SWU Engineering Journal (2013) 8(2), 21-31
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2556

การไพโรไลซิสของพลาสติกรีไซเคิลระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน

Pyrolysis of Mixed Recycle Plastic of Polypropylene and Polyethylene

จุฑามาศ ไชยวงศ์[1] สุธาสินี แดงประดิษฐ[1] สมมาส แก้วล้วน[2] และสิทธินันท์ ท่อแก้ว[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี [2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
E-mail: sittinun@swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะของการไพโรไลซิสและวิเคราะห์สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิส องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวและสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลวของการไพโรไลซิสพลาสติกรีไซเคิล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์หลักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนเป็นของเหลว และเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเป็นของแข็ง การไพโรไลซิสของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิ-เอทิลีนทำที่ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน ของผสมป้อนที่ร้อยละ 0 และ 25 โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 76.65 และ 75.25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 62.63 โดยน้ำหนัก สเปกตรัม FTIR ของผลิตภัณฑ์ของเหลวแสดงพีคของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวอยู่ในช่วง 0.40 - 0.95 เซนติสโตก ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวอยู่ในช่วง 39.48 - 47.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: การไพโรไลซิส พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน

ABSTRACT

The aims of this research were to study the condition of pyrolysis and analyze the fraction of pyrolysis product, liquid product composition and liquid product properties of the recycle plastic pyrolysis. The experimental results showed that mainly pyrolysis product of the recycle polypropylene waste was liquid, and the recycle polyethylene waste was solid. Pyrolysis of recycle plastic mixtures between polypropylene and polyethylene were conducted the polyethylene weight percent of 0, 25, 50, 75 and 100 percent of weight. The feed mixtures at polyethylene weight percent of 0 and 25 percent of weight gave the liquid product at 76.65 and 75.25 percent of weight, respectively. Pyrolysis of plastic waste mixtures between polypropylene and polyethylene at Srinakharinwirot University Ongkharak gave the liquid product at 62.63 percent of weight. The FTIR spectra of liquid products showed peaks of aliphatic hydrocarbon. The viscosity of liquid products were in the range of 0.40 - 0.95 centistokes. The heating value of liquid products was in the range of 39.48 - 47.05 MJ/kg.

Keyword: Pyrolysis, Polypropylene, Polyethylene

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีมากถึง 2.4 ล้านตันต่อปี หรือ 6,000 ตันต่อวัน [1] ถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมากและในอนาคตปริมาณขยะพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจึงมีการใช้กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น และกระบวนการลิควิคแฟคชั่น เพื่อแปรสภาพขยะเหล่านี้ให้เป็นพลังงานและน้ำมัน กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่สามารถเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากกว่ากระบวนการอื่น [2] กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแตกสลายตัวของสารประกอบหรือวัสดุต่างๆ ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400 – 800 องศาเซลเซียส ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกสลายสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามสถานะของผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ก๊าซ ผลิตภัณฑ์ของเหลว และผลิตภัณฑ์ของแข็ง อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ อัตราเร็วในการให้ความร้อน เป็นต้น

ในงานวิจัยของ Kiran และคณะ [3] ได้ทำการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมระหว่างชนิดพอลิเอทิลีนและชนิดพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 0:100 20:80 50:50 80:20 และ 100:0 เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 5 กรัม พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักขยะพลาสติกชนิดพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนต่อพอลิสไตรีนเป็น 0 : 100 ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 88.80 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้Achilias และคณะ [4] ได้ทำการไพโรไลซิสขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและความหนาแน่นสูงและชนิดพอลิโพรพิลีน พบว่าขยะพลาสติกชนิดพอลิ- โพรพิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลัก ขณะที่ขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเป็นหลัก เนื่องจากขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนสามารถแตกตัวได้ดีกว่าขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lee และ Shin [5] ได้วิเคราะห์การแตกตัวของพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีน ซึ่งพบว่าพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนแตกตัวที่ช่วงอุณหภูมิ 380 - 480 และ 400 - 500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การไพโรไลซิสขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและชนิดพอลิโพรพิลีนให้ผลิตภัณฑ์เป็นพาราฟินและโอเลฟินที่ร้อยละ 44.20 และ 44.70 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ [6] นอกจากนี้ยังพบว่าการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ไขที่ได้มีปริมาณลดลง ขณะที่ผลิตภัณฑ์แก๊สมีปริมาณเพิ่มขึ้น [7]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนเพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการไพโรไลซิสและศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ พร้อมกับทดสอบการไพโรไลซิสขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่เก็บภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนซื้อจากบริษัทไทยมังกรพลาสติก อุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย และขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิ-เอทิลีนเป็นขยะที่คัดแยกภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

