กระบวนการไพโรไลซิสสำหรับการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

Pyrolysis process for converting waste plastic into fuel oil

ฉันทวัช เจริญสุข[1] สุระพล ริยะนา[2] นิกราน หอมดวง[2] เตชัส พรมตา[3] และ กิตติกร สาสุจิตต์[2*]

Chatawat Charoensuk[1] Surapon Riyana[2] Nigran Homdoung[2] Techut promta[3] and Kittikorn Sasujit[2*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[3]ห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

[2]Energy Conservation Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

[3]Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory, Maejo University, Chiang Mai 50290

[1]Corresponding author: Tel.: 089-9988203. E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Abstract

The pyrolysis process has gained significant attention as a method for converting plastic waste into energy. This study aims to investigate the pyrolysis process using high-density polyethylene plastic for the conversion into pyrolysis oil. Plastic waste, specifically 5 kg of plastic bottle caps, was processed using a 200-liter batch reactor along with a 50-liter water-cooled gas condensation system. The experiments were conducted at pyrolysis temperatures of 190±5°C, 280±5°C, and 340±5°C. The results indicated that increasing the temperature led to higher pyrolysis oil yields. At 340±5°C and a reaction time of 140 min, the maximum oil yield reached 12.90% by weight. The properties of the pyrolysis oil included an acidity with a pH of 5.0, a density of 737 kg/m³, and a heating value of 52.23 MJ/kg. The energy conversion efficiency was 14.68%, the specific oil production rate was 174 liters per tonne, and the energy consumption for oil production was 79 MJ/liter. Therefore, this plastic waste management process not only offers an effective means of converting waste into energy but also serves as a viable environmental solution for waste management and energy transformation.

Keywords: pyrolysis, pyrolysis oil, hot air, waste plastic

บทคัดย่อ

กระบวนการไพโรไลซิสถือว่าเป็นกระบวนหนึ่งที่ได้รับความสนใจในการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษากระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้พลาสติกประเภทโพลีเอธิลีนความหนาแน่นสูง สำหรับการเปลี่ยนเป็นน้ำมันไพโรไลซิส ขยะพลาสติกใช้ฝาขวดน้ำดื่มจำนวน 5 kg โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งขนาดปริมาตร 200 liter รวมกับชุดควบแน่นแก๊สไพโรไลซิสแบบใช้น้ำหมุนเวียนในถังขนาดปริมาตร 50 liter โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 190±5°C 280±5°C และ 340±5°C จากผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลทำให้ได้น้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิ 340±5°C ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 140 min จะให้ผลผลิตน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 12.90 %wt และสมบัติน้ำมันไพโรไลซิสมีความเป็นกรดที่ pH เท่ากับ 5.0 ความหนาแน่นของน้ำมันเท่ากับ 737 kg/m^3 และให้ค่าความร้อนน้ำมันไพโรไลซิส เท่ากับ 52.23 MJ/kg มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเท่ากับ 14.68% อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะเท่ากับ 174 liter/tonne และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสเท่ากับ 79 MJ/liter ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการจัดการขยะพลาสติกโดยนำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานด้วยวิธีการนี้สามารถจัดการขยะพลาสติกได้ และถือว่าเป็นแนวทางการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนรูปขยะเป็นพลังงานอีกทางหนึ่งเช่นกัน

