

การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Plastic Waste Conversion into Fuel Oil through the Pyrolysis Process

ฐิติพงษ์ แสงจันทร์¹ พิสิษฐ์ มณีโชติ² ไพฑูรย์ เหล่าดี^{3,4}
สหทัยา ทองสาร² พชรินทร์ เยาวรัตน์² และ ปรีชา ศรีประภาคาร^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

²วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่
กรุงเทพมหานคร 10600

¹Faculty of Science Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

²School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

³Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai 50300

⁴Faculty of Engineering and Technology, SIAM Technology College, 46 Wat Tha Phra Subdistrict,
Bangkok Yai District, Bangkok 10600

*Corresponding author: Tel.: +66 82 629 8916. E-mail address: sriprapakan@gmail.com

Abstract

This research aims to investigate the effect of plastic waste cleanliness on the quantity and properties of oil produced through the pyrolysis process. The goal is to identify an improved process model that can serve as an alternative technology for managing plastic waste accumulated in landfill sites, which represents a significant environmental pollution issue and convert the resulting product, oil, into a beneficial resource. The research utilizes plastic waste from landfills as the primary material, including plastic carry bags, hot and cold bags, food wraps, snack bags, and drinking straws, which are prevalent in landfills and categorized as single-use plastics. After separating the plastic types, the research team determined the moisture content, finding it to be 5.057%. The plastic waste was then classified into three types based on cleanliness criteria as follows: Type 1 consists of uncleaned plastic waste after sorting, with a moisture content of 6.25%. Type 2 consists of plastic waste that has been shaken to remove dust and dirt before analysis, with a moisture content of 5.17%. Type 3 consists of plastic waste that has been shaken to remove dust and dirt and thoroughly wiped with a cloth, resulting in a moisture content of 4.92%.

In the pyrolysis process, combustion was maintained at 500 °C using 3 kg of plastic waste per cycle. During the process, the temperature inside the reactor and the hot gas temperature were recorded to conduct a comparative analysis of oil yield from each type of processed waste. The research results revealed that Type 1, Type 2, and Type 3 plastic waste produced oil yields of 520 ml, 1,010 ml and

1,300 ml respectively. The remaining residue weights within the reactor were 0.88 kg, 0.66 kg and 0.58 kg with combustion durations of 110 minutes, 135 minutes, and 135 minutes, respectively. The comparative analysis indicates that Type 3 plastic waste produces the highest oil yield. Further property analysis showed that the oil obtained from Type 3 plastic waste had a density of 0.776 g/cm³ a viscosity of 1.740 cSt and elemental composition of 83.57% carbon, 13.93% hydrogen, and 0.27% nitrogen. The calorific value was measured at 40.65 MJ/kg, which is 11.89% lower than that of diesel fuel. The initial properties of this oil can be used in diesel internal combustion engines. The initial production price per liter is approximately 20-25 baht per liter.

Keywords: Plastic waste, Fuel oil, Pyrolysis process, Combustion

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสะอาดของขยะพลาสติกต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมัน ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อหารูปแบบการยกระดับกระบวนการพร้อมเป็นเทคโนโลยีทางเลือกด้านการจัดการขยะ พลาสติกที่มีอยู่ตามบ่อขยะ ซึ่งเป็นปัญหาด้านมลพิษมากต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำเทคโนโลยีกระบวนการไพโรไลซิสมารประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถนำไปสู่การกำจัดขยะโดยเกิดมลพิษน้อย และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคือน้ำมันมาใช้ประโยชน์ใช้ขยะพลาสติกจากบ่อขยะเป็นวัสดุตั้งต้นในการวิจัย เช่น ถูหุ้มหัว ถูร้อน ถูเย็น แร่ปอาหาร ถูขนม หลอดดูด เป็นต้น ซึ่งพบว่าปริมาณมากในบ่อขยะ ขยะพลาสติกเหล่านี้เป็นประเภทที่ใช้แล้วทิ้ง ซึ่งกระบวนการหลังจากการคัดแยก ประเภทของพลาสติกออกแล้ว ผู้วิจัยได้นำพลาสติกไปทำการตรวจหาค่าความชื้น ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่ามีความชื้น อยู่ที่ 5.057% ผู้วิจัยได้ทำการจำแนกขยะออกเป็น 3 ชนิดโดยใช้เกณฑ์ตามความสะอาดดังนี้ แบบที่ 1 คือขยะพลาสติก ไม่ได้มีการทำความสะอาดหลังจากคัดแยก วัดค่าความชื้นได้ 6.25% แบบที่ 2 คือขยะพลาสติกที่นำมาสับแต่เอาเศษฝุ่นดิน ต่างๆ ออกก่อน วัดค่าความชื้นได้ 5.17% และแบบที่ 3 คือขยะพลาสติกที่นำมาสับแต่เอาเศษฝุ่นดินต่างๆ ออกและใช้ผ้า เช็ดให้สะอาด วัดค่าความชื้นได้ 4.92% งานวิจัยนี้กระบวนการไพโรไลซิสมีการควบคุมอุณหภูมิเผาไหม้ที่ 500 °C และการ ทดลองจะใช้ขยะพลาสติกปริมาณ 3 กิโลกรัม/รอบ และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในถังและอุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกจาก กระบวนการ เพื่อนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบหาปริมาณน้ำมันต่อรูปแบบขยะที่จัดการจากกระบวนการไพโรไลซิส

