

การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง

Experiment on the production of pyrolysis oil from plastic waste using a fixed-bed pyrolysis process

พนธกร เหลี่ยมเคลือบ¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ เสมอขวัญ ตันติกุล¹ พัชร อินธนู² และ นิกราน หอมดวง^{1*}
Phontakorn Liam-kloub¹, Kittikorn Sasujit¹, Samerkwan Tantikul¹, Patcharee Intanoo²
and Nigran Homdoun^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

² Industrial Chemistry Innovation, Faculty of Science, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel: 084-1773632 E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

The current economic growth has led to an increased consumption of resources, with plastic being one of the most widely used materials, contributing significantly to the growing problem of plastic waste accumulation in urban areas. Improper management of this waste also indirectly results in the release of greenhouse gases. This study aims to determine the process of converting polyethylene plastic waste into pyrolysis oil using a laboratory-scale fixed-bed reactor, heated by an electric coil, at reaction temperatures ranging from 500°C-700°C. The nitrogen gas flow rate was maintained at 100 l/h. The results show that the maximum yield of pyrolysis oil reached 16.54%wt at a reaction temperature of 500°C, with a solid residue of 2.85%wt, and a pyrolysis gas yield of 80.61%wt. The pyrolysis oil show that a density range of 0.65-0.75 g/cm³, pH value show in the range of 5.0-6.0, and a heating value between 52-55 MJ/kg. The findings suggest that plastic waste can be effectively converted into energy in the form of pyrolysis oil. However, further research is needed to assess the impact of using pyrolysis oil for an internal combustion engine.

Keywords: Pyrolysis oil, polyethylene, fixed bed pyrolyzer

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจส่งผลทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้น พลาสติกถือว่าเป็นวัสดุอย่างหนึ่งที่มีการใช้งานจำนวนมาก และทำให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกล้นเมือง นอกจากนั้นเมื่อนำไปจัดการอย่างไม่ถูกต้องก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการนำขยะพลาสติกประเภทโพลิเอทิลีนมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตน้ำมันไพโรไลซิส โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งในห้องปฏิบัติการโดยใช้แหล่งความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาในช่วง 500-700°C อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน 100 L/h ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่ให้น้ำมันสูงสุด 16.54%wt. ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 500°C ให้ปริมาณของแข็งเท่ากับร้อยละ 2.85 โดยน้ำหนัก และได้แก๊สเชื้อเพลิงเท่ากับร้อยละ 80.61 โดยน้ำหนัก เมื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสพบว่าให้ความหนาแน่นในช่วง 0.65-0.75 g/cm³ ค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 5.0-6.0 และให้ค่าความร้อนน้ำมันในช่วง 52-55 MJ/kg จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบของน้ำมันไพโรไลซิสได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของการนำไปใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อไป

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส โพลิเอทิลีน เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

บทนำ

พลาสติกถือว่าเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีสมบัติทนทานแข็งแรง ยืดหยุ่นสูง และน้ำหนักเบา จึงนิยมนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน รวมถึงการนำไปสร้างสรรค์บรรจุภัณฑ์อื่น ๆ เช่นภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ รวมไปถึงชุดสื่อการสอนต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์ในงานก่อสร้าง เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณ 12% ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 Mt โดยมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณ 0.5 Mt/y (25%) และยังคงส่วนที่เหลืออีกประมาณ 1.5 Mt (75%) [1] ซึ่งเป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) เช่น ถ้วยร้อน ถ้วยเย็น ถ้วยหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร เป็นต้น ซึ่งถือว่ายังไม่มีมีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยส่วนใหญ่จะถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2563 ได้มีการศึกษาปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่ามีขยะพลาสติกประมาณ 6,300 t/d หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 15% ของปริมาณขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับในช่วงเวลาเดียวกันในสถานการณ์ปกติ เมื่อปี 2562 ซึ่งพบว่ามีปริมาณขยะพลาสติกเฉลี่ย 2 Mt หรือประมาณ 5,500 t/d [2] ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปจัดการโดยการฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ซึ่งพบปัญหาในเรื่องของพื้นที่ฝังกลบ และการแพร่ระบาดของเชื้อโรคเนื่องจากน้ำขยะ ในส่วนของการเผาไหม้นั้นยังคงพบว่ามีปริมาณการนำไปเผาไหม้ต่ำเนื่องจากสถานีหรือโรงกำจัดขยะมีจำนวนน้อย ประกอบกับปัญหาในเรื่องการขนส่งขยะจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดเผาไหม้ อีกทั้งการเผาไหม้ยังพบปัญหาในเรื่องของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ตามมีการนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ำมันและแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงาน ซึ่งเทคโนโลยีเรียกรวมว่า กระบวนการพีจีแอล (PGL process) ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) โดยเป็นการสลายตัวทางความร้อนเพื่อให้เป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะการทำปฏิกิริยาที่จำกัดปริมาณออกซิเจนและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบของแก๊สเชื้อเพลิง ของแข็ง และของเหลว [3] อย่างไรก็ตามกระบวนการที่เหมาะสมหนึ่งที่สามารถกำจัดขยะพลาสติกในแหล่งกำเนิดได้ทันที และนิยมนำ