2.2 การไพโรไลซิส

การไพโรไลซิสทำในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส แสดงดังรูปที่ 1 โดยนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสจำนวน 2 - 5 กิโลกรัม ส่วนขยะพลาสติกที่เก็บได้ภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ใช้ 4 กิโลกรัม หลังจากนั้นปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสจุดไฟเพื่อให้เกิดการไพโรไลซิส ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกตัวของพอลิเมอร์ โดยไอที่ระเหยขึ้นมาจะถูกควบแน่นในส่วนควบแน่นที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการให้ความร้อนไม่มีการควบคุมและเวลารีเทนชัน (Retention time) วัดจากเวลาที่อุณหภูมิคงที่ ณ ช่วงเวลานั้น ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวที่ควบแน่นได้ตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส อุณหภูมิการไพโรไลซิสวัดภายในก้นถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

2.3 วิธีการวิเคราะห์

จุดวาบไฟวิเคราะห์ด้วยวิธีถ้วยปิดเพนสกี-มาร์เทนส์ (Pensky Martens Closed Cup, PMcc) ตามมาตรฐาน ASTM D-93 ความหนืดวิเคราะห์ด้วยหลอดวัดความหนืด (Viscometer) ตามมาตรฐาน ASTM D445 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ รุ่น BOMB CALORI PLAIN 230/5 และหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น Spectrum One ยี่ห้อ Perkin Elmer ทำการวิเคราะห์ที่ช่วงเลขคลื่น 400 - 4,000 ต่อเซนติเมตร ปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซคิดจากน้ำหนักวัตถุดิบก่อนการไพโรไลซิสลบกับน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ของเหลวและของแข็ง

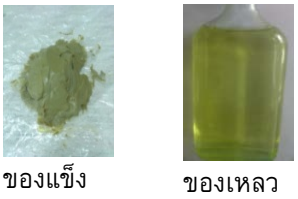
3. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลของน้ำหนักเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิ-เอทิลีนแสดงดังรูปที่ 2 รูปที่ 2 พบว่าการไพโรไลซิส

รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสประกอบด้วย (1) ทางป้อน (2) ส่วนไพโรไลซิส (3) ช่องระบายแก๊ส (4) ส่วนควบแน่น (5) จุดเก็บผลิตภัณฑ์ (6) เตาแก๊ส (7) เครื่องวัดอุณหภูมิ และ (8) ถังแก๊ส

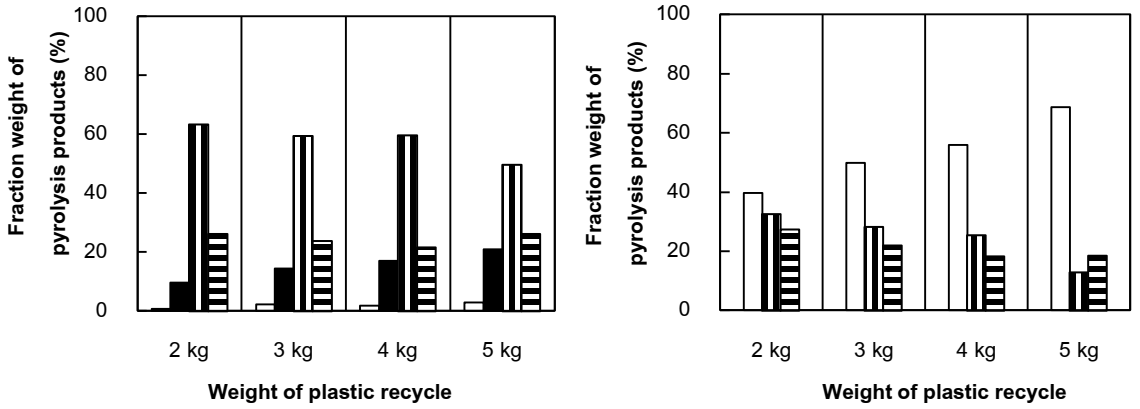
(ก)



