร้อยละ 6.3 - 12.0 เนื่องจากน้ำมันผสมมีค่าความร้อนต่ำกว่าตามลำดับ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในช่วง 2800 - 3000 rpm แรงบิดและแรงม้าเบรกของน้ำมันผสมจะต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ประมาณร้อยละ 3.1 - 3.4 และร้อยละ 2.8 - 2.9 ตามลำดับ แต่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่างกันมากถึงร้อยละ 10.9 - 13.6 ที่รอบสูงถึงแม้ว่าการใช้น้ำมันผสมจะให้แรงบิดและแรงม้าเบรกใกล้เคียงกันกับแก๊สโซลีน 91 แต่ยังคงใช้น้ำมันมากกว่าถึงแม้ว่าน้ำมันผสมจะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับแก๊สโซลีน 91 แต่ส่วนประกอบของน้ำมันที่ได้จากการกลั่นนั้นแตกต่างจากน้ำมันเบนซิน 91 และมีค่าความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณใช้เชื้อเพลิงจึงมีความแตกต่างกันไปด้วย

6. สรุป

การไฟโรไลซิสพลาสติกโพลิสไตรีน (PS) พบว่าเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเหลวและของแข็งมีแนวโน้มลดลง ส่วนแก๊สมีปริมาณมากขึ้น ส่วนอัตราการไหลในโตรเจนไม่มีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทำให้ได้

สภาวะที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดที่ 400 °C มีค่าร้อยละ 93.24 (w/w) และที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 150 cm³/min มีค่าร้อยละ 95.67 (w/w) โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 °C/min ส่วนการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่า อัตราส่วนผสม 9 : 1 ให้แรงบิดและแรงม้าเบรกสูงสุดเท่ากับ 6.02 Nm และ 2.43 hp ที่ความเร็วรอบ 2,600 และ 3,000 rpm ตามลำดับโดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.93 และ 1.32 lph ที่ความเร็วรอบ 2,000 และ 3,000 rpm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันผสมและน้ำมันแก๊สโซลีน 91 พบว่าแรงบิดและกำลังม้าเบรกจะน้อยกว่าร้อยละ 6.1 - 12.3 และ 2.8 - 12.0 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำมันที่ใช้จะสูงกว่าร้อยละ 9.8 - 15.7

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรและสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในงานวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Demirbas. Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline- range hydrocarbons. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 72(1) : 97 – 102. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.03.001>., 2004
- [2] N. Tippayawong. Biomass Conversion Technology : Technology Promotion Association (Thailand – Japan)., 2009.
- [3] N. Miskolczi, L. Bartha. Utilization of Hydrocarbons Obtained by Waste Plastic Pyrolysis : Energetic Utilization (Part I).

Journal of Energy and power Engineering, 2016(6) : 1204 – 1210., 2012.

- [4] T. Bhaskar, J. Kaneko, A. Muto, Y. Sakata, E. Jakab, T. Matsui, M. A. Uddin. Pyrolysis studies of PP/PE/PS/PVC/HIPS-Br plastics mixed with PET and dehalogenation (Br, Cl) of the liquid products. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 72(1) : 27 – 33. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.01.005>., 2004.
- [5] S. Breyer, L. Mekhitarian, B. Rimez, B. Haut. Production of an alternative fuel by the co- pyrolysis of landfill recovered plastic wastes and used lubrication oils. Waste Management, 60 : 363 – 374., 2017.
- [6] N. K. Sundararajan, A. R. Bhagavathi. Experimental Investigation on Thermocatalytic Pyrolysis of HDPE Plastic Waste and the Effects of Its Liquid Yield over the Performance, Emission, and Combustion Characteristics of CI Engine. Energy & Fuels, 30(7) : 5379 – 5390., 2016.
- [7] C. Muhammad, J. A. Onwudili, P. T. Williams. Catalytic pyrolysis of waste plastic from electrical and electronic equipment. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 113 : 332 – 339., 2015.
- [8] C. Santella, L. Cafiero, D. De Angelis, F. La Marca, R. Tuffi, S. V. Cipriotti. Thermal and catalytic pyrolysis of a mixture of plastics from small waste electrical and electronic equipment (WEEE). Waste Management, 54 : 143 – 152., 2016.

