



การไพโรไลซิสขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเหนียวนำความร้อน

กิตติภณ พงศ์สกุล¹ ปรารงค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ชร² และ พงศกร คชาพงศ์กุล^{1*}

¹ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

² ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

วันที่รับบทความ: 5 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 11 มกราคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 31 มกราคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 เมษายน 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกด้วยหลักการเหนียวนำความร้อน โดยการนำขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (PE) ที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส จากการทดสอบการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (PE) ที่ผ่านการฝังกลบ จำนวน 1 กิโลกรัม พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้น้ำมันมากที่สุดคือ 27.6 % ซึ่งมีค่าความร้อนสูงที่สุดถึง 41.33 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และได้ปริมาณน้ำมันน้อยลงตามอุณหภูมิต่างๆ ตามลำดับ และที่ได้น้ำมันน้อยสุดคือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันเพียง 18.2 % ส่วนการเทียบจากพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณขยะพลาสติก (กิโลวัตต์ชั่วโมง/กิโลกรัม) มีค่าอยู่ในช่วง 9.60 -13.36 kWh/kg ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานสูงที่สุดในการสลายขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซ CO₂ ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้พบว่า ที่มีปริมาณก๊าซ CO₂ (%โดยปริมาตร) 0.21 % อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซ CO₂ 0.25 % ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และมีปริมาณก๊าซ CO₂ 0.20 % และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณการเกิดถ่านชาร์ตต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ ที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส มีปริมาณผงถ่านชาร์ตเฉลี่ยอยู่ที่ 29 % ส่วนที่มากที่สุดที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้ผงถ่านชาร์ต 39 % ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิในการทำการกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ผลิตน้ำมันมีค่าความร้อนสูงที่สุดเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ: การเหนียวนำทางความร้อน; กระบวนการไพโรไลซิส; ขยะพลาสติก

Pyrolysis of Plastic Waste from Landfills Using Induction-Heating Reactor

KittiphonPhongsaku¹, Prangtip Rittichot Kaewpengkrow² and Pongsakorn Kachapongkun^{1*}

¹ Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

² Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

* Corresponding author, E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

Received: 5 August 2024; Revised: 11 January 2025; Accepted: 31 January 2025

Online Published: 22 April 2025

Abstract: This research studies the pyrolysis process to manage plastic waste by induction heating. The coil is wrapped around the insulated material to generate heat for the pyrolysis process to manage polyethylene (PE) plastic waste at a temperature of 400–600 °C. The result suggested that pyrolysis of plastic waste from landfills included polyethylene (PE), the amount of 1 kilogram was performed. It was found that the most pyrolysis oil was obtained at a temperature of 600 °C, which was 27.6 % to have the highest heat value of 41.33 MJ/kg, and the amount of oil was reduced according to various temperatures. The least amount of oil was obtained at a temperature of 400 °C only 18.2 % wt. In the comparison of the energy consumption to amount of plastic waste(kWh/Kg), it was in the range of 9.60-13.36 kWh/kg. It consumes the highest energy to degradation of plastic waste into oil at 600°C. It consumes the highest energy to break down plastic waste into oil. In addition, comparing the amount of CO₂ gas produced from the pyrolysis process, it was found that a quantity of CO₂ gas (% by volume) of 0.21% obtained from 400 °C, at a temperature of 500 °C there was a quantity of CO₂ gas of 0.25% , and at a temperature of 600 °C there was CO₂ gas of 0.20% . As for the amount of charcoal produced per amount of oil obtained, at a temperature of 400–600 °C, the average of amount for charcoal powder was 29% . The highest amount was at 400 °C, with 39% of char product. The results showed that the temperature for plastic waste pyrolysis at 600 °C produced the highest calorific value which is suitable for use as an alternative fuel in the industrial sector

Keywords: Induction heat; Pyrolysis process; Plastic waste



1. บทนำ

ประเทศไทยมีการบริโภคพลาสติกเท่ากับ 80.02 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.22 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) [1] เป็นการใช้พลาสติกเพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์ เท่ากับ 35.32 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.10 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) ขยะพลาสติกเกิดขึ้นภายหลังการบริโภค เท่ากับ 29.24 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.08 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) [2] มีการนำขยะ พลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณ 5.91 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.02 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) ส่วนที่เหลือตกค้างและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 22.88 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.06 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) และหลุมฝังกลบ 0.45 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (0.001 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน) ซึ่งการบริโภคพลาสติกรวมภายในประเทศจำนวน 5.281 ล้านตัน สัดส่วนการใช้พลาสติกเพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging) มีอยู่ประมาณ 2.331 ล้านตัน (41.4 %) ซึ่งเป็นการใช้งานระยะสั้นหรือใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-Use Plastic: SUP) ซึ่งก่อให้เกิด ขยะมากที่สุด ได้แก่ ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว หลอดพลาสติก โดยมีขยะพลาสติกเกิดขึ้นภายหลัง การบริโภคประมาณ 1.9 ล้านตัน มีการนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณ 0.39 ล้านตัน (ร้อยละ 20.21) ส่วนที่เหลือ ตกค้างและก่อให้เกิดปัญหาล้างแวล้อม 1.51 ล้านตัน (ร้อยละ 78.24) และหลุมฝังกลบ 0.03 ล้านตัน (ร้อยละ 1.55) ดังนั้นกรมควบคุมมลพิษจึงมีแนวทางการจัดการขยะพลาสติกของไทย พ.ศ. 2561-2573 [1] ถูกนำเสนอเพื่อเป็นเครื่องมือเชิงนโยบายของภาครัฐที่ต้องการกำหนดทิศทางการบริหารจัดการขยะพลาสติกภายในประเทศ โดยวางตำแหน่งทางยุทธศาสตร์ที่การจัดการวัสดุที่จะกลายเป็นขยะพลาสติกก่อนและ