ผลการวิจัยพบว่า ขยะพลาสติกแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 สามารถผลิตน้ำมันได้ปริมาณ 520 ml, 1,010 ml และ 1,300 ml ตามลำดับ ปริมาณกากตะกอนที่เหลือภายในเตามีน้ำหนัก 0.88 kg, 0.66 kg และ 0.58 kg ใช้เวลาใน กระบวนการไพโรไลซิสอยู่ที่ 110 นาที 135 นาที และ 135 นาที ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ขยะ พลาสติกแบบที่ 3 ได้ผลน้ำมันมากที่สุดและผลการตรวจหาคุณสมบัติ พบว่า ขยะพลาสติกแบบที่ 3 มีค่าความหนาแน่น 0.776 g/cm³ ค่าความหนืด 1.740 cSt องค์ประกอบของธาตุ Carbon%, Hydrogen%, Nitrogen% ประกอบด้วย 83.57%, 13.93%, 0.27% ตามลำดับ และให้ค่าความร้อน 40.65 MJ/kg ให้ค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89% ทั้งนี้คุณสมบัติน้ำมันเบื้องต้นสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องยนต์ดีเซลได้ สำหรับราคาคำนวณการผลิต ต่อลิตรประมาณ 20-25 บาทต่อลิตร

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก, น้ำมันเชื้อเพลิง, กระบวนการไพโรไลซิส, การเผาไหม้

บทนำ

ในปัจจุบันมีในประเทศไทย มีรูปแบบการจัดการขยะพลาสติกหลายอย่างเช่น การรีไซเคิล การฝังกลบ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Upcycling) และ การแปรรูปเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) แต่ปริมาณขยะส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะใช้รูปแบบการจัดการแบบฝังกลบซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายสำหรับการจัดการ แต่ก็มีข้อเสียมาก โดยหลักการการจัดการแบบฝังกลบคือ ขยะจะถูกนำมาทิ้ง โกล่เกลี่ยบดให้เรียบ และกลบทับด้วยดินทำเป็นชั้นๆ เพื่อลดการแพร่กระจายของกลิ่นและพิษอื่นๆ หลุมฝังกลบขยะต้องมีการวางระบบควบคุมการรั่วไหลของน้ำเสียเพื่อป้องกันการปนเปื้อนลงสู่ดินและสายกระแสน้ำใต้ดิน ตลอดจนต้องมีระบบควบคุมการระบายก๊าซ เช่น ก๊าซมีเทน (Methane, CH₄) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์เมื่อมีระยะเวลาการหมักการย่อยสลายขยะอินทรีย์เพียงพอ ปัญหาอื่นๆ จากหลุมฝังกลบขยะคือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้มีผลต่อสิ่งแวดล้อม ใช้พื้นที่มากซึ่งเมื่อปริมาณขยะมากก็จะมีแนวโน้มที่จะเต็มในระยะเวลาอันใกล้ และสุดท้ายคือมลพิษทางอากาศนอกจากกลิ่นก็จะมีฝุ่นละอองเกิดขึ้น [1]

ขยะพลาสติกปัจจุบันมีอัตราการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกร้อยละ 12 จากช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นประมาณ 2,000,000 ตันต่อปี ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียว โดยที่ขยะพลาสติกหมายถึง วัสดุพลาสติกที่ถูกทิ้งหลังจากใช้งานหรือหมดอายุการใช้งานแล้ว วัสดุเหล่านี้มักไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหามลพิษ [2] เช่น ฝุ่นควัน ฝุ่นเขี้ยว ฝุ่นหิว เป็นต้น พบว่า มีอัตราเท่ากับการใช้พลาสติก 0.124 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกมีให้ใช้ง่าย สะดวกสบายในการใช้งาน ใช้เสร็จสามารถทิ้งได้เลย กอปรกับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่กำลังฟื้นฟูกลับมาจาก โควิด-19 ทำให้นักท่องเที่ยวมากขึ้น มีการใช้ง่ายที่มากขึ้น ในการจัดการขยะพลาสติกนั้นกระบวนการไพโรไลซิส จะสามารถจัดการขยะได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นระบบปิด ปลอดภัยมลพิษน้อย และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันจากกระบวนการผลิตไปใช้งานต่อได้อีก [3] อีกทั้งจากรายงานการวิเคราะห์สำนักงบประมาณของรัฐบาล [4] การบริหารจัดการขยะมูลฝอยภายใต้งบประมาณแผนงานบูรณาการ ฉบับที่ 14/2560 มีการใช้งบประมาณไปกับการจัดการขยะปี พ.ศ. 2559-2561 เฉพาะด้านจัดการขยะอยู่ที่ 4,161 ล้านบาท ซึ่งถือว่าสูงมาก [5] [6]