- [9] T. Wongsiriamnuay, S. Sangsrirachan, S. Jaitui, P. Taduang. Production of Liquid Fuel from Scrap Tires and Plastics Waste by Pyrolysis Process. Paper Presented at the Conference on Energy Network of Thailand (ENETT2010), Holiday Inn Resort Regent Beach, Cha-am, Hua Hin, Phetchaburi, Thailand., 2010.
- [10] F. Pinto, P. Costa, I. Gulyurtlu, I. Cabrita. Pyrolysis of plastic wastes.1.Effect of plastic waste composition on product yield. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 51(1-2) : 39 – 55. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-2370\(99\)00007-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-2370(99)00007-8)., 1999.
- [11] Y. Liu, J. Qian, J. Wang. Pyrolysis of polystyrene waste in a fluidized-bed reactor to obtain styrene monomer and gasoline fraction. Fuel Processing Technology, 63(1) : 45 – 55. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S03783820\(99\)00066-](http://dx.doi.org/10.1016/S03783820(99)00066-)
- [12] S. V. Papuga, P. M. Gvero, L. M. Vukic. Temperature and Time Influence on the Waste Plastics Pyrolysis in the Fixed Bed Reactor. Thermal Science, 20(2) : 731 – 741., 2016.
- [13] S.-S. Kim, S. Kim. Pyrolysis characteristics of polystyrene and polypropylene in a stirred batch reactor. Chemical Engineering Journal, 98(1-2) : 53 – 60. Doi : [http://dx.doi.org/10.1016/S1385-8947\(03\)00184-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1385-8947(03)00184-0)., 2004.
- [14] R. Aguado, M. Olazar, amp, x, B. Gaisán, R. Prieto, J. Bilbao. Kinetics of polystyrene pyrolysis in a conical spouted bed reactor. Chemical Engineering Journal, 92(1–3) : 91 -99. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1385-8947\(02\)00119-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1385-8947(02)00119-5)., 2003.
- [15] N. Miskolczi, R. Nagy. Hydrocarbons obtained by waste plastic pyrolysis: Comparative analysis of decomposition described by different kinetic models. Fuel Processing Technology, 104(0) : 96 -104. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.04.031>.,2012.
- [16] W. Kaminsky, B. Schlesselmann, C. Simon. Olefins from polyolefins and mixed plastics by pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 32(0) : 19-27. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0165-2370\(94\)00830-T](http://dx.doi.org/10.1016/0165-2370(94)00830-T)., 1995.
- [17] J. A. Onwudili, N. Insura, P. T. Williams. Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 86(2) : 293 -303. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.07.008>., 2009.
- [18] A. Karaduman, E. H. Şimşek, B. Çiçek, A. Y. Bilgesü. Flash pyrolysis of polystyrene wastes in a free-fall reactor under vacuum. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 60(2): 179 -186. Doi : [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(00\)00169-8](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(00)00169-8)., 2001.
- [19] M. Mani, G. Nagarajan, S. Sampath. Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. Energy, 36(1) : 212-219. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.049>., 2011.

- [20] S. Kumar, R. Prakash, S. Murugan, R. K. Singh. Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. *Energy Conversion and Management*, 74(0) : 323-331. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.05.028>., 2013.
- [21] I. Kalargaris, G. H. Tian, S. Gu. Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. *Fuel Processing Technology*, 157:108-115., 2017.
- [22] R. Wiwatpreechanon, A. Janyalertadun, C. Santaweek. Studying of physical properties of wasted plastic oil and its effect on small gasoline engine. *KKU Engineering Journal*, 40(2) : 229-236., 2013.
- [23] J. Mertinkat, A. Kirsten, M. Predel, W. Kaminsky. Cracking catalysts used as fluidized bed material in the Hamburg pyrolysis process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 49(1–2):87-95 doi :[http://dx.doi.org/10.1016/S0165-2370\(98\)00103-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-2370(98)00103-X)., 1999.
- [24] I. Demiral, E. A. Ayan. Pyrolysis of grape bagasse: Effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product. *Bioresource Technology*, 102(4) : 3946-3951. doi:10.1016/j.biortech.2010.11.077., 2011.