การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากยางและขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Production of Liquid Fuel from Scrap Tires and Plastic Waste by Pyrolysis Process

ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย[*a] สุภาพร แสงศรีจันทร์[b] สุวรรณา ใจตุ้ย[a] และพัชรินทร์ ตาด้วง[a]
[a]คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[b]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทร 0-5387-8123 โทรสาร 0-5349-902 E-mail: w_thanasit@hotmail.com

Thanasit Wongsiriamnuay[*a], Supaporn Sangsrichan[b], Suwanna Jaitui[a] and Phucharin Taduang[a]
[a]Faculty of Engineering and Agro-Industry , Maejo University
[b]Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University
Nhongharn, Sansai, Chiang Mai 50290 Thailand Tel: 0-5387-8123 Fax: 0-5349-902 E-mail: w_thanasit@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ ได้นำยางในรถจักรยานยนต์ ขยะประเภทถุงพลาสติก และถุงมือยางพารา มาทำการไพโรไลซิส ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยศึกษาผลอุณหภูมิที่ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียสต่อนาทีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่าการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำให้ได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวสูงสุดประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนขยะประเภทพลาสติกและถุงมือยางพาราได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวประมาณ 79 และ 78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

Abstract

In the present study, the scrap motorcycle inner tires, plastic waste and rubber grove were pyrolyzed in a fixed bed reactor. The study carried out on the temperatures reactor of 400, 500 and 600 ^{o}C and heating rates of 10 degree and 30 ^{o}C.min^{-1}. It was found that the pyrolysis of motorcycle inner tires at 600 ^{o}C and heating rates of 30 ^{o}C.min^{-1} gave the highest liquid fuel (tire pyrolysis oil) of 36% by weight. Liquid fuel from Plastic waste and rubber grove were of 79and 78% by weight.

.

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์น้ำมันและการตระหนักถึงการลดน้อยลงของเชื้อเพลิงฟอสซิลจาก ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ ทำให้เกิดความพยายามที่จะหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ทดแทน ปัจจุบันจึงมีการสนับสนุนและรณรงค์ให้ใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากจากฟอสซิล ซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดลงและราคาสูงขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนในด้านต่างๆ ทั้งด้านการผลิตสินค้าและการบริการต่างๆ อีกทั้งในปัจจุบันจากการผลิตและการบริโภค จากสถิติของ [1] ในเดือนพฤษภาคม มีอัตราการผลิตยางในรถจักรยานยนต์จำนวน 2,614,480 เส้น ถุงมือยางพารา 861,904,528 ตัน และถุงพลาสติก 5,126.04 ตัน สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2551 ดังนั้นจะก่อให้เกิดขยะจากยางในรถ ถุงมือยางและพลาสติกจากการใช้งานแล้วเป็นจำนวนมากและหากพิจารณาปริมาณการผลิตทั้งปีจะมีเพิ่มมากขึ้นอีกหลายเท่า ปริมาณขยะจำนวนมากเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาในด้านการกำจัดขยะและก่อให้เกิดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งกลิ่นน้ำเสียปัญหาน้ำใต้ดินเป็นพิษ และปัญหาอื่นๆ ตามมาอีก มากมาย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดการเปลี่ยนขยะซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายตัวได้ยาก ใช้เวลานานและมีจำนวนมาก มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงหรือสามารถนำมาทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน และเป็นแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะและปัญหาด้านมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

กระบวนการไพโรไลซิส คือ การสลายตัวของวัสดุด้วยความร้อนในที่อับอากาศในช่วงอุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส โดยได้ผลิตภัณฑ์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและวิธีการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้หลายประเภท อาทิเช่น แก๊ส สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้ในกระบวนการอบแห้ง ของเหลวที่ได้อาจใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือสกัดเป็นสารเคมี และถ่านอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือนำเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นต้น ของเหลวที่ได้จากกระบวนไพโรไลซิส หรือที่เรียกกันว่า น้ำมันชีวภาพ หรือยังมีชื่อเรียกอื่น ๆ อีก อาทิเช่น Pyrolysis Oil,