คำสำคัญ: ไพโรไลซิส น้ำมันไพโรไลซิส ขยะพลาสติก

บทนำ

จากสถานการณ์ปัจจุบันขยะพลาสติกถือว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เนื่องจากการเติบโตทางภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่งผลทำให้ต้องหาแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกเหล่านี้ จากรายงานแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ.2566 – 2570) ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พบว่าในปี 2564 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 24.98 ล้านตัน มีเพียงประมาณ 3.89 ล้านตัน (16%) ที่ถูกคัดแยก ณ ต้นทางเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการกำจัด และอีกส่วนที่อยู่ตามบ้านเรือนหรือเทศบาล ที่ดำเนินการกำจัดเองประมาณ 1.58 ล้านตัน (6%) และมีขยะที่กำจัดอย่างไม่ถูกต้องอีก 6.23 ล้านตัน (25%) อย่างไรก็ตามเมื่อสำรวจพบว่าขยะประเภทพลาสติกมีปริมาณถึง 28% ประกอบไปด้วยขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียว (Single use Plastics) เป็นถุงพลาสติก เช่น ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว รองลงมาได้แก่ฟิล์มพลาสติก เช่น ฟิล์มหุ้มสินค้า ซองไปรษณีย์พลาสติก ส่วนที่เหลือเป็น ขวด ฝาขวด แก้ว ชาม กล่องถาด กล่องโฟม เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อเทียบปริมาณขยะพลาสติกเฉพาะฝาขวดน้ำ จะมีปริมาณ 1.88% ของปริมาณขยะพลาสติกทั้งหมด 2.76 ล้านตัน [1] ในส่วนของการจัดการขยะพลาสติกในปัจจุบันพบว่ามีการส่งเสริมรณรงค์ในเรื่องการคัดแยก การนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล และการนำไปฝังกลบ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการในการจัดการระดับต้นน้ำ ปัจจุบันมีการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบของขยะอัดแท่ง หรือ RDF เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในเตาเผาระดับอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างไรก็ตามยังคงมีต้นทุนในการผลิตที่ยังคงสูง และเรื่องมลพิษที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้อยู่ [2] อีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันคือการนำขยะพลาสติกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน (Waste to energy) นั้นโดยนำมาผลิตเป็นน้ำมันขยะพลาสติกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิง หรือการนำไปสังเคราะห์ทางด้านเคมีอื่น ๆ ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) จากงานวิจัยของ พนธกร และคณะ (2568) ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำมันพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเบดนิ่งจากขยะประเภทโพลิเอธิลีนในระดับ

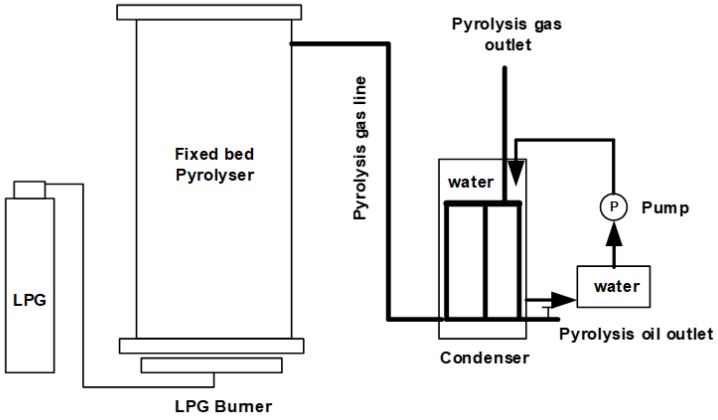
ห้องปฏิบัติการ พบว่าให้ปริมาณน้ำมันขยะพลาสติกถึง 16.54 %wt ที่อุณหภูมิ 500°C และให้ค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสเท่ากับ 52-55 MJ/kg [3] และ Kluska et al., (2014) ได้ศึกษาการนำขยะพลาสติกประเภทเชื้อเพลิง RDF มาผลิตน้ำมันผ่านกระบวนการไพโรไลซิสในระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 500°C โดยให้อัตราการให้ความร้อน 3°C/min พบว่าให้ผลผลิตน้ำมันไพโรไลซิส 34%wt ของแข็ง 26%wt และแก๊สไพโรไลซิส 40%wt [4] ขณะเดียวกันงานวิจัยของ ชินภัทร์ และคณะ (2021) ได้ทำการศึกษาการนำน้ำมันขยะพลาสติกไปใช้ในเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเบรกสูงสุด 11.4 hp โดยให้ค่าความร้อนน้ำมันขยะพลาสติก เท่ากับ 42.7 MJ/kg และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุด 14.5 kg/kWh [5] จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าแนวทางการนำกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้ในการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานนั้นถือว่ามีความน่าสนใจในเชิงเทคนิคและการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพลังงานและยังเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการขยะพลาสติกอีกทางหนึ่งได้ด้วยเช่นกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษากระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ขยะประเภท HDPE ซึ่งเลือกใช้ฝาขวดน้ำดื่ม โดยทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดนิ่ง และทำการควบแน่นแก๊สไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ของเหลวในรูปของน้ำมันไพโรไลซิส การประเมินผลผลิตที่ได้ในเชิงพลังงาน สมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิส ซึ่งผลการศึกษางานวิจัยนี้จะนำไปพัฒนาต่อยอดในเชิงการขยายขนาดของระบบ หรือการพัฒนาเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการพัฒนาต่อยอดรวมถึงการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อจัดการขยะพลาสติกโดยการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกใช้ขยะพลาสติกประเภท พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งเป็นฝาขวดน้ำดื่ม โดยนำมาล้างทำความสะอาด ตากให้แห้ง และทำการทดลองปริมาณคงที่ 5 kg ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 45.9 MJ/kg [6] ดังภาพที่ 1 โดยเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง (Fixed bed) ใช้ถังขนาดปริมาตร 200 ลิตร โดยใช้แหล่งความร้อนจากแก๊สหุงต้ม (LPG) ขนาดถัง 15 kg ซึ่งในการทดลองจะทำการศึกษาอุณหภูมิในช่วง 150 – 350°C โดยทำปฏิกิริยาจนเกิดแก๊สไพโรไลซิสสิ้นสุดจึงหยุดทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้แก๊สไพโรไลซิส (Pyrolysis gas) ที่ได้จะถูกส่งมายังชุดควบแน่นผ่านน้ำเย็นอุณหภูมิแวดล้อมในช่วง 28-33°C และมีระบบหมุนวนน้ำผ่านปั๊มน้ำ โดยใช้ถังน้ำขนาด 50 liter ภายหลังเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวแล้วจะถูกนำออกจากชุดควบแน่นเป็นน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis oil) ส่วนของแข็ง (Solid) ก็จะถูกนำออกหลังจากถังปฏิกรณ์เย็นตัวลง ก็จะนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาสัดส่วนของผลผลิตไพโรไลซิส โดยแผนผังการทดลองของงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 2 ในส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิใช้หัววัดเทอร์โมคัพเปิ้ลประเภท K (Thermocouple type K) ที่ช่วงการตรวจวัดสูงสุดไม่เกิน 1,200°C และบันทึกอุณหภูมิลงในเครื่องบันทึก (Datalogger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL240 ในส่วนของอุณหภูมิผิวถังเตาปฏิกรณ์และถังควบคุมแน่น ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ HIOKI FT3700-20 ช่วงการวัดอุณหภูมิ -60°C ถึง 550°C ที่ระดับความแม่นยำ 0.1°C ในส่วนของค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิส จะใช้เครื่องวัดพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ LECO รุ่น AC500 ในการวิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงจากน้ำมัน