(ข)

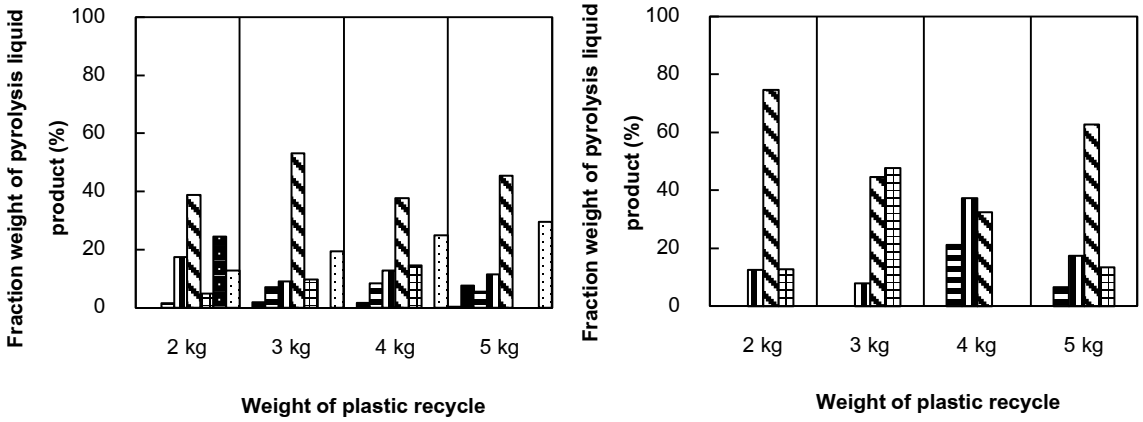
รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสของ (ก) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีน และ (ข) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีน

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนได้ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ ของแข็ง ของเหลวและของเหลวก้นถัง ขณะที่การไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ของแข็งและของเหลว ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนมีลักษณะนิ่มและมีสีดำ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนมีลักษณะนิ่มและมีสีเหลืองขุ่น ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะสีเหลืองใสเหมือนกัน และผลิตภัณฑ์ของเหลวก้นถังที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพร-พิลีนมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มและหนืด



(ก) (ข)

รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิส (ก) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีน และ (ข) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทีนที่น้ำหนักตัวอย่างต่างๆ เมื่อผลิตภัณฑ์เป็นของแข็ง (□) ของเหลวกันถัง (■) ของเหลว (▥) และแก๊ส (▤)



(ก) (ข)

รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (ก) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีน และ (ข) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ ตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 171 - 200 (□) 201 - 230 (■) 231 - 260 (▤) 261 - 290 (▥) 291 - 320 (▨) 321 - 350 (▦) 351 - 380 (▩) องศาเซลเซียส และของเหลวกันถัง (⬚)

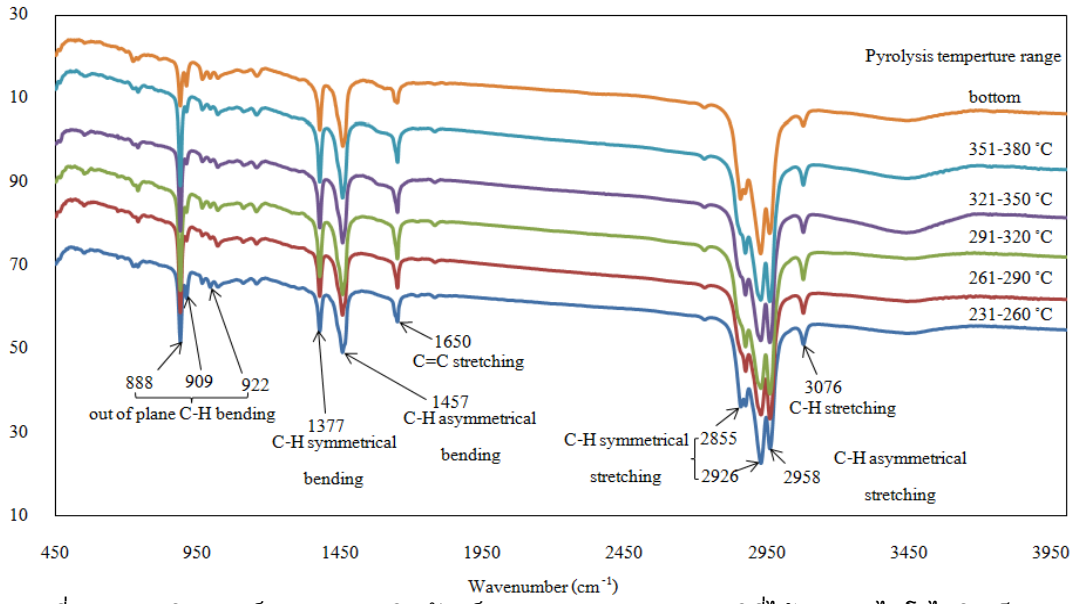
สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 พบว่าการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิ-โพรพิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลัก ขณะที่การไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างในการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนไม่มีผลต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ แต่การไพโรไลซิสเม็ดเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเมื่อเพิ่มน้ำหนัก พบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวและผลิตภัณฑ์แก๊สลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Achilias และคณะ [4] ได้ทำ