มากได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เนื่องจากมีขั้นตอนไม่ซับซ้อน และได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบของเหลวที่สามารถนำไปจุดติดไฟได้ รวมไปถึงการสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์และมีสมบัติเติมทดแทนน้ำมันในเครื่องยนต์ขนาดเล็กได้เช่นเดียวกัน โดยให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันประมาณ 38-55%wt และก๊าซเชื้อเพลิงประมาณ 10-30%wt และส่วนเหลือเป็นของแข็ง [8]

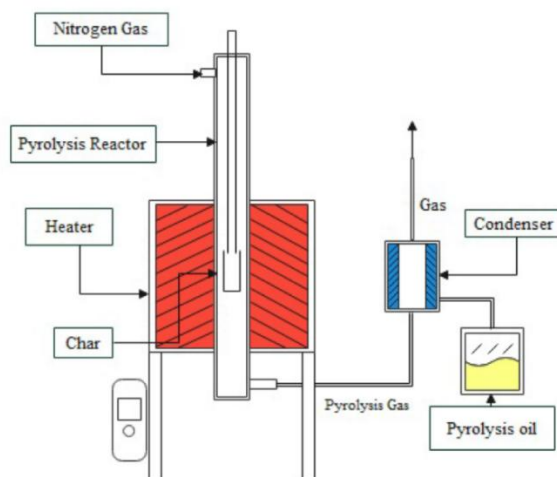
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นในการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก และการพัฒนาระดับคุณภาพของน้ำมันให้สามารถนำไปใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้พลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) โดยนำมาตัดให้มีขนาดเล็กและมีความหนาแน่น $0.91-0.96 \text{ g/cm}^3$ ดังภาพที่ 1 โดยทำการทดลองในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ให้ความร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าภายในเตาเผา โดยห้องเผาไหม้เป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ที่ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าที่ช่วงอุณหภูมิปฏิกิริยาในช่วง $500-700^\circ\text{C}$ และใช้ตัวอย่างขยะพลาสติกจำนวน 40 g พร้อมป้อนก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 100 L/h ดังภาพที่ 2 จากนั้นทำการทดลองในช่วงระยะเวลาจนเกิดการสลายตัวจนหมด ก๊าซไพโรไลซิสที่ได้จะออกผ่านไปยังชุดควบแน่นด้วยน้ำและจะได้ของเหลว ส่วนก๊าซไพโรไลซิสก็จะถูกจุดติดไฟ ภายหลังจากการทดลองแล้วก็จะทำเก็บตัวอย่างของแข็งไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อทำการสมมูลมวลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ในขณะเดียวกันน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากชุดควบแน่นนั้น จะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อไปวิเคราะห์หาสมบัติได้แก่ ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง และค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์สมบัติดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน



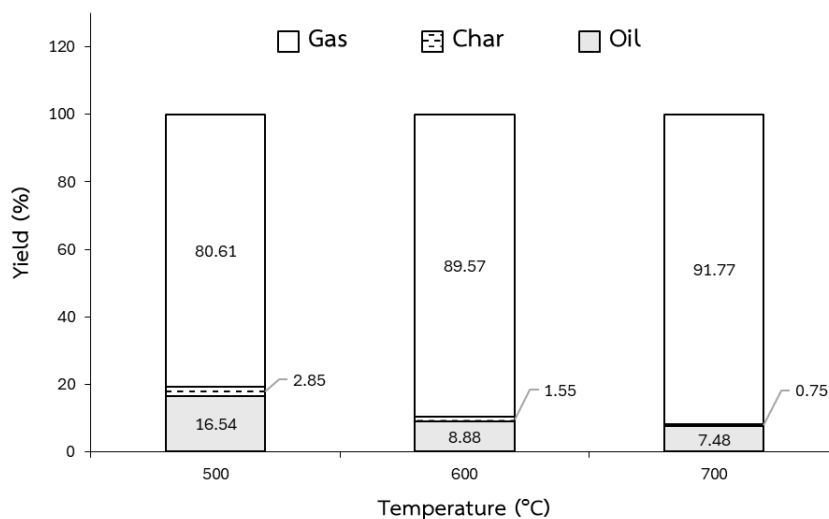
ภาพที่ 2 แผนภาพเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

อุปกรณ์	รายละเอียด
- บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter), LECO Model AC500	ใช้วิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันผ่านการจุดระเบิด (combustion vessel) ใช้ได้ทั้งเส้นลวด หรือ เส้นด้าย โดยตรวจวัดอุณหภูมิที่ความละเอียด 0.0001 °C ทุก ๆ 6 s
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Analytical Balance), Model: ENTRIS224i-1S	ใช้ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง โดยมีค่าความละเอียด 0.1 mg ซึ่งน้ำหนักสูงสุด 220 g
- เครื่องวัดกรด-ด่าง ยี่ห้อ Horiba, Model: LAQUAtwin PH 33	ช่วงการวัด pH 0.0 ถึง 14.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

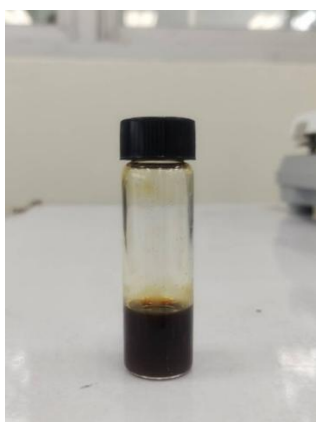
จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C 600°C และ 700°C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลทำให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนและทำให้มีปริมาณก๊าซไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมันไพโรไลซิสลดลง โดยอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C มีปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 16.54% มีปริมาณถ่านชาร์ 2.85% และมีปริมาณแก๊ส 80.61% รองลงมาได้แก่อุณหภูมิ 600°C มีปริมาณ 8.88%, 1.55% และ 89.57% ตามลำดับ ได้ปริมาณต่ำที่สุดได้แก่อุณหภูมิ 700°C มีปริมาณ 7.48%, 0.75% และ 91.77% ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



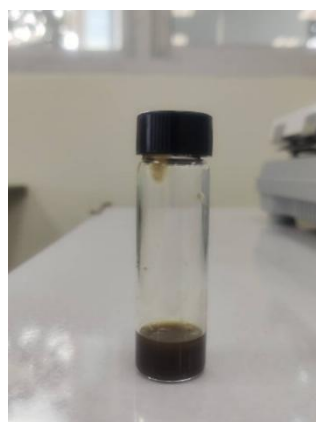
ภาพที่ 3 ร้อยละผลผลิตของของน้ำมัน ถ่านชาร์ และแก๊ส

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิส

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิสที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 500°C เป็นสีน้ำตาลอ่อน ที่อุณหภูมิ 600°C มีสีน้ำตาลอ่อนอมเขียว และที่อุณหภูมิ 700°C เป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลต่อลักษณะของสีน้ำมันไพโรไลซิส



(ก)



(ข)