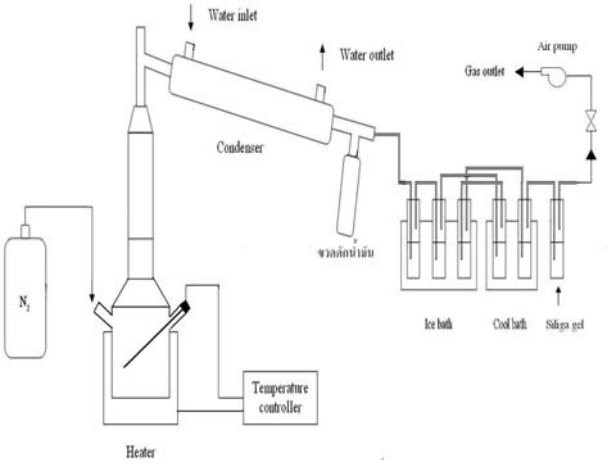
Biocrude-Oil, Bio-Fuel-Oil, Liquid Smoke, Pyrolysis Tar เป็นต้น ซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวสีดำ น้ำตาลเข้ม หรืออาจเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและวิธีการให้ความร้อน [2].

จะเห็นได้ว่าชนิดของวัสดุที่ใช้และสภาวะในการไพโรไลซิสมีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาปริมาณการผลิต ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ ถุงมือยางพาราและขยะประเภทพลาสติกและศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการไพโรไลซิสต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ทดสอบได้แก่ ยางในรถจักรยานยนต์ ถุงพลาสติกและถุงมือยางพารา จะถูกตัดให้มีขนาดประมาณ 5×5 มิลลิเมตรและใช้จำนวน 100 กรัม ในแต่ละการทดสอบ ชุดทดสอบดังรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยเตาปฏิกรณ์ ชุดวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด เค เตาปฏิกรณ์ถูกล้อมรอบด้วยชุดให้ความร้อน ก๊าซเฉื่อยที่ใช้ในการทดสอบเป็นก๊าซไนโตรเจน [3] จะต่อกับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันของก๊าซและควบคุมอัตราการไหลด้วยโรตามิเตอร์ ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนใช้น้ำเป็นตัวรับความร้อนจากก๊าซเพื่อกลั่นเอาน้ำมันเหลวจากก๊าซที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของวัสดุทดสอบ ชุดดักของเหลวประกอบด้วยหลอดแก้วใส่สารละลายไอโซโพรพานอลจำนวน 5 หลอด โดย 3 หลอดแรกจะแช่ในถังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส อีก 2 หลอดจะแช่ในถังมีอุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส ส่วนขวดที่เหลือบรรจุซิลิกาเจลเพื่อใช้ดูดความชื้นและต่อด้วยปั๊มดูดก๊าซ



รูปที่ 1 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสแบบเบดนิ่ง

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มต้นนำวัสดุทดสอบที่เตรียมไว้ใส่ในเตาปฏิกรณ์และปิดฝา เตรียมสารละลายไอโซโพรพานอลในชุดหลอดแก้วและเตรียมถังที่มีอุณหภูมิ ต่ำกว่า 5 และ -10 องศาเซลเซียส ต่อชุดทดสอบดังรูปที่ 1 เปิดน้ำเข้าชุดแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นจ่ายก๊าซไนโตรเจนเข้าชุดทดสอบ และเปิดปั๊มดูดก๊าซ ปรับอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนไปที่ค่าที่ต้องการทดสอบที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้ จะทำการทดสอบนาน 30 นาที เมื่อเตาปฏิกรณ์ได้รับความร้อนวัสดุทดสอบจะเกิดการสลายตัวกลายเป็นก๊าซและจะไหลผ่านชุดกลั่นตัวเพื่อทำให้ก๊าซกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวและก๊าซจะไหลผ่านสารละลายไอโซโพรพานอลเพื่อดักของเหลวในก๊าซ

ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาถึงปัจจัยของ อุณหภูมิที่ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 และ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่เชื้อเพลิงเหลว ก๊าซและกากคาร์บอน

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลของอุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อน

จากการทดสอบการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์พบว่าอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงเหลว แก๊สและกากคาร์บอนคงเหลือ โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบจะได้ปริมาณน้ำมันและแก๊สมากที่สุดและกากคาร์บอนน้อยที่สุด [3] รองลงมาคือ 500 และ 400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอัตราการให้ความร้อนพบว่าอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที จะได้ปริมาณน้ำมันและแก๊สสูงสุดในขณะเดียวกันก็ได้กากถ่านคาร์บอนน้อยที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิสูงและอัตราการให้ความร้อนสูงทำให้ได้ปริมาณน้ำมัน แก๊สสูงกว่าอุณหภูมิต่ำและได้กากคาร์บอนน้อยที่สุด [4] ดังรูปที่ 2-4 ส่วนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณไม่แตกต่างกัน

จากการทดสอบยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าได้ปริมาณน้ำมันและก๊าซมากที่สุด จึงใช้สภาวะดังกล่าวไพโรไลซิสขยะประเภทพลาสติกชนิด HDPE และถุงมือยางพารา จะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยน้ำมันและก๊าซเป็นส่วนใหญ่โดยที่มีกากคาร์บอนคงเหลืออยู่ปริมาณน้อย ผลการทดสอบดังรูปที่ 5 ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ได้สูงสุดเกือบ 80% โดยน้ำหนัก ของพลาสติกชนิด HDPE สูงที่สุด รองลงมาคือถุงมือยางพาราและยางในรถจักรยานยนต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงเหลวจากวัสดุเดียวกันกับงานวิจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้ใกล้เคียงกัน

สาเหตุที่ทำให้ พลาสติก ชนิด HDPE มีเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุดเป็นผลมาจากอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำกว่าถุงมือยางพาราและยางในรถจักรยานยนต์ เนื่องจากพลาสติกชนิด HDPE จะมีการยืดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยกว่าถุงมือยางพาราและยางในรถจักรยานยนต์ จึงมีการแตกตัวได้ง่ายส่งผลให้มีปริมาณเชื้อเพลิงเหลวและแก๊สมากที่สุด กากคาร์บอนของยางในรถจักรยานยนต์จะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือถุงมือยางพารา และพลาสติกชนิด HDPE

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ (%น้ำหนัก)

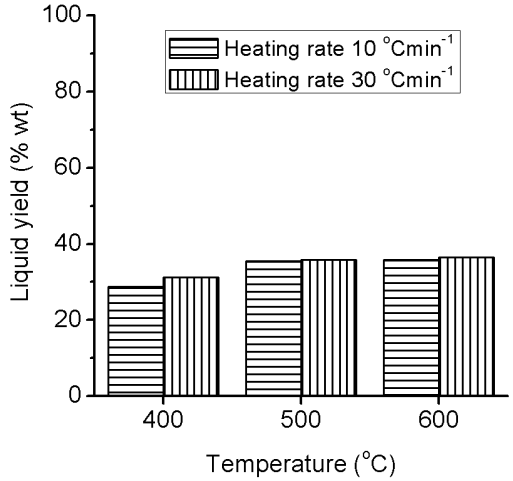
อ้างอิง	วัสดุทดสอบ	ปริมาณน้ำมัน
งานวิจัยนี้	ยางรถ	36
	ถุงพลาสติก	79
	ถุงมือยางพารา	78
[5]	ยางรถยนต์	44
[6]	HDPE, LDPE, PP และ PS	86
[7]	ถุงมือยางพารา	80

ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายของโมเลกุลของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งยางในรถจักรยานยนต์เป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก เมื่อทำการไพโรไลซิสทำให้มีกากคาร์บอนในปริมาณสูงสุด ส่วนถุงมือยางพาราและขยะประเภทพลาสติกชนิด HDPE ย่อยสลายได้ง่ายกว่า จึงมีปริมาณกากคาร์บอนน้อยลงตามลำดับ