ภาพที่ 1 ขยะพลาสติกประเภท HDPE ที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 แผนผังของระบบผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกขนาด 200 liter

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน

การวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน (Conversion Efficiency) ของน้ำมันไพโรไลซิสหาได้จากสัดส่วนของน้ำมันไพโรไลซิสกับค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิส และปริมาณขยะพลาสติกกับค่าความร้อนของพลาสติก ดังแสดงในสมการที่ 1 [7]

$$Conversion\ efficiency = \frac{\varepsilon_{pyrolysis\ oil}}{\varepsilon_{plastic}} \times 100 \qquad (1)$$

โดย Conversion Efficiency คือประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน (%) $\varepsilon_{pyrolysis\ oil}$ คือสัดส่วนของน้ำมันพลาสติกกับค่าความร้อนของน้ำมัน (MJ/kg) $\varepsilon_{plastic}$ คือปริมาณขยะพลาสติกกับค่าความร้อนของพลาสติก (MJ/kg)

อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะ

อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะ หาได้จากน้ำหนักน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้ต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิส หาได้จากสมการที่ 2 [7,8]

$$Specific\ pyrolysis\ oil = \frac{M_{pyrolysis\ oil}}{\rho_{pyrolysis\ oil}} \quad (2)$$

โดยที่ $Specific\ pyrolysis\ oil$ คือ อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส (liter/tonne) $M_{pyrolysis\ oil}$ คือ น้ำหนักของน้ำมันไพโรไลซิสโดยสัดส่วนส่วน (%wt) $\rho_{pyrolysis\ oil}$ คือ ความหนาแน่นน้ำมันไพโรไลซิส (kg/liter)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) คือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการได้แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้าจากปั๊มน้ำหมุนเวียนในชุดควบแน่นน้ำมัน ดังสมการที่ 3

$$SEC = \frac{3.6\,\mathrm{P}_e + E_{lpg}}{M_{pyrolysis\ oil}} \quad (3)$$

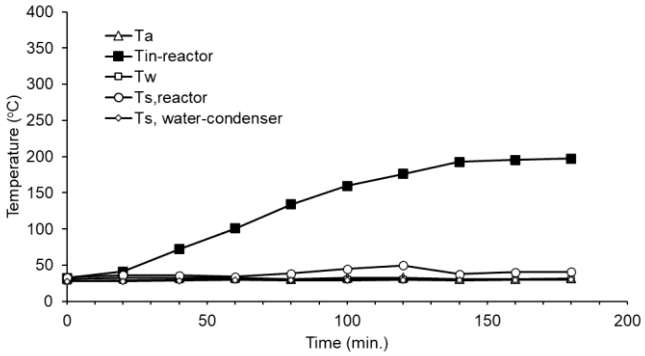
โดยที่ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg) $M_{pyrolysis\ oil}$ คือน้ำหนักของน้ำมันไพโรไลซิส (kg) P_e คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh) และ E_{lpg} คือค่าพลังงานของแก๊สหุงต้ม (MJ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