ภายหลังการบริโภคและการผลักดันให้เกิดการใช้ประโยชน์ขยะพลาสติกในห่วงโซ่อุปทาน

การจัดการขยะพลาสติกในประเทศไทยที่นิยมกันมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี [2] ได้แก่ 1. การฝังกลบ เป็นวิธีที่นำมาใช้กับพลาสติกที่ปนเปื้อน ไม่คุ้มกับต้นทุนในการจัดเก็บ ล้างทำความสะอาด อาทิ ถุงร้อน ถุงหูหิ้ว ฯลฯ โดยจะนำไปฝังกลบตามสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดการ และถุงพลาสติกเหล่านี้ก็ย่อยสลายได้ยาก 2. การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการรีไซเคิล และการใช้ซ้ำ แต่เนื่องจากมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งต้องแยกพลาสติกที่ปนเปื้อนออกจากกัน ทำให้มีขยะพลาสติกเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกนำกลับมารีไซเคิล 3. การนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง Refuse Derived Fuel (RDF) เนื่องจากขยะพลาสติกเป็นขยะที่ให้ค่าความร้อนสูง ซึ่งในประเทศไทยมีการนำ RDF มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่ และ 4. การเผา ซึ่งในประเทศไทยมีระบบเตาเผา 2 รูปแบบคือ เตาเผาผลิตพลังงาน และเตาเผาทิ้ง ซึ่งการเผาที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้เกิดสารพิษในชั้นบรรยากาศจากส่วนประกอบของพลาสติก และอาจนำไปสู่การปนเปื้อนลงแหล่งน้ำ ดิน รวมไปถึงปนเปื้อนในระบบห่วงโซ่อาหาร

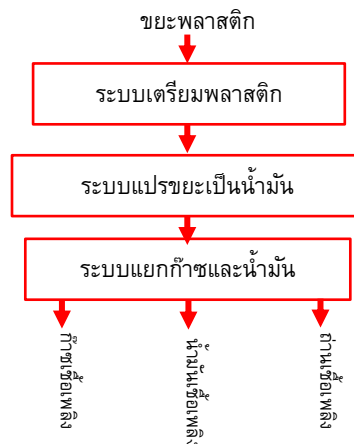
การกำจัดขยะพลาสติกด้วยวิธีการฝังกลบหรือการนำไปเผาทำลายแล้วจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้โดยตรงต่อระบบนิเวศโดยทั่วไป ดังนั้น ในการแปรรูปขยะพลาสติกให้กลายเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการพืชีแอล



(PGL Process) โดยย่อมาจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการคือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process) และกระบวนการลิกวิแฟรชัน (Liquefaction Process) โดยทั้ง 3 กระบวนการมีรูปแบบของหลักการที่คล้ายคลึงกันก็คือ เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่พลาสติก เพื่อเป็นการย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติก นั้นให้มีขนาดเล็กลง โดยปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตนั้นจะมีรายละเอียดของกระบวนการที่มีสภาวะต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป [3-4]

เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเป็น กระบวนการหลอมละลายพลาสติกด้วยความร้อน ประมาณ 400-550 องศาเซลเซียส [3] ให้กลายเป็น ของเหลวและเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สในถังปฏิกรณ์ ซึ่ง ไม่ใช้ออกซิเจน เมื่อแก๊สถูกทำให้เย็นลงพร้อมปรับ สภาพของแก๊สแล้ว จะถูกส่งไปควบแน่นด้วยระบบ หล่อเย็นจนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนแก๊สที่ไม่ถูกกลั่น ตัวจะถูกนำไปให้ความร้อนแก่หัวเผาแก๊สเพื่อให้ความ ร้อนแก่ตัวเอง [4] สำหรับเตาที่เกิดขึ้นด้านล่างของถัง ปฏิกรณ์ สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในห้องเผา ได้อีกครั้งแสดงในรูปที่ 1 [5]

หลักการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกของเครื่องนี้ ใช้เทคโนโลยีไพโรไลซิส (pyrolysis) [6] ซึ่งเป็นการให้ ความร้อนกับขยะพลาสติกจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซ ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในสภาวะปราศจาก ออกซิเจนโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน เนื่องจากออกซิเจนจะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้บางส่วน ส่งผลให้เกิด การสูญเสียก๊าซบางส่วนในกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่ง เป็นการลดผลผลิตน้ำมันสังเคราะห์ จากนั้นก๊าซที่ได้จะ ถูกนำมาควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ก๊าซควบแน่น



รูปที่ 1 กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก

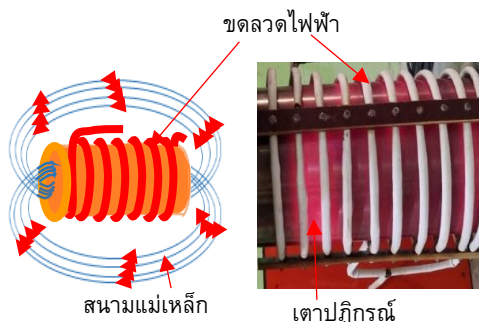
กลายเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวหรือน้ำมัน และการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalysts) ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน โดยทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้น 1-2 % [6]