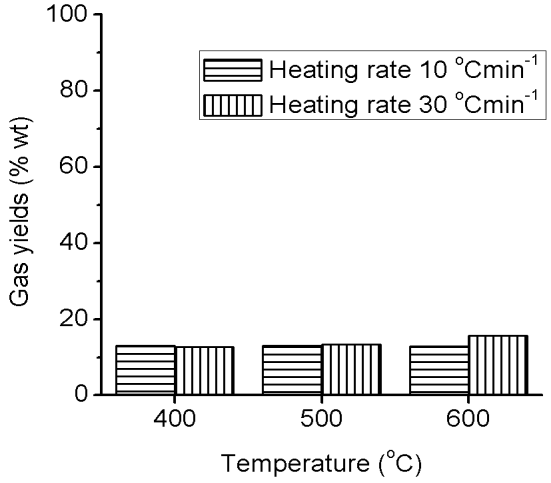
3.2 ลักษณะของเชื้อเพลิงเหลว

โดยเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสต่อ จะมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันเตาของเหลวที่ได้จะมีสีน้ำตาลปนเหลือง [5] ดังรูปที่ 6 ซึ่งหากต้องการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพจะต้องทำการกลั่นและปรับสภาพ

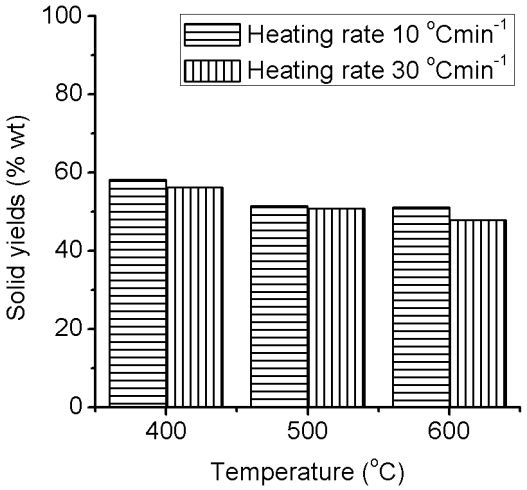
ระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกขนิด HDPE จะเกิดผลิตภัณฑ์ในช่วงแรกเมื่อถึงอุณหภูมิประมาณ 140-150 องศาเซลเซียส ชิ้นพลาสติกจะเริ่มหลอมเหลวเป็นของเหลวใสไม่มีสี เมื่อให้ความร้อนต่อไปของเหลวจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลและเกิดฟองก๊าซขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ของเหลวจะเริ่มเดือดและกลายเป็นไอมากขึ้น และเมื่อไอกลั่นตัวเป็นจะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อน ส่วนที่เหลือในเตาปฏิกรณ์จะเป็นของเหลวสีน้ำตาลและหากวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจะกลายเป็นขี้ผึ้ง [6].



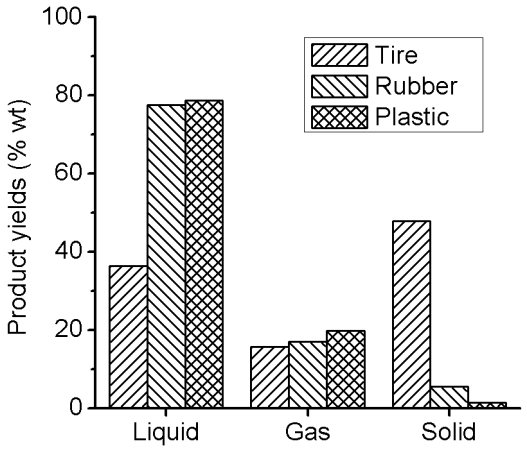
รูปที่ 2 ปริมาณผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวจากยางในรถจักรยานยนต์



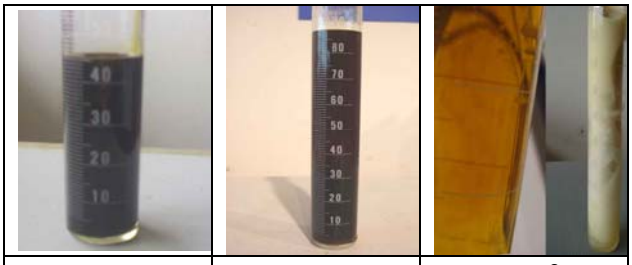
รูปที่ 3 ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สจากยางในรถจักรยานยนต์



รูปที่ 4 ปริมาณกากคาร์บอนจากยางในรถจักรยานยนต์



รูปที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์จากวัสดุต่างชนิด



ยางรถจักรยานยนต์	ถุงมือยางพารา	ถุงพลาสติก (HDPE)