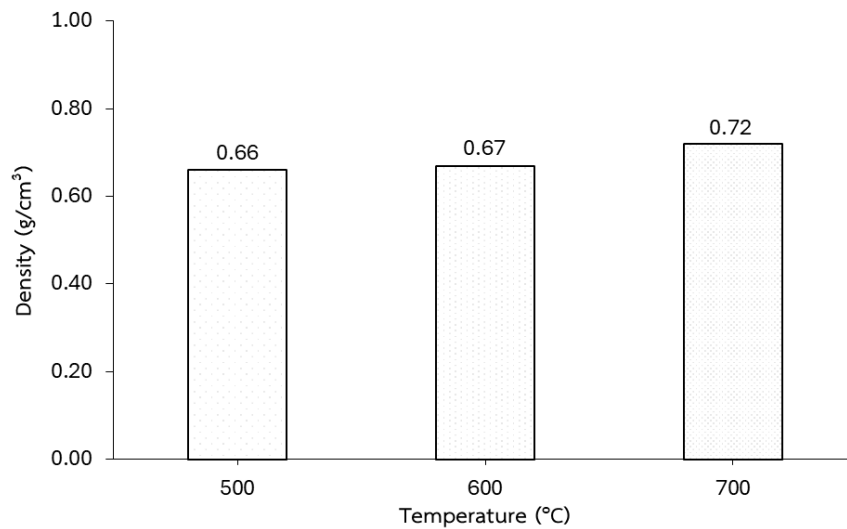
(ค)

ภาพที่ 4 สีของน้ำมันพลาสติกจากทั้ง 3 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา

(ก) อุณหภูมิ 500°C (ข) อุณหภูมิ 600°C (ค) อุณหภูมิ 700°C

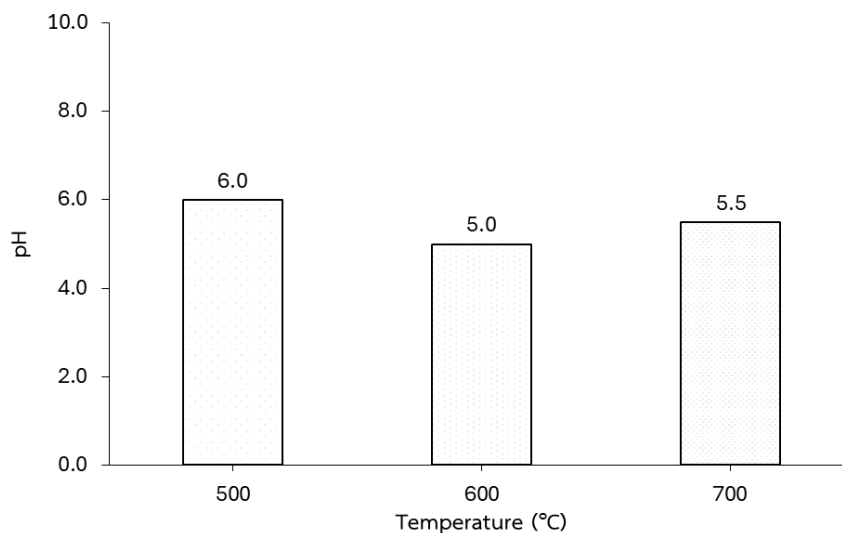
ภาพที่ 5 แสดงค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ 500°C จะให้ความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ 0.66 g/cm^3 รองลงมาที่อุณหภูมิ 600°C ให้ความหนาแน่นเท่ากับ 0.67 g/cm^3 และที่อุณหภูมิ 700°C จะให้ความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 0.72 g/cm^3 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันไพโรไลซิส

จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.87-0.95 g/cm³ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล (Bio-oil) จากกระบวนการไพโรไลซิส พบว่ามีค่าใกล้เคียงในช่วงความหนาแน่นในช่วง 0.94-1.09 g/cm³ [6]