การไพโรไลซิสขยะพลาสติก พบว่าขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลัก ขณะที่ขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเป็นหลัก เนื่องจากขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนแตกตัวได้ดีกว่าขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน

รูปที่ 4 แสดงสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ จากรูปที่ 4 พบว่าการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้ง 2 ชนิด ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส ในการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างจาก 2 ถึง 3 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างเป็น 4 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณลดลง และเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างเป็น 5 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างจาก 2 ถึง 4 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณลดลง และเมื่อเพิ่มน้ำหนักตัวอย่างเป็น 5 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ของเหลวในช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 291 - 320 องศาเซลเซียส มีปริมาณเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ผล FTIR ของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 2 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 พบว่าพีคที่เลขคลื่น 3076 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Stretching พีคที่เลขคลื่น 2958 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Asymmetrical Stretching ($-CH_3$) พีคที่เลขคลื่น 2926 และ 2855 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Symmetrical Stretching ($-CH_2$) พีคที่เลขคลื่น 1650 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C=C Stretching พีคที่เลขคลื่น 1457 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Asymmetrical Bending ($-CH_2$) พีคที่เลขคลื่น 1377 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Symmetrical Bending ($-CH_3$) พีคที่เลขคลื่น 992 909 และ 888 ต่อเซนติเมตร เป็นพีคการดูดกลืนของ C-H Bending นอกระนาบ ซึ่งพีคที่เลขคลื่นดังกล่าวทั้งหมดแสดงถึงกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลคีนและแอลเคน ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนที่น้ำหนักอื่นและผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนทุกน้ำหนักได้พีคที่เลขคลื่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lei และคณะ [8] ที่ได้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและชนิดพอลิโพรพิลีนด้วยการวิเคราะห์ผล FTIR พบว่าตัวอย่างมีพีคที่เลขคลื่นเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์จำพวกแอลคีนและแอลเคน [9]

ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้ง 2 ชนิด ทุกน้ำหนักมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นโดยมีค่าความร้อนอยู่



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ FTIR ของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 2 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม)	ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)						
		170 - 200 (องศาเซลเซียส)	201 - 230 (องศาเซลเซียส)	231 - 260 (องศาเซลเซียส)	261 - 290 (องศาเซลเซียส)	291 - 320 (องศาเซลเซียส)	321 - 350 (องศาเซลเซียส)	351 - 380 (องศาเซลเซียส)
PP[a]	2	*ไม่มี*	*ไม่มี*	39.63	44.69	44.83	46.27	46.97
	3	*ไม่มี*	40.30	40.97	44.51	44.70	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	44.53	44.73	46.76	*ไม่มี*
	5	40.58	41.61	41.82	43.73	44.88	*ไม่มี*	*ไม่มี*
PE[b]	2	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	44.72	44.94	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	3	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	44.41	44.69	46.05	*ไม่มี*
	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	39.48	43.74	44.82	46.43	*ไม่มี*
	5	*ไม่มี*	*ไม่มี*	40.89	44.19	45.15	*ไม่มี*	*ไม่มี*
3PP : 1PE[c]	4	*ไม่มี*	39.79	41.09	44.96	45.10	46.61	47.05
1PP : 1PE[c]	4	*ไม่มี*	41.22	40.99	44.60	45.51	46.76	46.52
1PP : 3PE[c]	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	44.35	45.03	46.87	*ไม่มี*
waste[d]	4	40.83	41.39	41.25	44.84	44.92	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	4	40.26	41.68	41.61	44.03	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*