รูปที่ 6 ลักษณะของเชื้อเพลิงเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 30 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3 การทดสอบทางสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) เพื่อทดสอบตัวแปรอัตราการให้ความร้อน อุณหภูมิและความแปรผันร่วมระหว่างอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลดังตารางที่ 2 พบว่าการทดสอบอัตราการให้ความร้อน ได้ค่า F

= 1.907 และค่า Sig. = 0.192 มีค่ามากกว่า α = 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวโดยน้ำหนักที่อัตราการให้ความร้อน 10 และ 30 องศาเซลเซียสต่อนาทีแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนการทดสอบอุณหภูมิได้ ค่า F = 27.198 และค่า Sig. = 0.000 มีค่าน้อยกว่า α = 0.05 แสดงอุณหภูมิต่างกันไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวโดยน้ำหนักที่ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การทดสอบความผันแปรร่วมระหว่างอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิ ค่า F = 0.862 และค่า Sig. = 0.447 มีค่ามากกว่า α = 0.05 แสดงว่าความแปรผันร่วมระหว่างอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิมีผลต่อค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวโดยน้ำหนักที่ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณทางสถิติจากการเปรียบเทียบ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: oil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	151.570[a]	5	30.314	11.606	.000
Intercept	20740.734	1	20740.734	7940.608	.000
heating	4.982	1	4.982	1.907	.192
temp	142.083	2	71.041	27.198	.000
heating * temp	4.506	2	2.253	.862	.447
Error	31.344	12	2.612		
Total	20923.649	18			
Corrected Total	182.914	17			

a. R Squared = .829 (Adjusted R Squared = .757)

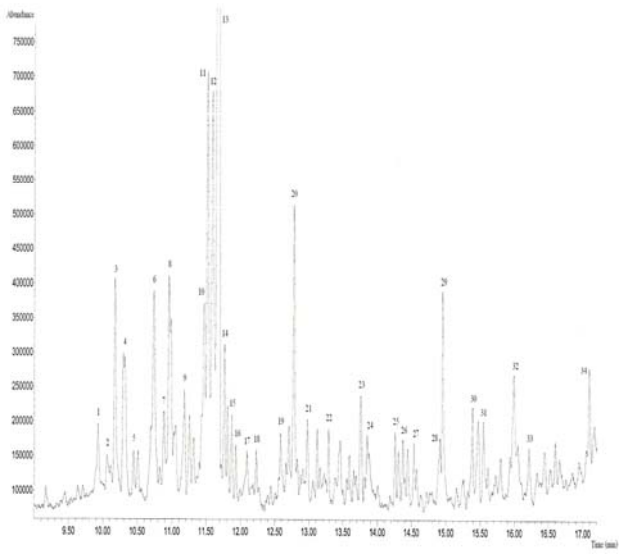
3.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลว

ผลการวิเคราะห์น้ำมันจากการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ ถุงมือยางพารา และขยะประเภทพลาสติกชนิด HDPE จากเครื่องวิเคราะห์แก๊ส GCMS ที่สภาวะอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที โครมาโตรแกรมดังภาพที่ 7-9 พบว่าจากสารประกอบที่พบส่วนใหญ่คือสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์เบนซีน จากเชื้อเพลิงเหลวของวัสดุทั้ง 3 ชนิด เชื้อเพลิงเหลวของยางในรถจักรยานยนต์มีองค์ประกอบอนุพันธ์เบนซิน [8] เช่นเดียวกับถุงมือยางพารา [7] สุดท้ายพลาสติกชนิด HDPE พบว่ามีองค์ประกอบจำพวกเดกเคน (Decane) สารจำพวกอัลเคนตั้งแต่ C_5 ขึ้นไป และสารประกอบพวกวงแหวนเบนซินชนิดต่าง ๆ