กระบวนการไพโรไลซิสด้วยการเหนี่ยวนำความร้อน เป็นกระบวนการให้ความร้อนวัตถุดิบไฟฟ้า (โดย ปกติจะเป็นโลหะ) โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ กระแสไหลวน (หรือที่เรียกว่ากระแส Foucault) [7] ถูก สร้างขึ้นภายในโลหะและความต้านทานนำไปสู่ความ ร้อนของโลหะ การเหนี่ยวนำความร้อน เป็นรูปแบบของ เครื่องทำความร้อนแบบไม่สัมผัส สำหรับวัสดุนำไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดเหนี่ยวนำเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันจะถูกสร้างขึ้นรอบ ขดลวดหมุนเวียนในปัจจุบัน (เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า ไหลวนในปัจจุบัน) ถูกสร้างขึ้นในชั้นงาน (วัสดุนำ ไฟฟ้า) ความร้อน ไหลกับความไวของวัสดุ เครื่องทำ ความร้อนเหนี่ยวนำ ประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ (หรือแม่เหล็กไฟฟ้า) ซึ่งผ่านไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ สูง (AC) จะถูกส่งผ่าน ความร้อนอาจถูกสร้างขึ้นโดย



การสูญเสียแม่เหล็ก hysteresis ในวัสดุที่มีการซึมผ่านสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญ ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุประเภทของวัสดุ

การเชื่อมต่อ (ระหว่างขดลวดงานและวัตถุที่ต้องให้ความร้อน) กระบวนการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (รูปที่ 2) เป็นนวัตกรรมใหม่ในการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการให้ความร้อนแบบขดลวดความร้อน แบบใช้แก๊ส และรูปแบบอื่นๆ [8] การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำอาศัยหลักการเหนี่ยวนำโดยการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไปเกี่ยวคล้องกับวัสดุที่เป็นสาร Ferromagnetic ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในวัสดุที่เป็นเส้นทางปิด และเกิดความร้อนขึ้นในที่สุด ปัจจุบันหลักการนี้ใช้ในการให้ความร้อนอุปกรณ์เช่น เตามแม่เหล็กไฟฟ้า กาต้มน้ำ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องชุบแข็ง เครื่องหลอมพลาสติกและเครื่องหลอมแก้ว เป็นต้น หลักการของ Induction Heat [9] คือ การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำ เมื่อมีวัตถุโลหะจำพวกเหล็ก ที่อยู่ภายในสนามเหนี่ยวนำนั้น โมเลกุลก็จะเกิดการสั่นสะเทือนจนเกิดความร้อนสูง ความร้อนที่เกิด จึงเกิดขึ้นโดยตรง หากนำมาประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อหลอมพลาสติก ความสูญเสียจึงมีน้อยกว่า วิธีการให้ความร้อนจากขดลวดความร้อนแบบเดิมๆ ซึ่งจะต้องส่งผ่านความร้อนจากตัวขดลวดผ่านเข้าไปภายในท่อหลอมพลาสติก โดยอาศัยหลักการพาผ่านอากาศ และการนำความร้อนผ่านเนื้อเหล็กภายนอกสู่ภายใน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานส่วนนี้ไป นวัตกรรมการให้ความร้อนระบบ Induction Heat [10] จะเป็นการทำให้ตัวท่อหลอมพลาสติกเกิดความร้อนขึ้นโดยตรง เสมือนเป็น



รูปที่ 2 หลักการทำงานของ
การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ

ฮีตเตอร์ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และ ลดการสูญเสียพลังงานอย่างยิ่ง การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำมีการใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมโลหะ โดยสามารถออกแบบสำหรับการให้ความร้อนในลักษณะต่างๆ ได้แก่ การให้ความร้อนแก่ชิ้นโลหะทั้งชิ้น การให้ความร้อนเฉพาะผิวโลหะ และการหลอมโลหะ ซึ่งทำให้สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ

ดังนั้นผู้วิจัยได้ให้ความสนใจในการกำจัดขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทาลีน (PE) ที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสโดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเหนี่ยวนำความร้อนด้วยไฟฟ้า [10] แทนการไพโรไลซิสแบบที่มีการใช้วิธีการให้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง เพื่อลดมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้ดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการไพโรไลซิสโดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเหนี่ยวนำความร้อนด้วยไฟฟ้านี้



จะลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งกระบวนการไพโรไลซิสนี้จะมีระบบของกระบวนการควบแน่นก๊าซร้อนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ให้กลายเป็นของเหลวด้วยกระบวนการควบแน่นแบบสัมผัส (Contact Condenser) เนื่องจากการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเหนี่ยวนำความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิได้จะคงที่มากกว่าการใช้แบบการเผาไหม้ รวมถึงกระบวนการควบแน่นแบบสัมผัสได้อีกด้วย โดยทั่วไปกระบวนการไพโรไลซิส จะใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในการผลิต ซึ่งจะแตกต่างจากการวิจัยนี้ เนื่องจากการให้ความร้อนจะเป็นการใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ โดยการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในการผลิต และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์คือออกแบบกระบวนการนำขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (PE) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเหนี่ยวนำความร้อนทางไฟฟ้า เพื่อผลิตเป็นน้ำมันด้วยวิธีการไพโรไลซิส

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องมือและวิธีการวิจัย

2.1.1 วัตถุดิบ

การศึกษาเพื่อดำเนินการวิจัยนี้ได้นำขยะพลาสติกมาจากหลุมฝังกลบที่มีอายุการฝังกลบตั้งแต่ 3-5 ปี จำพวกพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ที่ผ่านกระบวนการคัดแยกโลหะหนัก ล้างทำความสะอาด แล้วตากแดดจนมีความชื้น 0-5 % ซึ่งได้นำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) โดยผ่านเทคโนโลยีการคัดแยกและผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) จากศูนย์กำจัดขยะ อบจ. นนทบุรี ดังแสดงใน