หมายเหตุ a หมายถึง เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีน

b หมายถึง เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีน

c หมายถึง เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนผสมกับเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 3 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 3

d หมายถึง ขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

ไม่มี หมายถึง ไม่มีผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

ตารางที่ 2 ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักตัวอย่าง (กิโลกรัม)	ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส (เซนติสโตก)						
		170 - 200 (องศาเซลเซียส)	201 - 230 (องศาเซลเซียส)	231 - 260 (องศาเซลเซียส)	261 - 290 (องศาเซลเซียส)	291 - 320 (องศาเซลเซียส)	321 - 350 (องศาเซลเซียส)	351 - 380 (องศาเซลเซียส)
PP	2	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.50	0.51	0.68	0.74	0.74
	3	*ไม่มี*	0.49	0.50	0.51	0.52	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.58	0.67	0.72	*ไม่มี*
	5	0.47	0.47	0.48	0.50	0.50	0.51	*ไม่มี*
PE	2	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.51	0.54	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	3	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.51	0.54	0.73	*ไม่มี*
	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.48	0.48	0.58	0.77	*ไม่มี*
	5	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.51	0.52	0.53	*ไม่มี*	*ไม่มี*
3PP : 1PE	4	*ไม่มี*	0.46	0.45	0.48	0.52	*ไม่มี*	*ไม่มี*
1PP : 1PE	4	*ไม่มี*	0.40	0.47	0.52	0.53	0.59	0.73
1PP : 3PE	4	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*	0.47	0.53	0.72	*ไม่มี*
waste	4	0.42	0.45	0.45	0.45	0.49	*ไม่มี*	*ไม่มี*
	4	0.46	0.50	0.46	0.45	*ไม่มี*	*ไม่มี*	*ไม่มี*

หมายเหตุ *ไม่มี* หมายถึง ไม่มีผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

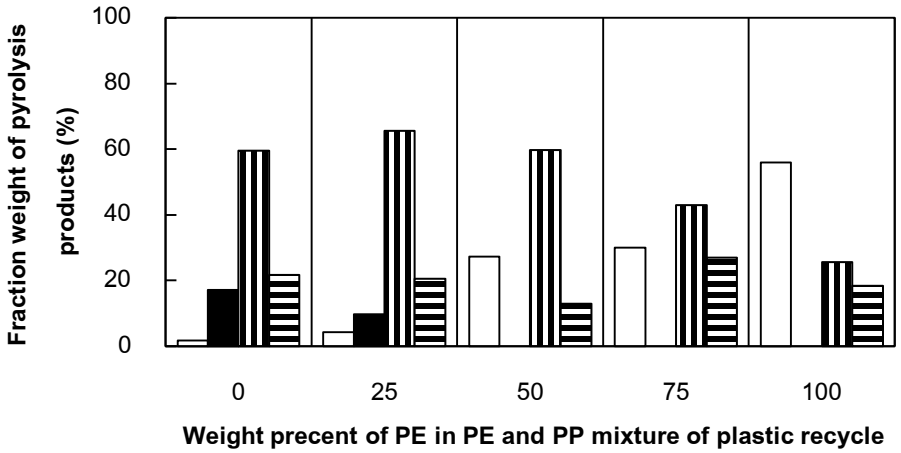
ในช่วง 39.48 - 46.97 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arabiourrutia และคณะ [7] ได้ทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 450 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่ากรณีการไพโรไลซิสพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไขซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 35.78 38.53 และ 44.81 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสายโซ่โมเลกุลที่ยาวขึ้นจึงทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 จากตารางที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้ง 2 ชนิด ทุกน้ำหนักมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 0.47 - 0.74 เซนติสโตก นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นโมเลกุลที่มีสายโซ่ยาวขึ้น ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้ง 2 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความหนืดมาตรฐานของน้ำมันเบนซิน 95 คือช่วง 0.40 - 0.80 เซนติสโตก