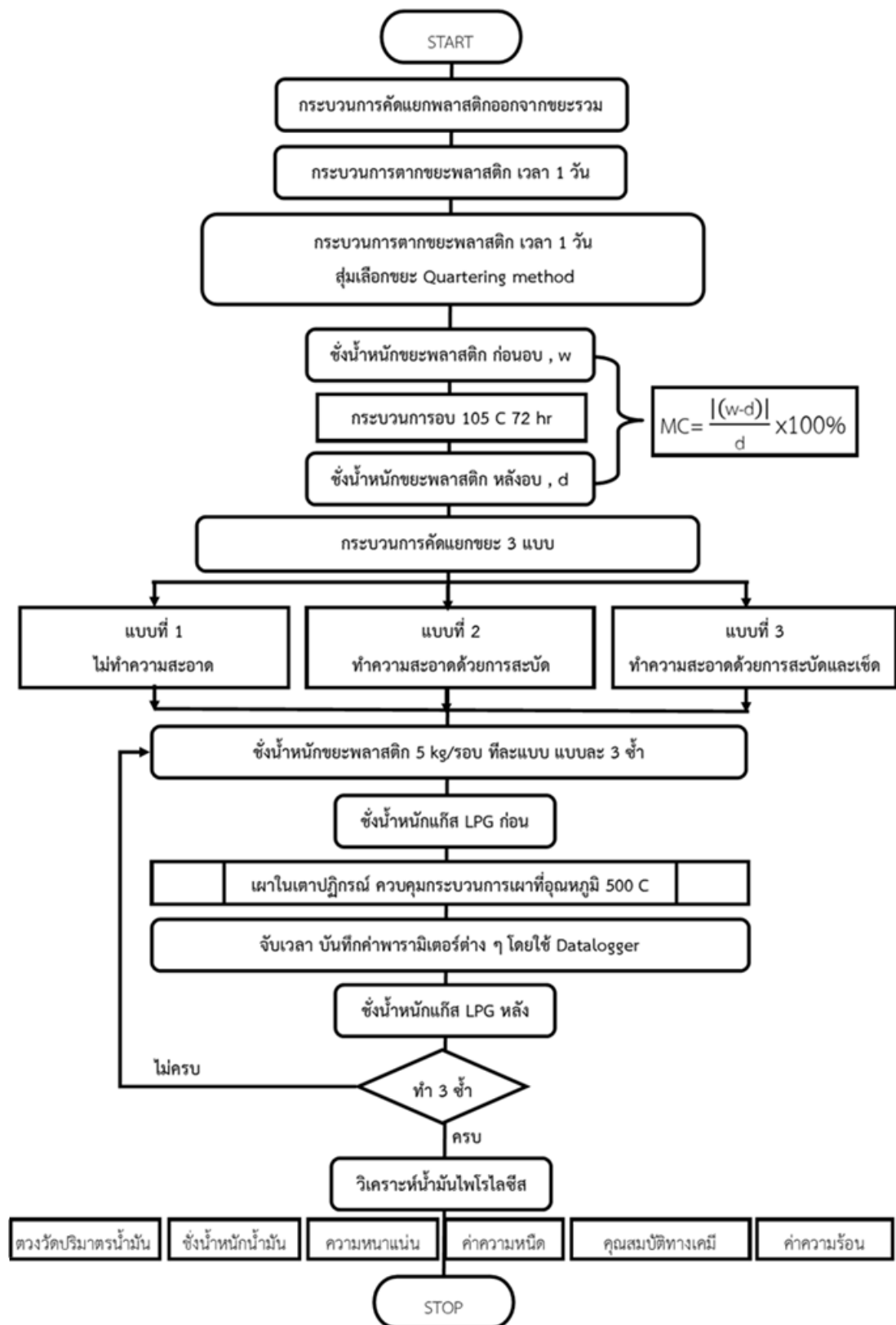
กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) เป็นกระบวนการแตกตัวของสารประกอบด้วยความร้อนปานกลางที่อุณหภูมิ 400 - 800 °C [7] ในสภาวะปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนน้อย [8] ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ของแข็ง (Char) ของเหลว (Oil) และแก๊ส (Gas) โดยสัดส่วนผลผลิตแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความเร็วในการให้ระบบ [9] โดยในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ของเหลว (น้ำมัน) มากที่สุดเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อและมุ่งเน้นเรื่องของการจัดการขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุดและไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [10] [11] อีกทั้งระบบไพโรไลซิส เป็นระบบที่มีขนาดเล็กและสามารถขยายได้ตามที่ต้องการ จึงมีความยืดหยุ่นเป็นตัวเลือกที่สำหรับการจัดการขยะพลาสติก ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะของทางรัฐและลดมลพิษทางอากาศได้เป็นอย่างดีโดยมีผลงานวิจัย ความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งได้ทำการวิจัยทดสอบโดยใช้ขยะจากหลุมฝังกลบน้ำหนัก 30 kg ผ่านกระบวนการคัดแยกทางกลจากศูนย์กำจัดขยะแบ่งเป็นรอบละ 5 kg ใช้หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม LPG สำหรับให้ความร้อนแก่ระบบใช้เวลาทดลอง 4 ชั่วโมง อุณหภูมิในระบบประมาณ 400-500 °C พบว่า ระบบสามารถได้น้ำมัน 1.65 liter ต่อขยะ 5 kg และให้ค่าความร้อนของน้ำมันที่ 30-35 MJ/kg เมื่อคิดเป็นร้อยละเปรียบเทียบระหว่างขยะที่ใส่ในกระบวนการและน้ำมันที่ออกมาคิดเป็นร้อยละ 33 [12] ความร้อนที่ให้แก่กระบวนการไพโรไลซิส เป็นความร้อนทางอ้อมที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแล้ว ถ่ายเทไปให้กับวัตถุที่อยู่ข้างใน โดยทั่วไปอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสจะอยู่ที่ประมาณ 400 - 800 °C [6] ซึ่งภายในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ช่วงขั้นแรกเป็นการสลายตัวของสารที่ระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) และขั้นที่สอง เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถแตก ตัวได้ที่ สภาวะที่ใช้ก็

จะแตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อย ๆ [13] ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาและอุณหภูมิที่ให้ระบบทำงาน จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตถุดิบ ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถตอบความเป็นไปได้ของปัญหา แต่ในกระบวนการไม่ได้มีการล้างทำความสะอาด ทำให้ไม่สามารถรู้ถึงคุณลักษณะทางกายภาพของขยะต่อการผลิตน้ำมัน จึงเป็นที่มาของปัญหานานวิจัย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความสะดวกของขยะพลาสติกต่อปริมาณน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

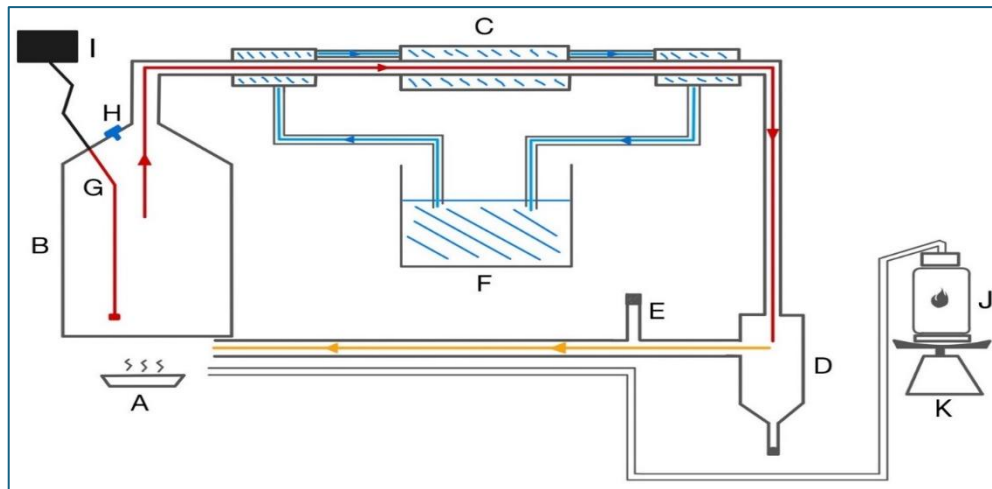
วิธีการวิจัย

สำหรับวิธีการวิจัยจำแนกออกเป็นลำดับขั้นตอนสามารถอธิบายได้เป็นตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ทำการแยกขยะพลาสติกออกจากขยะประเภทขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหารหรือสิ่งปฏิกูลภายจากบ่อขยะ
2. นำขยะพลาสติกผึ่งแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน แล้วสุมพลาสติกเพื่อคำนวณหาค่าความชื้นขยะพลาสติก
3. ทำการแยกขยะพลาสติกที่ได้ออกเป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 คือขยะพลาสติกที่ไม่ได้ทำความสะอาดแต่อย่างใด นั่นก็คือขยะพลาสติกที่ถูกคัดแยกจากบ่อแล้วแยกออกซึ่งน้ำหนักเตรียมสำหรับทดสอบ แบบที่ 2 คือขยะพลาสติกถูกทำความสะอาดโดยวิธีการสับเพื่อกำจัดเศษดิน ผุ่น ออกจากขยะพลาสติก จำนวน 5 ครั้ง โดยแน่ใจว่าสะอาด และแบบที่ 3 คือ ขยะพลาสติกถูกทำความสะอาดโดยวิธีการสับจำนวน 5 ครั้งด้วยมือให้เศษต่างๆ ออก และใช้ผ้าชุบน้ำลูบเช็ดสิ่งสกปรกออกจำนวน 5 ครั้ง
4. นำขยะพลาสติกที่เตรียมไว้จำนวน 3 kg ต่อบรรจุการผลิต ไปเผาในเตาไพโรไลซิส ชนิด Fixed-Bed Reactors ที่มีขนาดปริมาตร 50 liters [14] และควบคุมอุณหภูมิภายในเตาที่ 500 °C
5. เก็บข้อมูลน้ำหนักของแก๊สสูงต้ม LPG ก่อนเผา และหลังเผา ด้วยตาชั่งดิจิทัล ชนิด Digital Scale 300 kg Floor Scale with Ramp
6. เก็บข้อมูล และบันทึกค่าอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ โดยใช้ Datalogger ยี่ห้อ Graphtec data logger รุ่น GL840 ทุกๆ 5 นาที
7. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการเผา จะทำการชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งดิจิทัล และตวงวัดปริมาตรของน้ำมันที่ได้ โดยใช้ถ้วยตวงแก้ว ขนาดปริมาตร 1,000 cc และทำการบันทึกผล
8. ทำการทดสอบซ้ำขยะพลาสติกแต่ละแบบจำนวน 3 รอบ โดยการเปลี่ยนขยะเป็นแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ
9. เตรียมตัวอย่างน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไปตรวจวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้ ค่าความหนาแน่นใช้เครื่องมือวัดค่าความหนาแน่น Density Meter รุ่น DMA 4500 มีคุณสมบัติ Pressure 0 bar to 10 bar (0 psi to 145 psi) 0 bar to 5 bar (0 psi to 72.5 psi) ค่าความแม่นยำ (Accuracy) Density 0.00005 g/cm³ (full range), 0.00001 g/cm³ (0 g/cm³ to 1 g/cm³, 15 °C to 20 °C) ASTM standards: D4052, D5002 ค่าความหนืดใช้เครื่องมือวัดค่าความหนืด Viscometer mini รุ่น AV Series คุณสมบัติ ท่อสโตล์ Ubbelohde มีความหนืด 100 เท่า ย่านการวัดระหว่าง 0.5 mm²/s (cSt) และ 10,000 mm²/s (cSt) จาก 15 °C ถึง 100 °C ตรงตามมาตรฐาน ASTM D446/ISO 3105 การวัดค่าคุณสมบัติทางเคมีน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมส่วนประกอบทางเคมี ใช้เครื่องมือ CHN628 Leco คุณสมบัติ ช่วงความแม่นยำ (Precision Range) Carbon: 0.01 mg or 0.5%, whichever is greater RSD Hydrogen: 0.05 mg or 1.0%, whichever is greater RSD, Nitrogen, Helium Model: 0.01 mg or 0.3% RSD, whichever is greater, Nitrogen, Argon Model: 0.03 mg or 0.6%, whic RSD hever is greater ณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และตรวจวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องมือวัด Bomb -Calorimeter รุ่น LECO AC500 Isoperibol Stainless Steel Bomb Calorimeter ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการดำเนินงานวิจัย ดังแผนภาพ (Flow chart) ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงวิธีการทดลอง



ภาพที่ 2 แสดงเส้นทางการไหลของแก๊สและจุดวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3 แสดงระบบเตาไฟโรไลซิส

จากรูปภาพที่ 2 ได้แสดงจุดของระบบเตาไฟโรไลซิสดังนี้ จุด A คือจุดที่ให้ความร้อนกับเตาปฏิกรณ์โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน จุด B คือส่วนเตาปฏิกรณ์ระบบที่ใส่ขี้เถ้าพลาสติก ที่จุด C เป็นส่วนของการลดอุณหภูมิเพื่อให้แก๊สร้อนที่ได้จากเตาปฏิกรณ์เกิดการควบแน่น และไหลลงไปที่ส่วนของจุด D ซึ่งเป็นจุดสำหรับรองรับน้ำมันที่ผลิตได้หลังจากการผ่านกระบวนการควบแน่น ส่วนในจุด E เป็นวาล์วกั้นแรงดันไหลย้อนกลับเข้าระบบเตาปฏิกรณ์ ในจุด F จะเป็นถังน้ำเย็นที่ได้มาจากน้ำประปาเพื่อใช้ในกระบวนการลดอุณหภูมิแก๊สร้อนที่ออกจากเตาปฏิกรณ์สำหรับการควบแน่น ที่จุด G เป็นจุดสำหรับวัดค่าอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ ส่วนจุด H จะทำการติดตั้งเกจวัดอุณหภูมิแก๊สร้อน และในจุด I จะทำการต่อการบันทึกค่าอุณหภูมิด้วย Datalogger ส่วนสุดท้ายเป็นการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงแก๊ส

ต้มโดยที่จุด J จุดแสดงการตั้งถังแก๊สหุงต้ม LPG ซึ่งวางอยู่บนจุด K ที่เป็นตาชั่งน้ำหนักถังแก๊สหุงต้มขณะก่อนและหลังดำเนินการให้ความร้อนเตาปฏิกิริยา