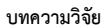


รูปที่ 3 ขยะพลาสติกที่ผ่านกระบวนการผลิต

รูปที่ 3 เพื่อทดลองการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ด้วยโดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเหนี่ยวนำความร้อนทางไฟฟ้า เชื้อเพลิงขยะ RDF จากศูนย์กำจัดขยะ อบจ. นนทบุรี เมื่อนำขยะพลาสติกที่ผ่านกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ RDF แล้วนำมาแบ่งเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยมีขนาดความกว้างและความยาวประมาณ 10×10 เซนติเมตร จำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง เพื่อนำมาเข้าเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเหนี่ยวนำความร้อน ของทุกรอบการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้จะนำการทดลองในแต่ละกรณี จำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาความแน่นอนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

2.1.2 การออกแบบและสร้างเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

ลักษณะของเตาหลอมขยะพลาสติกแบบไพโรไลซิสด้วยเทคนิคการใช้เตาเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้สำหรับงานวิจัย ออกแบบสำหรับการทดสอบอุปกรณ์ โดยมี เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 1.0 เมตร เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสามารถกำจัดขยะพลาสติกจำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของขยะพลาสติก ซึ่งการใช้งานต้องไม่ให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการตรวจวัดแก๊สมลพิษที่เกิดขึ้น และมีไซโคลนดักจับอนุภาคฝุ่นระหว่างการผลิตปฏิกิริยา แก๊สผลิตภัณฑ์จะถูกควบแน่นเป็นน้ำมัน

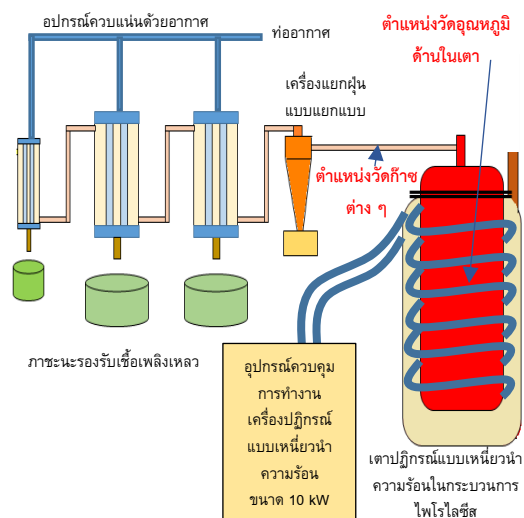


บทความวิจัย

รูปที่ 4-5 แสดงการทำการเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้
ในกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก ด้วย
กำลังไฟฟ้าสูงสุด 10 kW ตัวเหนี่ยวนำทำด้วย
พารามิเตอร์ต่อไปนี้:

1. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเตา 30 เซนติเมตร สูง 1.0 เมตร
2. เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 10 มิลลิเมตร
3. เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว 40 เซนติเมตร
4. จำนวนรอบของขดลวด 10 รอบ
5. ระยะห่างระหว่างรอบ 3 เซนติเมตร

ในการทำการทดลองจะใช้หะยะพลาสติก โดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ การวัดปริมาณน้ำมันที่ได้ การวัดปริมาณการเกิดก๊าซต่างๆ โดยใช้เครื่องมือวัด เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และแก๊สมลพิษจากการเผาไหม้ Testo 350 ซึ่งสามารถวัดก๊าซ CO ได้จาก 0-1000 ppm ในความละเอียดที่ 1 ppm ก๊าซ SO₂ ได้จาก 0-5,000 ppm ในความละเอียดที่ 1 ppm ก๊าซ NO₂ ได้จาก 0-500 ppm ในความละเอียดที่ 0.1 ppm ก๊าซ CO₂ ได้จาก 0 ถึง 50 Vol.% ความละเอียด 0.01 Vol.% และการวัดวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านชาร์ และน้ำมัน ไฟโรไลซิสจะใช้เครื่องวัดพลังงานความร้อน (Oxygen Bomb Calorimeter) รุ่น 6100



รูปที่ 4 แผนภาพเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก

รูปที่ 5 เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการ
ไพโรไลซิสขยะพลาสติก



บทความวิจัย

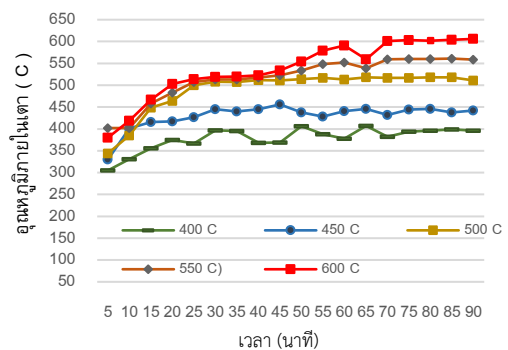
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมัน

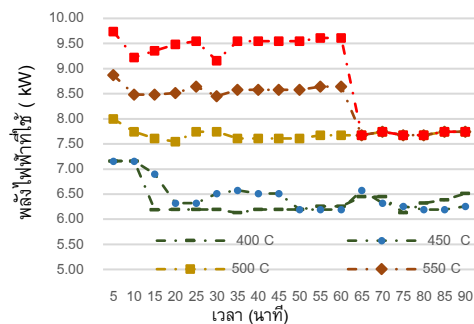
การดำเนินการตรวจวัดเครื่องไพโรไลซิสโดยใช้เทคนิคการเหี่ยวน้ำสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติก โดยการออกแบบสำหรับการทดสอบอุปกรณ์โดยใช้เทคนิคเหี่ยวน้ำความร้อน ซึ่งในการทดสอบการกำจัดขยะพลาสติกจะใช้จำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยการทดสอบไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีน (PE) มาเพื่อผลิตเป็นน้ำมันด้วยวิธีการไพโรไลซิส และแต่ละครั้งในการทดลองจะใช้เวลาในการทดลองจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยจะมีการเก็บข้อมูลวัดแก๊สผลิตภัณฑ์ขณะที่ทำการทดลองในทุกๆ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาการควบคุมอุณหภูมิ และการใช้พลังงานในชุดอุปกรณ์เหี่ยวน้ำแสดงในรูปที่ 6-7

รูปที่ 6-7 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้กับอุณหภูมิในเตาเหี่ยวน้ำในกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติก 1 กิโลกรัม เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า การนำพลาสติกที่ผ่านการสับย่อยให้มีขนาดประมาณ 1 ตารางนิ้ว จำนวน 1 กิโลกรัมเข้าไปในเตาเหี่ยวน้ำ อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 400 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้เฉลี่ย 6.4 kW ดังรูปที่ 5 หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 9.5 kWh ตลอดกระบวนการ อุณหภูมิเฉลี่ยในเตา 355.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 450 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้เฉลี่ย 6.5 kW หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 9.7 kWh อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 500 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้เฉลี่ย 7.7 kW หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 11.5 kWh ตลอดกระบวนการ อุณหภูมิเฉลี่ย 479 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 550 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้เฉลี่ย 8.3 kW หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 12.4 kWh และ อุณหภูมิที่ตั้งไว้ 600 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้เฉลี่ย 8.9 kW หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 13.3 kWh ตลอดกระบวนการและอุณหภูมิเฉลี่ย 537.7 องศาเซลเซียส ซึ่งในการใช้อุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส นั้นการทำอุณหภูมิให้สูงขึ้นนั้นจะช้ามาก ต้องใช้เวลาประมาณ 60 นาที



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในเตาเหี่ยวน้ำในกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติก 1 กิโลกรัม

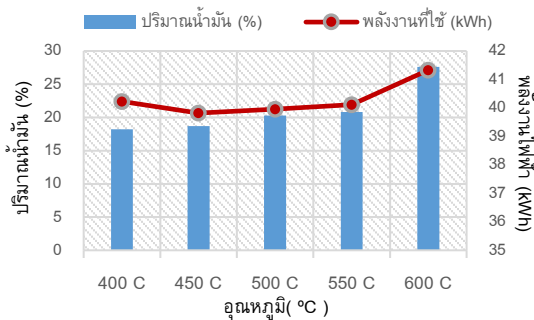


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเตาเหี่ยวน้ำในกระบวนการไพโรไลซิสพลาสติก 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิต่าง ๆ



บทความวิจัย

เมื่อนำการใช้พลังงานไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำมันที่ได้ นั้น จะเป็นการหาความเหมาะสมกับการใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติก ซึ่งปริมาณน้ำมันที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพลาสติกที่ใช้ต่อน้ำหนักของน้ำมันที่ได้ แสดงดังรูปที่ 8



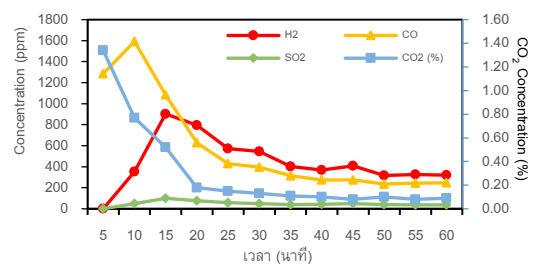
รูปที่ 8 ปริมาณน้ำมันและค่าความร้อนที่ผลิตได้ และพลังงานที่ใช้จากการทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการทดสอบการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีน (PE) จำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้น้ำมันมากที่สุดคือ 27.6 % และรองลงมาคือ 20.8 % ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าได้ปริมาณน้ำมันน้อยลงตามอุณหภูมิต่างๆ ตามลำดับ และที่ได้น้ำมันน้อยสุดคือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันเพียง 18.2 % จากการวิเคราะห์พบว่าที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โดยการเทียบจากพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณขยะพลาสติกที่สลายตัวเป็น

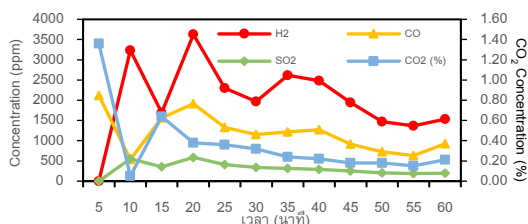
น้ำมัน (kWh/kg) พลังงานที่ใช้ต่อน้ำหนักขยะพลาสติกอยู่ในช่วง 9.60 -13.35 kWh/kg โดยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานในการสลายขยะพลาสติกเป็นน้ำมันสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเป็นอุณหภูมิที่ผลิตน้ำมันได้ปริมาณมากและมีค่าความร้อนสูงที่สุดถึง 41.33 MJ/Kg