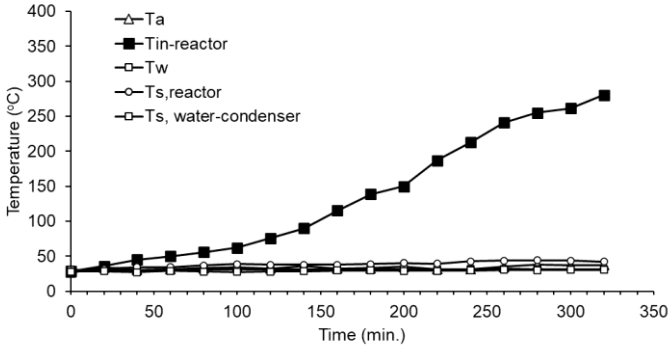
ผลการกระจายอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 190±5°C 280±5°C และ 340±5°C พบว่ามีระยะเวลาการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันที่ 180 min 320 min และ 140 min ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 190±5°C นั้นพบว่าเมื่อให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึง 130 min อุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์มีอุณหภูมิสูงประมาณ 176 °C – 197°C จนถึงระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 180 min ปริมาณแก๊สไพโรไลซิสก็หมดลง ในส่วนของอุณหภูมิของน้ำในชุดควบแน่น อุณหภูมิผิวของเตาปฏิกรณ์ อุณหภูมิผิวของชุดควบแน่น มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม โดยค่าอยู่ในช่วง 29 °C - 39 °C ดังภาพที่ 4 (ก.) ในส่วนของอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่ 280±5°C พบว่ามีระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานถึง 320 min และเริ่มจุดติดไฟของแก๊สไพโรไลซิสที่เวลา 160 min อุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสเท่ากับ 138°C ดังภาพที่ 4 (ข.) และในส่วนของการทำปฏิกิรยาไพโรไลซิสที่ 340±5°C พบว่าใช้

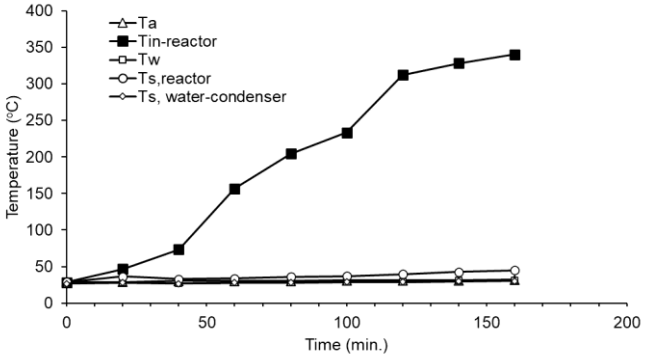
ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส 160 min และเริ่มจุดติดไฟของแก๊สไพโรไลซิสที่ 60 min อุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์เท่ากับ 156°C ดังภาพที่ 4 (ค.) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่แตกต่างกันมีผลทำให้ผลผลิตที่ได้ และระยะเวลาการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน



ก.) ผลการกระจายอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสและชุดควบแน่นที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 190±5°C



ข.) ผลการกระจายอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสและชุดควบแน่นที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 280±5°C

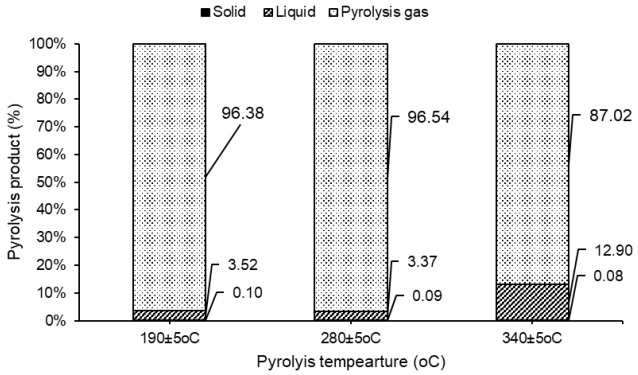


ค.) ผลการกระจายอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสและชุดควบแน่นที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 340±5°C