สำหรับการคำนวณหาค่าความชื้นของขยะพลาสติกทั้ง 3 แบบที่ใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยใช้การเลือกประชากรขยะโดยการสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอยพลาสติก โดยการนำขยะมูลฝอยทั้งหมดมาเทกองรวมกันบนอุปกรณ์ปูพื้นที่เตรียมไว้และทำการคลุกเคล้าให้องค์ประกอบต่างๆกระจายกันอย่างทั่วถึง จากนั้นทำการกองขยะมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย แบ่งกองขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) ทำการเลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงกันข้ามกันมาเป็นตัวแทน ส่วนที่เหลือจะแยกทิ้งไป และทำแบบนี้ไปจนได้ปริมาณขยะที่ต้องการ จากนั้นนำขยะที่ได้จากกองขึ้นมาจำนวนหนึ่ง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ (w) และนำเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air dryer) อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากจบกระบวนการก็ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ (d) อีกครั้ง และนำไปคำนวณในสมการที่ 1 เพื่อหาค่าความชื้น

$$MC = \frac{(w-d)}{d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%) w คือ น้ำหนักเริ่มต้น (kg) และ d คือ น้ำหนักสุดท้าย (kg)

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ต้นทุน (Cost) คือ มูลค่าของทรัพยากรที่องค์กรใช้ประโยชน์เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนวัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งนี้ต้นทุนก็คือ ค่าใช้จ่าย ต้นทุนการผลิต (Production costs, PC) ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Direct Materials Cost, DMC) ค่าแรงงาน (Labor costs, LC) ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Manufacturing Costs, MC) จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ (Number of Products that can be Produced, NP) สามารถคำนวณต้นทุนการผลิตได้ตามความสัมพันธ์สมการที่ (3) [15]

$$PC = \frac{DMC + LC + MC}{NP} \quad (2)$$

เมื่อ PC คือ ต้นทุนการผลิต (Baht) DMC คือ ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Baht) LC คือ ค่าแรงงาน (Baht) MC คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Baht) และ NP คือ จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ (Numbers)

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

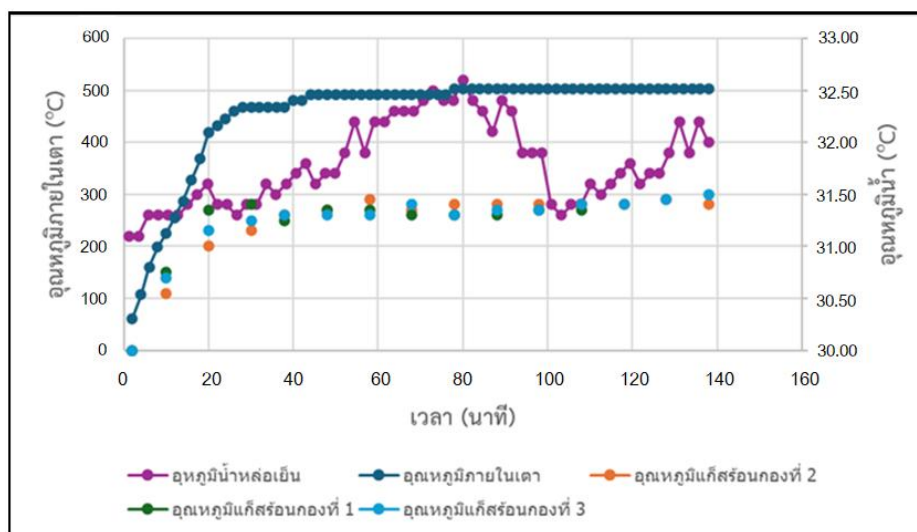
การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนเป็นการวิเคราะห์ถึงระยะเวลาที่ดำเนินโครงการสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลากี่ปี เมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าต้นทุนที่จ่ายออกไป โดยที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ต้นทุนของโครงการ (Cost of project, CP) กระแสเงินสดของโครงการ (Project cash flow, PCF) สามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์สมการที่ (3) [15]

$$PP = \frac{CP}{PCF} \quad (3)$$

เมื่อ *PP* คือ ระยะเวลาคืนทุน (Year) *CP* คือ ต้นทุนของโครงการ (Baht) และ *PCF* คือ กระแสเงินสดของโครงการ (Baht)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลผลการวิจัย

ขั้นตอนการหาความชื้นของขยะ ซึ่งได้มีการจำแนกออกเป็น 3 แบบ พบว่า แบบที่ 1 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_1) มีน้ำหนัก 0.51 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_1) มีน้ำหนัก 0.48 g ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_1 เท่ากับ 6.25 % และแบบที่ 2 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_2) มีน้ำหนัก 0.61 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_2) 0.58 ได้ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_2 เท่ากับ 5.17 % และแบบที่ 3 น้ำหนักขยะพลาสติกก่อนเข้าอบ (w_3) มีน้ำหนัก 0.64 g น้ำหนักขยะพลาสติกหลังอบ (d_3) 0.61 ผลการคำนวณความชื้นเริ่มต้นของขยะมีค่า MC_3 เท่ากับ 4.92 % พบว่า ค่าความชื้นของขยะพลาสติกแบบที่ 1 มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือแบบที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาไพโรไลซิสและอุณหภูมิแก๊สร้อนจากกระบวนการ