3.2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์

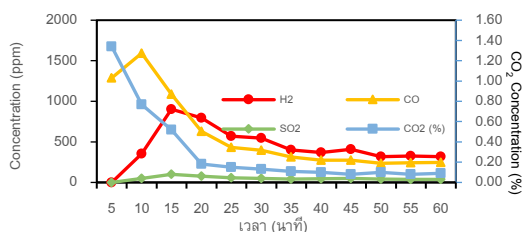
จากการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ H_2 , CO , CO_2 และ SO_2 ซึ่งรายละเอียดในการทดสอบนี้แสดงในรูปที่ 9-13 จากภาพที่ 9 เป็นผลการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมินี้จะเกิดก๊าซ CO มากในช่วงแรกของการเผาไหม้เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ปริมาณจะลดลงเช่นเดียวกับก๊าซ CO_2 , SO_2 และ H_2



รูปที่ 9 การตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ในกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 400°C



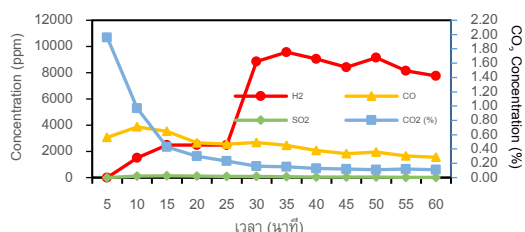
รูปที่ 10 การตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ใน
กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก
ที่อุณหภูมิ 450°C



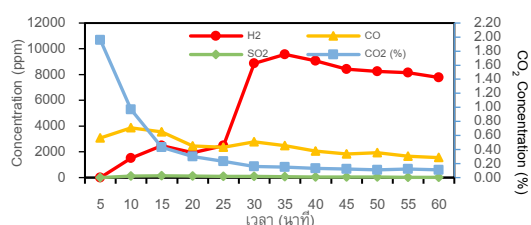
รูปที่ 11 การตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ จาก
กระบวนการ ไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 500
องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 10 เป็นผลการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมินี้ จะเกิดก๊าซ CO มากในช่วงแรกของการเผาไหม้เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ปริมาณจะลดลง เช่นเดียวกับก๊าซ CO_2 , SO_2 และ H_2 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 11 เป็นผลการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมินี้จะเกิดก๊าซ CO มากขึ้นในช่วงแรกของการเผาไหม้เมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที ปริมาณจะลดลง เช่นเดียวกับก๊าซ H_2 ส่วนก๊าซ CO_2 จะมีปริมาณที่มาก



รูปที่ 12 การตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ
จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก
ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส



รูปที่ 13 การตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ จาก
กระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ
600 องศาเซลเซียส

ในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที

จากภาพที่ 12 เป็นผลการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมินี้จะเกิดก๊าซ CO มากขึ้นในช่วงแรกของการเผาไหม้เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ปริมาณจะลดลง เช่นเดียวกับก๊าซ H_2 ส่วนก๊าซ CO_2 จะมีปริมาณที่มากในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 35 นาที

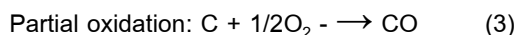
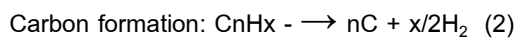
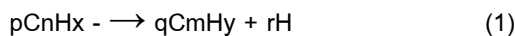
จากภาพที่ 13 เป็นผลการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า



บทความวิจัย

ที่อุณหภูมินี้จะเกิดก๊าซ CO น้อยกว่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 400 450 500 และ 550 องศาเซลเซียส ส่วนก๊าซ CO₂ จะมีปริมาณที่มากในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ซึ่งปริมาณจะลดลง เช่นเดียวกับก๊าซ SO₂ แต่ก๊าซ H₂ จะเกิดขึ้นมากในช่วง 30 นาที และจะลดลงในช่วงเวลา 55 นาที

ในกระบวนการไพโรไลซิสมีการใช้จะเห็นได้ว่าการเกิด CO นั้นมาจากการเผาไหม้และเกิดการสลายตัวของขยะพลาสติก จึงเกิดการแตกตัวจากความร้อนในระบบที่ไม่มีการไหล N₂ จึงมีออกซิเจนในเตาปฏิกรณ์บางส่วนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของพลาสติกที่สลายตัวทางความร้อน จึงเกิดผลิตภัณฑ์แก๊ส CO ซึ่งเป็นไปตามการแตกตัวจากความร้อนดังกล่าวความสัมพันธ์ของสมการที่ (1) – (3)

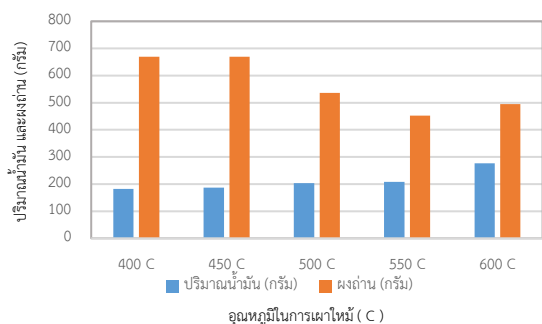


3.3 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิส

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปกับปริมาณน้ำมันที่ได้ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่ดีที่สุด คือ 0.048 กิโลวัตต์/กรัม และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซ CO₂ ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้พบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีดัชนีการเกิดก๊าซ CO₂ (%) ต่อปริมาณน้ำมัน (กรัม) 0.21 %/กรัม ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีดัชนีการเกิดก๊าซ CO₂ (%) ต่อ

ปริมาณน้ำมัน (กรัม) 0.25 %/กรัม และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีดัชนีการเกิดก๊าซ CO₂ (%) ต่อปริมาณน้ำมัน (กรัม) 0.20 %/กรัม จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด เมื่อนำปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้มาเทียบกับปริมาณผงถ่านที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ปริมาณ 1 กิโลกรัม ในระยะเวลา 90 นาที แสดงดังรูปที่ 14