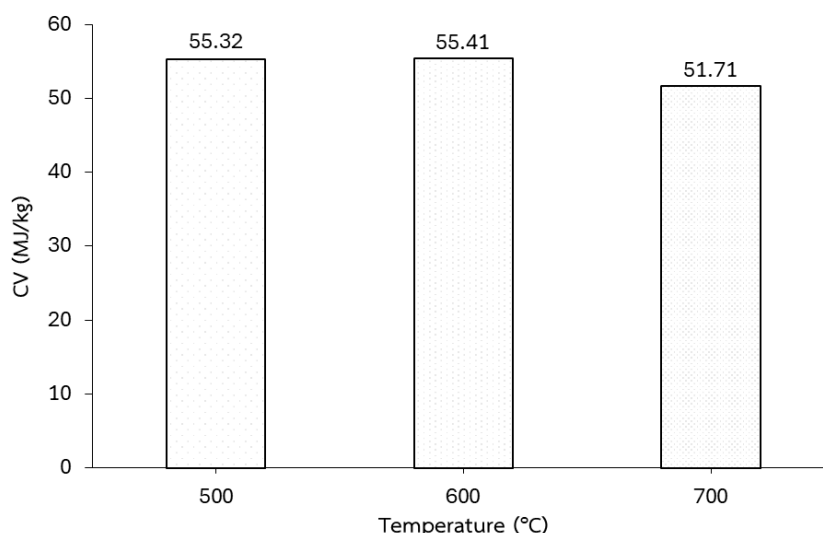
ภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

ภาพที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติความเป็นกรดต่างของน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในกรณีนี้หากมีการนำไปใช้งานก็สามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดค่าความเป็นกรดก่อนนำไปใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงผสม (Blend oil) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้เช่นกัน [9] จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันไพโรไลซิสที่ทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 5.0 - 6.0 ซึ่งถือว่ามีความเป็นกรดอ่อน



ภาพที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

ภาพที่ 7 แสดงผลอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีผลต่อค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิส ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าอยู่ในช่วง 51.71 - 55.41 MJ/kg โดยมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีค่าความร้อนในช่วง 45 - 46 MJ/kg พบว่ามีค่าสูงกว่าเนื่องจากน้ำมันดีเซลที่ใช้ในประเทศไทยปัจจุบันจะมีการผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล (B10) จึงทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (Diesel Fuel)



ภาพที่ 7 ค่าความร้อนน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง สามารถผลิตน้ำมันได้โดยได้สัดส่วนน้ำมันสูงสุด 16.54% ที่อุณหภูมิ 500°C และการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันมาแวนโน้มลดลง เมื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสแล้วพบว่ามีความหนาแน่นในช่วง 0.66-0.72 g/cm³ ค่าความร้อนของน้ำมันอยู่ในช่วง 51-55 MJ/kg ซึ่งผลจากการทดลองจะนำไปใช้ในการออกแบบขยายชุดปฏิกรณ์ที่มีกำลังการผลิตสูงขึ้น ในส่วนของน้ำมันไพโรไลซินั้นก็จะทำการศึกษาและวิธีการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันเพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิต และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนให้อำนวยความสะดวกและงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2564). ข้อมูลขยะมูลฝอยชุมชน เอกสารประกอบการจัดทำรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2564. (เอกสารอัดสำเนา).
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2562. กรุงเทพมหานคร.
- [3] ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. (2019). การผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซลจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติก และชีวมวล. UNISEARCH (Unisearch Journal), 6(3), 10-16.
- [4] นำพร ปัญญาใหญ่, ทิพาพร คำแดง, & ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2017). การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก และการประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, 1(1), 85-97.
- [5] ฉันทบูรณ์ ถาวรธรรม (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 2563(2) กรกฎาคม – ธันวาคม, 15-32
- [6] ศรยุทธ ชาญเสน, นุชิตา สุวแพทย์, & อติศักดิ์ ปัตติยะ. (2013). ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอยล์จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วโดยใช้กากสับดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 32(4), 526-530.
- [7] เดช เหมือนขาว, ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มิ่งม. (2556). การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก. การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3 “ชุมชนท้องถิ่นฐานรากการพัฒนาประชาคมอาเซียน” 9-10 พฤษภาคม 2556 (502-508).
- [8] Panda, A. K., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2009). 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*, 14(1), 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.005>
- [9] G. Evans, C. Smith. (2012). 5.11 - Biomass to Liquids Technology. *Comprehensive Renewable Energy*. Elsevier Volume 5, Pages 155-204
- [10] Oasmaa A, Peacocke C. **Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide**: VTT Technical Research Centre of Finland; 2010. 134 p. <https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/publications/2010/P731.pdf>