จากภาพที่ 4 ผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตาไพโรไลซิสและอุณหภูมิแก๊สร้อนจากกระบวนการพบว่า ที่ระยะเวลาการเผาในเตาปฏิกรณ์ 140 นาที เมื่อกระบวนการผ่านไป 20 นาที เตาปฏิกรณ์ เริ่มต้นเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส โดยดูจากเส้นกราฟอุณหภูมิภายในเตา เริ่มเข้าสู่อุณหภูมิ 400 °C ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมของแก๊สร้อนขยะพลาสติกทั้ง 3 แบบ ที่อุณหภูมิ 200 °C ขยะพลาสติกได้รับความร้อนจนถึงจุดสลายตัว โมเลกุลจะเริ่มแตกตัวและปล่อยแก๊สหรือสารระเหยต่าง ๆ ออกมา และเมื่อผ่านไปจนถึงเวลา 40 นาที แก๊สร้อนเริ่มมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นทำให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และกระบวนการแตกตัวและปล่อยแก๊สร้อนก็ได้รับการหล่อเย็นเพื่อควบแน่นเอาน้ำมันไปจนถึงนาทีที่ 140 ระบบเริ่มคงที่และหยุดการผลิตน้ำมันออกมา

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลปริมาตรน้ำมัน น้ำหนักของน้ำมันและกากตะกอนที่เหลืออยู่ภายในเตา

ประเภทการวัด	แบบที่ 1	แบบที่ 2	เปอร์เซ็นต์ +เพิ่มขึ้น /-ลดลง*	แบบที่ 3	เปอร์เซ็นต์ +เพิ่มขึ้น /-ลดลง*
ปริมาตรน้ำมัน (ml)	520	1,010	+94.23	1,300	+150

น้ำหนักน้ำมัน (kg)	0.3	0.70	+133.33	0.96	+220
น้ำหนักกากตะกอน (kg)	0.88	0.66	-25	0.58	-34.09
สีน้ำมัน					

* เมื่อเทียบกับแบบที่ 1

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลของขยะต่อปริมาณของน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น 94.23 % และ 150 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ผลของขยะต่อน้ำหนักน้ำมันไพโรไลซิส ที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้น 133.33 % และ 220 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ผลของขยะต่อน้ำหนักกากตะกอนน้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 2 และ 3 มีค่า ลดลง 25 % และ 34.09 % เมื่อเทียบกับแบบที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งน่าจะเป็นผลโดยตรงที่เกิดจากการล้างทำความสะอาด และ ผลของขยะต่อลักษณะทางกายภาพด้านสีของน้ำมัน พบว่าทั้งสามแบบนี้ มีลักษณะทางกายภาพด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เห็นได้ชัดคือเป็นสีดำเป็นฐานสี และมีตะกอนอยู่ด้านล่างขวดเป็นสีดำขุ่นๆ

ตารางที่ 3 นำน้ำมันที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกไปทำการตรวจสอบคุณภาพคุณสมบัติน้ำมัน โดยหาค่าความหนืด ความหนาแน่น คุณสมบัติทางเคมี และค่าความร้อนที่ได้จากน้ำมัน

คุณสมบัติ	น้ำมันจากการทดลอง	น้ำมันดีเซล มาตรฐาน	อ้างอิง
ความหนืด (centistoke หรือ cSt)	1.74000	2.0 - 4.5	[16] [18]
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.77632	0.8200	[17] [18]
ค่าความร้อน (MJ/kg)	40.6542	45.50	[18] [20]
องค์ประกอบของธาตุ (%)			
คาร์บอน (Carbon)	83.5720	84 - 87	[17] [19]
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	13.9270	14	[16] [20]
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.27459	0.1	[18] [19]

หมายเหตุ: ค่าความหนืดและความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนใช้ LECO AC500 Bomb Calorimeter ในการทดสอบ ค่าความหนืดใช้ cannon mini AV ในการวัด ค่าความหนืดใช้ เครื่อง DMA 4500 Density Meter ในการวัด ค่าองค์ประกอบของธาตุ ใช้ CHN 628 Leco ในการวัด

จากตารางที่ 3 น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้จากขยะพลาสติกแบบที่ 3 พบว่า ค่าความหนืด และ ค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 2.4 % และ 6.1 % ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) และ ไนโตรเจน (Nitrogen) พบว่า 83.57 % 13.93 % และ 0.27 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับกลุ่มน้ำมันดีเซล และเมื่อวัดค่าความร้อน 40.6542 MJ/kg ให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 5.5 MJ/kg ให้ค่าความร้อนได้น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89 %