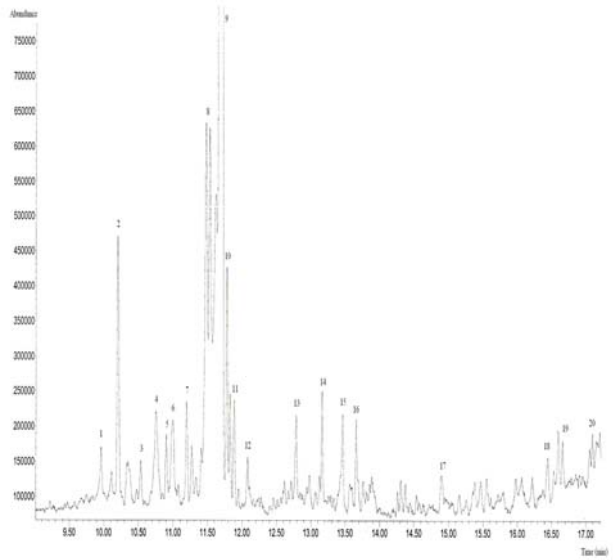
4. สรุป

ในการไพโรไลซิสยางในรถจักรยานยนต์ที่อุณหภูมิ 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 และ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า อุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที ได้เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกชนิด HDPE ถุงมือยางพารา และยางในรถจักรยานยนต์ ได้น้ำมันเท่ากับ 79 78 และ 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

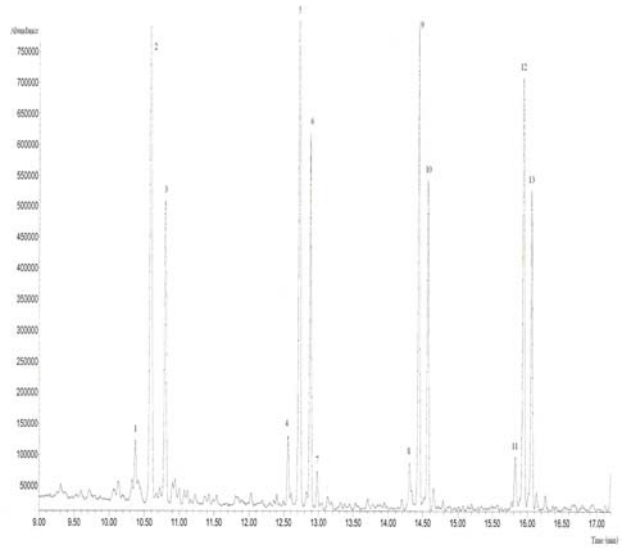
สารประกอบที่พบส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงเหลวคือสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์เบนซีน เชื้อเพลิงเหลวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 7 โครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงเหลวจากยางในรถจักรยานยนต์



รูปที่ 8 โครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงเหลวจากถุงมือยางพารา



รูปที่ 9 โครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติก HDPE

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2551. สถิติอุตสาหกรรม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: http://www.oie.go.th
2. ปิยรัตน์ วีระชาญชัย ชัยยศ ตั้งสถิตกุลชัย และ มาลี ตั้งสถิตกุลชัย. คุณลักษณะของน้ำมันชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. ใน: การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2549.
3. Karaosmanoglu, F., Talk,E. and Gollu, E., “Biofuel production using slow pyrolysis of the straw and stalk of the rapeseed plant”. Fuel Processing Technology 59: 1-12, 1999.
4. Aylon, E., et al, “Emissions from the combustion of gas-phase products at type pyrolysis,” J. Anal. Appl. Pyrolysis79: 210-214, 2006.
5. ศิริรัตน์ จิตการค้า. “การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกและยางโดยกระบวนการไพโรไลซิส” วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ.2548.
6. จุฑามาศ ตันหยงมาศกุล ธนศักดิ์ ฉัตรเฉลิมกิจ และ พฤฒิไกร โล่อำนวย, “การไพโรไลซิสพลาสติกเหลือใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเหลว,” โครงงานวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2540
7. Fuh, M.-R.S. and G.-Y. Wang, “Quantitative analysis of nitrile rubber/chloroprene bypyrolysis/gas Chromatography/mass spectrometry,” Analytica Chimica Acta 371: 89-96, 1998.
8. M. Rofiqual Islam, H. Haniu, M., and Rafiqul Alam Beg, “Liquid fuels and chemicals from pyrolysis of motorcycle tire waste: Product yields, compositions and related properties,” Fuel, 87: 3112-3122, 2008.