จากรูปที่ 11 ปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้มาเทียบกับปริมาณผงถ่านที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ปริมาณ 1 กิโลกรัม ในระยะเวลา 90 นาที จะเห็นได้ว่าดัชนีการเกิดผงถ่านต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีปริมาณการเกิดผงถ่านใช้ในการทดสอบ 3 ครั้งร้อยละ 15-23 และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณผงถ่านน้อยที่สุด เนื่องจากพลาสติกสลายตัวได้ดีที่อุณหภูมินี้ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ M. Z. H. Khan, และคณะ ได้วิจัยในปี 2016 [11] โดยศึกษาคุณลักษณะของน้ำมัน



รูปที่ 14 ปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้มาเทียบกับปริมาณผงถ่านที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส



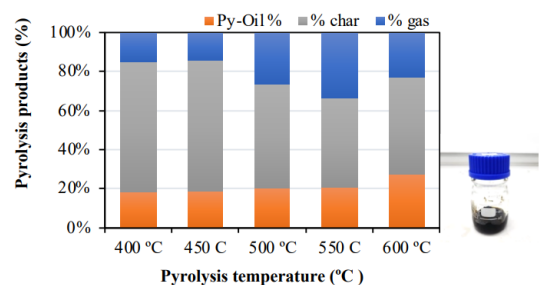
บทความวิจัย

เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยการไพโรไลซิส เพื่อผลิตน้ำมันไพโรไลซิส จากขยะพลาสติก โดยใช้โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง HDPE ในเครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสในห้องปฏิบัติการที่ออกแบบเองเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่มีประโยชน์ ของเสีย HDPE ถูกไพโรไลซ์อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 330–490 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แต่งานวิจัยนี้พบว่าการใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกจะเหมาะสมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาน้อยกว่าเพียง 1.30 ชั่วโมง จากการศึกษาปริมาณของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้พบว่า มีปริมาณถ่านชาร์ที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากขยะพลาสติกที่นำมาใช้ในการศึกษามีการปนเปื้อนเศษดินจากการผ่านการฝังกลบเป็นระยะเวลานาน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค่าความร้อนของถ่านชาร์เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งทำแท่นถ่านหินในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ลักษณะของถ่านชาร์ที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนและผงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและลักษณะของถ่านชาร์แสดงดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก

อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะ ถ่านชาร์	ค่าความร้อน (MJ/Kg)
400		14.28 ± 1.37
500		10.46 ± 2.15
600		9.85 ± 1.26

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถ่านชาร์จะมีความเป็นผงละเอียดมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนพบว่าค่าความร้อนมีค่าลดลง เนื่องจากความร้อนทั่วถึงในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewpengkrow และคณะ (2012) ที่พบว่าถ่านชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสมีสมบัติทางความร้อนลดลงเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น [12] อย่างไรก็ตามถ่านชาร์ที่เหลือจากกระบวนการมีค่าความร้อนที่เพียงพอในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งให้กับเตาเผาอุตสาหกรรมได้ โดยที่เศษเถ้าที่ได้จากการเผาขยะพลาสติก 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลา 90 นาที ดังแสดงในรูปที่ 15 ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารประกอบที่มีประโยชน์หลักที่ได้จากการเพิ่มอุณหภูมิในการวิเคราะห์น้ำมันไพโรไลซิสด้วยเครื่องวัดแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS) ที่เป็นสารอะโรมาติกและไฮโดรคาร์บอน (C5-C11 และ C12-C20) ซึ่งคาร์บอนเหล่านี้สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันหนัก และใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเหลวในภาคอุตสาหกรรมได้

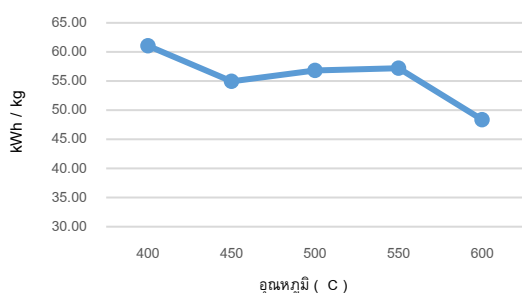


รูปที่ 15 ปริมาณน้ำมันที่ได้เทียบกับถ่านชาร์ที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ



จากรูปที่ 15 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้กับปริมาณเก่าที่ผลิตได้จากการเผาขยะพลาสติก 1 กิโลกรัมเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ผลผลิตถ่านไม้ต่อปริมาณน้ำมันจะอยู่ระหว่าง 15 ถึง 23 % อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ผลผลิตถ่านไม้จะต่ำที่สุด ซึ่งบ่งชี้ถึงการสลายตัวของพลาสติกที่เหมาะสมที่สุดที่อุณหภูมินี้ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ดำเนินการโดย Khan et al. (2016)

การเปรียบเทียบจากพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ (kWh/kg) โดยที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ 61.06 kWh/kg อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ 56.82 kWh/kg และอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ 48.37 kWh/kg จะเห็นว่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ของกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อกำจัดขยะพลาสติกด้วยหลักการเหนี่ยวนำความร้อนนั้นจะมีการใช้พลังงานที่น้อยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบจากพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ (kWh/kg)

จากรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะมีดัชนีการใช้พลังงานต่อน้ำมันที่ได้มากที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิ 450 500 และ 550 องศาเซลเซียส จะมีดัชนีการใช้พลังงานต่อน้ำมันที่ได้ใกล้เคียงกัน และน้อยที่สุดคือที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