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลงานวิจัยตามจุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาความสะอาดของขยะพลาสติกต่อปริมาณน้ำมันและคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยการแบ่งจำแนกขยะเป็น 3 แบบนั้น พบว่าสาระสำคัญของการทำความสะอาดมีผลโดยตรงต่อกระบวนการจัดการด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จะเห็นได้ว่าน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งมีการทำความสะอาดแบบที่ 3 เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด โดยให้ปริมาตรของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น 150 % น้ำหนักของน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น 220 % หนักกากตะกอนน้ำมันไพโรไลซิส ลดลง 34.09 % มีลักษณะทางกายภาพด้านสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความหนืดและค่าความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมันดีเซล เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน มีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 11.89 % ส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่เมื่อมองในแง่ของการจัดการสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าการใช้กระบวนการไพโรไลซิสสามารถนำมาเป็นทางเลือกในแก้ไขปัญหาการจัดการขยะพลาสติกได้ เพียงแต่ต้องมีระบบการทำความสะอาดเพิ่มขึ้น เพื่อยกระดับคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสให้เทียบเคียงน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจจะต้องวิเคราะห์ด้านการลงทุนในแต่ละกระบวนการต่อไป ประเด็นสำหรับของกระบวนการไพโรไลซิสจำเป็นต้องใช้แหล่งความร้อนทั้งนี้สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลและออกแบบเตาที่ใช้กับน้ำมันเครื่องเก่าที่ไม่ใช้แล้วก็จะเป็แหล่งเชื้อเพลิงทางเลือกที่ช่วยให้ประหยัดและลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมารถกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อำนวยความสะดวก อนุเคราะห์เครื่องมือวัดและสถานที่ทดสอบ ลำดับถัดมาขอบคุณสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี สุดท้ายขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] วพรรรัตน์ เพชรภักดี, ฤชญา จันทระเสนา. (2551). การรีไซเคิลขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน. สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- [2] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- [3] ทศนธร ภูมิยุทธ์. (2565). ขยะพลาสติก.สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [4] การบริหารจัดการขยะมูลฝอย ภายใต้งบประมาณแผนงานบูรณาการ.สำนักงานงบประมาณรัฐสภา. ฉบับ 14/2560
- [5] แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ. (2564). กรุงเทพฯ.กรมควบคุมมลพิษ
- [6] เดช เหมือนขาว, ยงยุทธ ดุลยกุล, ชัยยุทธ มีงาม. (2556). การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก.การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน, 2556(3), pp502-508
- [7] โชคชัย เหมือนมาศ, รวมพร นิคม. (2561). การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (รายงานการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [8] วิจิตรตัน พิชพัฒนวงศ์สกุล. (2558). อุณหภูมิและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสน้ำมันจากขยะพลาสติกขวดน้ำมันเครื่องประเภทพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง(รายงานผลวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [9] ยัวร์ตัน เงินเย็น. เครื่องผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก: เทคโนโลยี มข. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- [10] ฉันทบูรณ์ ถาวรรัตน์. (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. อดิเรก:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
- [11] นภาพร ปัญญาใหญ่, ทิพาพร คำแดง, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2560). การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก
และการประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก.วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม,1, pp85-97.
- [12] มหิดล สุริยพรรณ, ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ชร, สิริชัย จิรวงศ์สุวรรณ, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ, ความ
เป็นไปได้ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน.
นครปฐม:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
- [13] จุฑามาศ ไชยวงศ์, สุธาสนี แดงประดิษฐ์, สมมาส แก้วล้วน, และ สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว. การไพโรไลซิสของ
พลาสติกไร้เคลือบระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทร
วิโรฒ, 2, pp21-31
- [14] วิรุณ โมนะตระกูล, รัชพล สันติวรการ, พงษ์ศิริพันธ์ ลิ้มปิ่นนันทน์. (2562). โครงการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงโดย
กระบวนการไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกชุมชน (รายงานการวิจัย). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏ
มหาสารคาม.
- [15] อินทิรา สุวรรณดี, ภทรวดี พิมพ์โกทา, พรทิพา หมด, สุพรรณษา อามาศย์สมบัติ, อัจฉราภรณ์ บุตรภักดี และหทัย
การญจน์ เวียงหลวง. (2563). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตปลาร้าแปรรูป: กรณีศึกษา กลุ่ม
แจ่วบอง OTOP 3 ดาว บ้านหนองแก อำเภอสว่างแดนดิน อำเภอนอบัวลำภู จังหวัดอุดรธานี. (มหาวิทยาลัย
ราชภัฏอุดรธานี).
- [16] Wongkhorsub, C., & Chindaprasert, N. (2013). A comparison of the use of pyrolysis oils in
diesel engine. Energy and Power Engineering, 5(4), 350-355.
- [17] Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Combustion, performance and emission analysis of a
DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. Fuel Processing Technology, 157, 108-115.
- [18] Pakiya Pradeep, A., & Gowthaman, S. (2022). Combustion and emission characteristics of
diesel engine fuelled with waste plastic oil-a review. International Journal of Ambient
Energy, 43(1), 1269-1287.
- [19] Kumar, M., & Mallikarjuna, J. M. (2019, November). Experimental investigation on a
compression ignition engine with blends of plastic oil and diesel as fuel. In *National
Conference on IC Engines and Combustion* (pp. 85-97). Singapore: Springer Singapore.
- [20] Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Experimental evaluation of a diesel engine fuelled by
pyrolysis oils produced from low-density polyethylene and ethylene-vinyl acetate
plastics. Fuel Processing Technology, 161, 125-131.