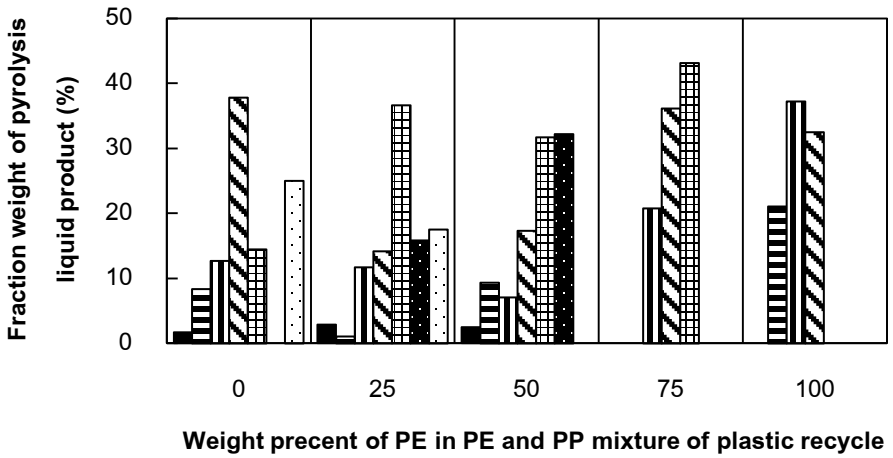
จุดวาบไฟของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากเครื่องมือวัดจุดวาบไฟสามารถวัดได้ต่ำสุดที่ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับจุดวาบไฟของน้ำมันเบนซิน 95 ที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสารประกอบแอลเคนที่มีคาร์บอน 5 - 7 อะตอม [10]

3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิ-ลีนและชนิดพอลิเอทิลีนต่อการไพโรไลซิส

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ด



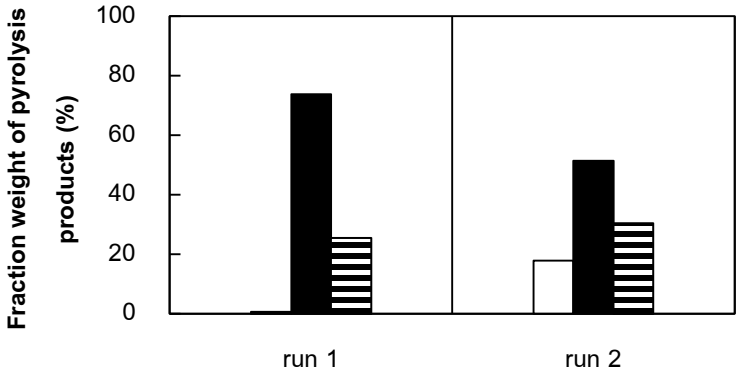
รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนต่างๆ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม เมื่อผลิตภัณฑ์เป็นของแข็ง (☐) ของเหลวก้นถัง (■) ของเหลว (▥) และแก๊ส (▤)



รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนต่างๆ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม 201 - 230 (■) 231 - 260 (▤) 261 - 290 (▥) 291 - 320 (▨) 321 - 350 (▦) 351 - 380 (▩) องศาเซลเซียส และ ของเหลวก้นถัง (⬚)

พลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 6 จากรูปที่ 6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50 พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าคงที่และเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นมากว่าร้อยละ 50 พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น และปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สไม่เปลี่ยนแปลง

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่



รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม เมื่อสัดส่วนของแข็ง (☐) ของเหลว (■) และแก๊ส (☰)

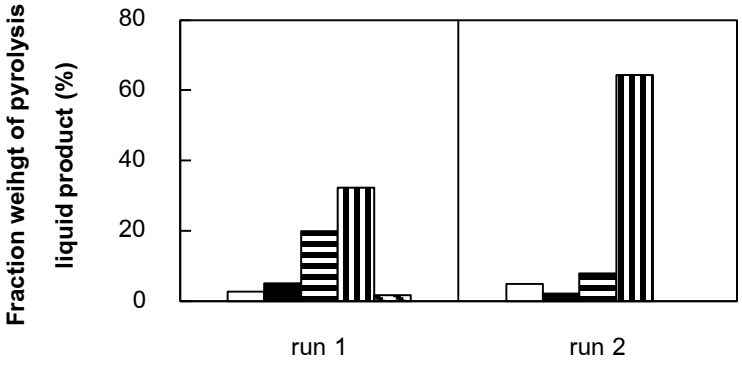
อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิ เอทิลีนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7 จากรูปที่ 7 พบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเป็นร้อยละ 0 และ 25 จะมีผลิตภัณฑ์ของเหลวก้นถัง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำลง

ผลการวิเคราะห์ FTIR ของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีน พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ทั้งหมดเกิดพีคที่เลขคลื่นเดียวกันซึ่งเป็นพีคที่เลขคลื่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 2 กิโลกรัม (รูปที่ 5)

ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่แสดงดังตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 พบว่าค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 39.63 - 47.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.40 - 0.74 เซนติสโตก (ตารางที่ 2) จุดวาบไฟของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

3.3 ผลของการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 8 จากรูปที่ 8 พบว่าการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ครั้งที่ 1 ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าครั้งที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากในขยะมีพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนมากกว่าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน สำหรับสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการไพไรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 9 จากรูปที่ 9 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ทั้ง 2 ครั้ง ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ช่วง



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกผสมภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ เมื่อใช้ตัวอย่างหนัก 4 กิโลกรัม ตามช่วงอุณหภูมิการไพโรไลซิส 171 - 200 (□) 201 - 230 (■) 231 - 260 (▤) 261 - 290 (▥) และ 291 - 320 (▨) องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของการไพโลไลซิสตั้งแต่ 170 - 320 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงอุณหภูมิ 261 - 290 เป็นช่วงอุณหภูมิที่ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

การไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนที่น้ำหนักต่างๆ พบว่าเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิโพรพิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลัก ขณะที่เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งเป็นหลัก การไพโรไลซิสเม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมระหว่างชนิดพอลิโพรพิลีนและชนิดพอลิเอทิลีนพบว่าควรไพโรไลซิสที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดพอลิเอทิลีนต่ำกว่าร้อยละ 25 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นหลัก เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสไปวิเคราะห์ FTIR พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังพบว่าขยะพลาสติกที่เก็บได้ภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการไพโลไลซิสได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ให้ทุนสนับสนุนโครงงานทางวิศวกรรม เนื่องในโอกาสครบรอบ 20 ปี (เลขที่ 0519.8.02/111)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2550, สิงหาคม. 6). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2550,* [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : www.pcd.go.th/count/mgtdl.cfm?FileName=Report50.pdf

[2] ศิริรัตน์ จิตการค้า. *จากขยะสู่น้ำมัน : เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแลสิ่งแวดล้อม.*พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2551).

[3] N. Kiran, E.C. Ekinci and E. Snape, “Recyling of plastic wastes via pyrolysis,” *Resources Conservation and Recycling*, vol. 35, pp. 273-283, 2000.

[4] D.S. Achilias, E. Antonakou, C. Roupakias, P. Megalokonomos and A. Lappas, “Recycling techniques of polyolefins from plastic wastes,” *Global Nest Journal*, vol. 10, pp. 114-122, 2008.

[5] K.-H. Lee and D.-H. Shin, “Characteristics of liquid product from the pyrolysis of waste plastic mixture at low and high temperatures:

Influence of lapse time of reaction," *Waste Management,* vol. 27, pp. 168-176, 2007.

[6] A. Demirbas, "Pryrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,* vol. 17, pp. 97-102, 2004.

[7] M. Arabiourrutia, G. Elordi, G. Lopez, E. Borsella, J. Bilbao and M. Olazar, "Characterization of the waxes obtained by the pyrolysis of polyolefin plastics in a conical spouted bed reactor," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,* vol. 94, pp. 230-237, 2012.

[8] Z. Lei, M. Yu, C. Chia-Lung, Amy and W. Jing-Yuan, "Pyrolysis for waste plastic recycling," *R3C-IWWG-NEA International Symposium*. 14-15 November 2011. pp. 14-15, (2011).

[9] ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์. (2556, เมษายน. 23). *อินฟาเรด สเปคโตรสโคปี*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf

[10] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2556, พฤษภาคม. 11). *เคมีอินทรีย์*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B9%8C