ภาพที่ 4 ผลการกระจายอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ต่าง ๆ

ผลการประเมินผลผลิตของกระบวนการไพโรไลซิส

จากผลการทดลองผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสตามเงื่อนไขการทดลอง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส 340±5°C จะได้ผลผลิตน้ำมันไพโรไลซิส 12.90 %wt และได้ของแข็งที่เหลือในเตาปฏิกรณ์ 0.08 %wt และแก๊สไพโรไลซิส 87.02 %wt ดังแสดงในภาพที่ 5 สอดคล้องกับงานวิจัยของ พนธกร และคณะ (2568) ที่ทำการศึกษาการผลิตน้ำมันขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสโดยที่อุณหภูมิประมาณ 500°C จะให้ผลผลิตน้ำมันไพโรไลซิส 16.54 %wt ของแข็ง 2.85 %wt และแก๊สไพโรไลซิส 80.61 %wt [3] อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 14.68 % ให้อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะเท่ากับ 174.30 liter/tonne และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการเท่ากับ 79.33 MJ/liter ที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์เท่ากับ 340±5°C ในส่วนของการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไพโรไลซิส พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่ากระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกจะได้องค์ประกอบแก๊ส ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เท่ากับ 9.08 % ก๊าซมีเทน (CH_4) เท่ากับ 6.56 % ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เท่ากับ 4.10 % สำหรับขยะพลาสติก RDF [4] หากเป็นยางรถยนต์พบว่ามีองค์ประกอบแก๊สมีเทน เท่ากับ 2.6 % ก๊าซไฮโดรเจน เท่ากับ 3.4 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 14.0 % [9] ดังแสดงผลการวิเคราะห์กระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 5 ผลผลิตของกระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิไพโรไลซิสต่าง ๆ

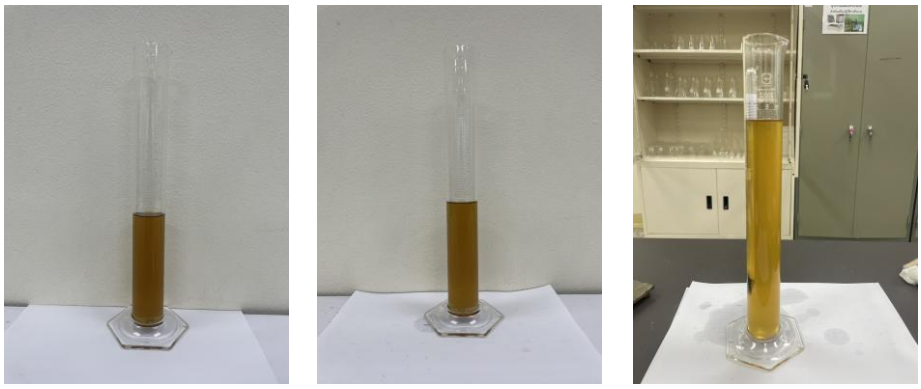
ตารางที่ 1 ผลการประเมินเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

รายละเอียด	อุณหภูมิไพโรไลซิส (°C)		
	190±5°C	280±5°C	340±5°C
Conversion Efficiency (%)	3.81	3.71	14.68
อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะ (liter/ton)	49.60	46.16	174.30
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/liter)	239.97	399.93	79.33
ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา (min)	180	320	140

ผลการวิเคราะห์สมบัติน้ำมันไพโรไลซิส

จากผลการทดลองกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกตามเงื่อนไขนั้นในส่วนนี้จะแสดงลักษณะของสีน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากกระบวนการที่อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าได้ของเหลวน้ำมันไพโรไลซิสมี

ลักษณะสีส้มแดงคล้ายกับน้ำมันที่ได้จากพืช อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์สมบัติพบว่าน้ำมันไพโรไลซิสยังมีค่าความเป็นกรดสูงมีค่าพีเอช 4.0-5.0 โดยมีความหนาแน่นของน้ำมันในช่วง 707-737 kg/m^3 และให้ค่าความร้อนของน้ำมันในช่วง 49-52 MJ/kg ดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ พนธกร และคณะ (2568) พบว่าน้ำมันขยะพลาสติกมีความหนาแน่นเท่ากับ 660-720 kg/m^3 [3] และงานวิจัยของ Zoram et al., (2021) พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์นั้น มีค่าความหนาแน่น 937 kg/m^3 และค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสเท่ากับ 42.4 MJ/kg ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับ Commercial No.2 Diesel พบว่ามีความหนาแน่น 820-860 kg/m^3 และค่าความร้อนเท่ากับ 44-46 MJ/kg [9] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะและสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากงานวิจัยนี้ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษางานวิจัยที่ทำการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก



T = 190±5°C T = 280±5°C T = 340±5°C

ภาพที่ 6 ลักษณะของน้ำมันจากขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไพโรไลซิส

สมบัติทางเคมี	อุณหภูมิไพโรไลซิส (°C)		
	190±5°C	280±5°C	340±5°C
pH	4.0	4.0	5.0
Specific gravity (SG)	0.71	0.73	0.74
Density (kg/m^3)	707.87	727.81	737.78
High heating value (MJ/kg)	49.64	50.51	52.23

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกประเภท HDPE ซึ่งใช้ฝาขวดน้ำดื่มมาทำการศึกษาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเบดนิ่ง โดยใช้ปริมาณพลาสติก 5 kg ที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ในช่วง 190 – 340°C พบว่าเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 340±5°C ที่ระยะเวลา 140 min จะให้ผลผลิตน้ำมันสูง เท่ากับ 12.90 %wt หรือประมาณ 0.87 liter โดยให้สมบัติน้ำมันไพโรไลซิสมีความเป็นกรดที่ pH เท่ากับ 5.0 ความหนาแน่นของน้ำมันเท่ากับ 737 kg/m^3 และให้ค่าความร้อนน้ำมันไพโรไลซิส เท่ากับ 52.23 MJ/kg มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเท่ากับ 14.68% อัตราการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจำเพาะเท่ากับ 174 liter/tonne และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการ

ผลิตน้ำมันไพโรไลซิสเท่ากับ 79 MJ/liter จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถกำจัดขยะพลาสติกประเภท HDPE หรือขยะพลาสติกชนิดที่เป็นฝาขวดน้ำ โดยสามารถเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน (Waste to Energy) ในรูปแบบน้ำมันไพโรไลซิสได้ ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการจัดการขยะพลาสติกเพื่อเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษาจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory)

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2023). **แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ.2566 - 2570)**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] สายัน เผื่อยา, สมพร เฟื่องจันทร์, เพ็ญศิริ ฉิรินัง และ อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ. (2022). การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะพลาสติกในจังหวัดสมุทรปราการตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน. **วารสารวิชาการ การจัดการภาครัฐและเอกชน**, 4, 195-209.

[3] พนธกร เหลี่ยมเคลือบ, กิตติกร สาสุจิตต์, เสมอขวัญ ตันติกุล, พัชรี อินธนู และ นิกราน หอมดวง. (2525). การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**, 8(2), 27-34,

[4] Kluska, J., Karda**ś**, D., Kazimierski, P. and Klein, M., (2014). Pyrolysis of biomass and refuse-derived fuel performance in laboratory scale batch reactor. *Archives of Thermodynamics, 35(1),* 141-152.

[5] ชินภัทร ธุระการ, เกยูร ดวงอุปมา, กัมปนาท ไชยเพชร, อภิชน มุ่งชู, สุพัตรา บุไธสง และ สุรสิทธิ์ พ่อค้า. (2021). ผลของน้ำมันขยะพลาสติกจากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วต่อแรงม้าเบรกต่ำสุดและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**, 4(2), 14-20.

[6] Maithomklang, S., Sukjit, E., Srisertpol, J., Klinkaew, N. and Wathakit, K., (2023). Pyrolysis oil derived from plastic bottle caps: characterization of combustion and emissions in a diesel engine. *Energies, 16*, 1-21.

[7] Javed, N., Muhammad, S., Iram, S., Ramay, M. W., Jaffri, S. B., Damak, M., Fekete, G., Varga, Z., Székács, A. and Aleksza, L., (2022). Analysis of fuel alternative products obtained by the pyrolysis of diverse types of plastic materials isolated from a dumpsite origin in Pakistan. *Polymers, 15,* 2-16.

[8] Aisien, F. A. and Aisien, E. T., (2023). Production and characterization of liquid oil from the pyrolysis of waste high-density polyethylene plastics using spent fluid catalytic cracking catalyst. *Sustainable Chemistry for Climate Action, 2,* 1-9.

[9] Čepić, Z., Mihajlović, V., Đurić, S., Milotić, M., Stošić, M., Stepanov, B. and Ilić Mićunović, M., (2021). Experimental analysis of temperature influence on waste tire pyrolysis. *Energies, 14,* 1-11.