4. บทสรุป

จากการทดสอบการไพโรไลซิสโดยการออกแบบเตาด้วยเทคนิคการเหนี่ยวนำทางความร้อน โดยการใช้ขดลวดมาพันรอบกับวัสดุที่ถูกหุ้มฉนวนเพื่อให้เกิดความร้อน สำหรับกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อจัดการขยะพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีน (PE) จำนวน 1 กิโลกรัมต่อครั้ง ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะได้น้ำมันมากที่สุดคือ 276 กรัม และได้ปริมาณน้ำมันน้อยลงตามอุณหภูมิต่างๆ ตามลำดับ และที่ได้น้ำมันน้อยสุดคือที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันเพียง 123 กรัม จากการวิเคราะห์พบว่าที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการใช้พลังงานในการผลิตน้ำมันน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันที่ได้

จากการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดการเกิดก๊าซต่างๆ ระหว่างการทำกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการไพโรไลซิสด้วยเตาปฏิกรณ์เหนี่ยวนำทางความร้อน ด้วยไฟฟ้าในการกำจัดขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้อีกทางหนึ่ง



6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนวิจัยเครื่องมือวิเคราะห์ในงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Niyommaneerat, K. Suwantee and O.Chavalparit, Sustainability indicators to achieve a circular economy: A case study of renewable energy and plastic waste recycling corporate social responsibility (CSR) projects in Thailand, *Journal of Cleaner Production*, 2023, 391, 136203.
- [2] V. Kittithammavong, W. Khanitchaidecha and P. Thongsanit, CO₂ emissions from plastic consumption behaviors in Thailand, *Sustainability*, 2023, 15(16), 12135.
- [3] X. Hu and M. Gholizadeh, Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage, *Journal of Energy Chemistry*, 2019, 39, 109-143.
- [4] J. Joo, E.E. Kwon and J. Lee, Achievements in pyrolysis process in E-waste management sector, *Environmental Pollution*, 2021, 287, 117621.
- [5] Y.B. Sonawane, M.R. Shindikar and M.Y. Khaladkar, Use of catalyst in pyrolysis of polypropylene waste into liquid fuel, *International Research Journal of Environment Sciences*, 2015, 4(7), 24-28.
- [6] A. Lopez-Unionabarrenechea, I. de Marco, B.M. Caballero, M.F. Laresgoiti and A. Adrados, Upgrading of chlorinated oils coming from pyrolysis of plastic waste, *Fuel Processing Technology*, 2015, 137, 229-239.
- [7] A.K. Panda, R.K. Singh and D.K. Mishra, Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14(1), 233-248.
- [8] S.O. Giwa and M. Sharifpur, Effects of uniform magnetic induction on heat transfer performance of aqueous hybrid ferrofluid in a rectangular cavity, *Applied Thermal Engineering*, 2020, 170, 115004.
- [9] A. Vieweg, G. Ressel, P. Prevedel, P. Raninger, M. Panzenböck, S. Marsoner and R. Ebner, Differences to a conventional heat treatment process and optimization of its parameters, *Materials Science and Engineering*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 119, 012019.
- [10] X. Cai, H.P. Wang and B. Wei, Migration dynamics for liquid/solid interface during levitation melting of metallic materials, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2020, 151, 1-11.



- [11] G. Lopez, M. Artetxe, M. Amutio, J. Bilbao, and M. Olazar, Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2017). 73, 346-368.
- [12] B. Lokahita, W. Kurniawan, M. Aziz and F. Takahashi, Py-GC-MS of refuse materials in waste to energy point of view, *Energy Procedia*, 2019, 158, 497-501.
- [13] A.P. Caetani, L. Ferreira and D. Borenstein, Development of an integrated decision-making method for an oil refinery restructuring in Brazil, 2016, *Energy*, 111,197-210.
- [14] M.N. Ishak, A.R. Abu Talib and M.Y. Harmin, Material selection and design analysis of multi-purpose disposable safety syringe, *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, 7(4.13), 214-220.
- [15] H. Dong, Y. Zhao, H. Yuan, X.Hu and Z. Yang, A simplified calculation method of heat source model for induction heating, *Materials*, 2019, 12(18), 2938.
- [16] F. Hajabdollahi, K.N. Premnath and S. Malepati, Effects of the magnetic field on direct contact melting transport processes during rotation, *Applied Mathematical Modelling*, 2018, 61, 421-442.
- [17] R. Dai, Y.Wu, J. Mostaghimi, L. Tang and M. Zeng, Characteristics and control mechanism of melting process under extra magnetic force fields, *Applied Thermal Engineering*, 2020, 167, 114704.
- [18] U.P. Anaidhuno and C.O. Mgbemena, Development of an Electric induction furnace for heat treatment of ferrous and non-ferrous alloys, *American Journal of Engineering Research*, 2015, 4(5), 29-35.
- [19] S. Fashu, M. Lototsky, M.W. Davids, L. Pickering, V. Linkov, S. Tai, T. Renheng, X. Fangming, P.V. Fursikov, B.P. Tarasov, A review on crucibles for induction melting of titanium alloys, *Materials and Design*, 2020, 186, 108295.
- [20] A. Fomin, M. Fomina, V. Koshuro, I. Rodionov, Composite metal oxide coatings on chromium-nickel stainless steel produced by induction heat treatment, *Composite Structures*, 2019, 229, 111451.
- [21] A.P. Caetani, L.Ferreira and D. Borenstein, Development of an integrated decision-making method for an oil refinery restructuring in Brazil, *Energy*, 2016,111, 197-210.