

ปริทัศน์การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

A Review on the Use of Waste Plastic Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engines

ชลิตา แก้วบุตรดี¹ และ สมเกียรติ หมายถมกลาง^{2*}

Chalita Kaewbuddee¹ and Somkiat Maithomklang^{2*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ประเทศไทย

²สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประเทศไทย

¹Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, Thailand

²Department of Mechatronics and Robotics Engineering, School of Engineering and Innovation,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand

*E-mail: somkiat_ma@rmutto.ac.th Tel. (+66)890355644 ORCID: 0000-0003-0699-8804

(Received 13/05/2024, Revised 01/05/2025, Accepted 19/05/2025)

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องและต้องการแนวทางการจัดการอย่างยั่งยืน การแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงโดยเฉพาะในรูปแบบน้ำมันขยะพลาสติก (Waste Plastic Oil, WPO) ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสได้รับความสนใจจากแวดวงวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถลดปริมาณขยะที่ย่อยสลายยาก พร้อมทั้งสร้างแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการใช้งานจริง บทความปริทัศน์นี้รวบรวม วิเคราะห์ และสังเคราะห์องค์ความรู้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของ WPO ทั้งในด้านกายภาพ เคมี สมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และการปล่อยมลพิษโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า WPO มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนและค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล และสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างเครื่องยนต์มากนัก อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ค่าสีเทนต่ำ ความหนืดสูง จุดวาบไฟต่ำ และการปล่อยมลพิษบางชนิด เช่น NO_x และ CO ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ บทความยังชี้ให้เห็นช่องว่างของงานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นเพียงด้านเทคนิคและขาดการประเมินผลในมิติทางเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ เช่น ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของระบบผลิต WPO ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย และบทบาทของมาตรการภาครัฐในการส่งเสริมการใช้จริงในระดับอุตสาหกรรม ผลการทบทวนสะท้อนแนวทางการวิจัยในอนาคต ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพ WPO ให้เหมาะสมกับการใช้งานในเชิงพาณิชย์ การออกแบบระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงที่สอดคล้องกับสมบัติเชิงกายภาพของ WPO และการทดสอบเครื่องยนต์ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานทั้งในภาวะคงที่ (Steady-state) และภาวะชั่วขณะ transient เพื่อสร้างความเชื่อมั่นต่อการประยุกต์ใช้จริงในภาคพลังงานและอุตสาหกรรมยานยนต์ อันจะช่วยลดการพึ่งพาน้ำมันฟอสซิลและสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก น้ำมันขยะพลาสติก เชื้อเพลิงทางเลือก เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

Plastic waste is one of the most pressing global environmental challenges, escalating in severity and urgently requiring sustainable management solutions. Converting plastic waste into energy—particularly in the form of waste plastic oil (WPO) via pyrolysis—has garnered widespread attention in the research community. Such interest is due to its potential to reduce persistent, non-biodegradable waste while simultaneously generating a viable alternative energy source. This review article gathers, examines, and combines current research about WPO, looking at its physical and chemical traits, how it performs in engines, how it burns, and its exhaust emissions compared to regular diesel fuel. The findings reveal that WPO possesses a hydrocarbon

composition and heating value similar to fossil-based fuels and can be used in diesel engines with minimal modification. However, certain limitations remain, such as low cetane index, high viscosity, low flash point, and elevated levels of specific emissions, including NO_x and CO, compared to diesel. In addition, this review identifies significant gaps in the current body of research, which has largely emphasized technical experimentation while overlooking economic evaluations and policy-related aspects. Issues such as the economic feasibility of WPO production systems, energy cost per unit, and the role of governmental support mechanisms are rarely addressed but are crucial for large-scale industrial implementation.

Keywords: Plastic waste, Waste plastic oil, Alternative fuel, Diesel engines

1. บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบัน และการใช้งานพลาสติกมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น สืบเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและสามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติตามความต้องการได้หลากหลาย อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา แข็งแรง ความยืดหยุ่นสูง และทนทาน ทำให้พลาสติกจึงกลายเป็นที่นิยมในการนำมาใช้งาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 มีการผลิตพลาสติกทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ยถึง 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตขึ้นโดยส่วนใหญ่ นั้นมีอายุการใช้งานที่สั้น ประกอบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ในปัจจุบันส่งผลให้มีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากประชาชนมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการใช้บริการสั่งซื้อสินค้า และอาหารผ่านระบบออนไลน์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียวทิ้งจึงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่ามีปริมาณขยะพลาสติก 19–23 ล้านตัน ที่หลุดรอดไปสู่ธรรมชาติ ทั้งทะเลสาบ แม่น้ำ และมหาสมุทร และมีไม่ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถนำกลับเข้าสู่ระบบรีไซเคิลได้ นอกจากนี้คาดการณ์ว่า ภายในปี พ.ศ. 2583 ปริมาณขยะที่ไหลลงสู่มหาสมุทรจะขยายตัวเพิ่มขึ้นอีกถึง 3 เท่า การใช้พลาสติกที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกิดของเสียที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีระบบจัดการขยะมูลฝอยที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากพลาสติกหลายประเภทใช้เวลาในการย่อยสลายที่ยาวนานและพลาสติกบางประเภทไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถแตกตัวกลายเป็นไมโครพลาสติก ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้อีกด้วย (Singh, 2018; Tulashie et al., 2019) สำหรับประเทศไทยถูกจัดให้อยู่อันดับ 6 ของประเทศที่ทิ้งขยะพลาสติกมากที่สุดในโลก รองจากประเทศจีน อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม และศรีลังกา (Jambeck et al., 2015) ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาจากขยะพลาสติกนั้นมีอยู่หลายวิธี อาทิเช่น การลดการใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการรีไซเคิล รวมถึงการนำขยะพลาสติกสังเคราะห์ ไปฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัยหรือเผาในเตาเผามาตรฐานที่มีการควบคุม แต่ยังมีสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นทั้งหมด

จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2558–2567 ดังแสดงใน Figure 1 พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยโดยรวมในแต่ละปีอยู่ในช่วงประมาณ 24–29 ล้านตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปี 2566–2567 ที่ปริมาณขยะพุ่งสูงถึง 28.9 และ 29.2 ล้านตัน ตามลำดับ สะท้อนถึงความเร่งด่วนของปัญหาด้านการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของการจัดการ พบว่าปริมาณขยะที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 4.94 ล้านตันในปี 2558 เป็น 10.51 ล้านตันในปี 2567 หรือคิดเป็นร้อยละ 35.9 ของขยะทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จบางประการในการผลักดันนโยบายรีไซเคิลและการใช้ทรัพยากรหมุนเวียน อย่างไรก็ตาม ขยะที่ถูกกำจัดไม่ถูกต้องยังคงเป็นปัญหาเรื้อรัง แม้จะมีช่วงที่แนวโน้มลดลง เช่น ในปี 2562 ที่อยู่ที่ 6.38 ล้านตัน แต่กลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงปี 2563–2566 ก่อนจะลดลงเหลือ 6.27 ล้านตันในปี 2567 ซึ่งยังคงคิดเป็นร้อยละ 21.5 ของขยะทั้งหมด ปัญหานี้บ่งชี้ถึงความจำเป็นในการยกระดับระบบจัดการขยะที่ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และครอบคลุมในระยะยาว

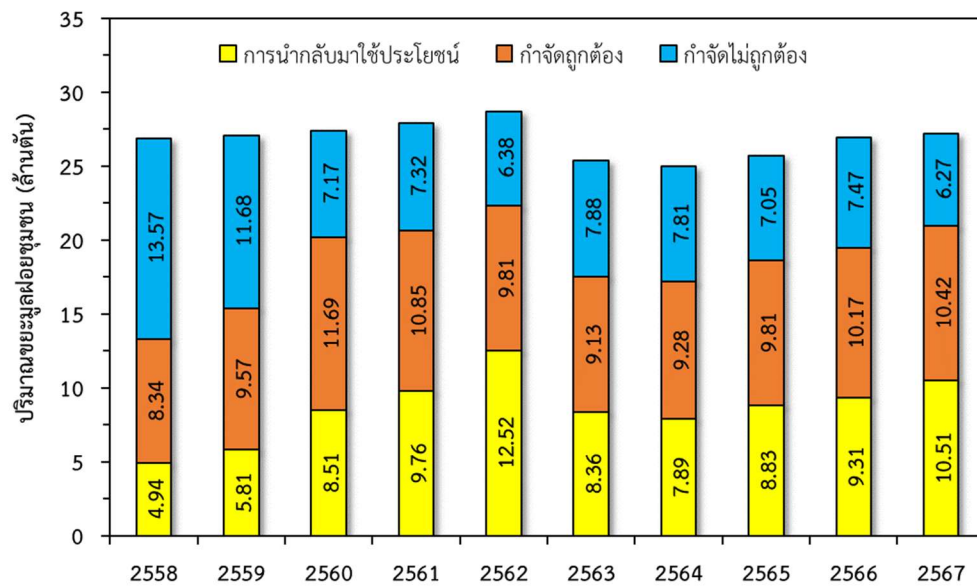


Figure 1 Comparison of municipal solid waste management (2019–2020) (PCD, 2020)

นอกจากนี้ จากข้อมูลเปรียบเทียบรายภูมิภาค (Figure 2) พบว่า ภาคกลางเป็นภูมิภาคที่มีปริมาณขยะมูลฝอยสูงที่สุด โดยเฉลี่ยประมาณ 18,591 ตัน/วัน รองลงมาได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (17,873 ตัน/วัน) และกรุงเทพมหานคร (12,748 ตัน/วัน) ขณะที่ ภาคตะวันตก มีปริมาณขยะต่ำที่สุดที่ 3,268 ตัน/วัน ข้อมูลเหล่านี้สอดคล้องกับความหนาแน่นของประชากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในเขตเมืองและพื้นที่อุตสาหกรรมที่มีการบริโภคทรัพยากรและใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกในระดับสูงกว่าภูมิภาคอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ภาพรวมดังกล่าวไม่เพียงแต่สะท้อนปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะที่ไม่เหมาะสม เช่น การรั่วไหลสู่แหล่งน้ำ การสะสมของขยะพลาสติก และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดที่ไม่ได้มาตรฐานเท่านั้น แต่ยังเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถใช้ในการกำหนด "พื้นที่เป้าหมาย" สำหรับการวางแผนเชิงนโยบาย การออกแบบระบบจัดการขยะเชิงพื้นที่ และการส่งเสริมนวัตกรรมด้านพลังงานจากของเสียให้สอดคล้องกับศักยภาพและบริบทของแต่ละภูมิภาคอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning [ONEP], 2023; Pollution Control Department [PCD], 2020; Wongprapinkul & Vassanadumrongdee, 2021)

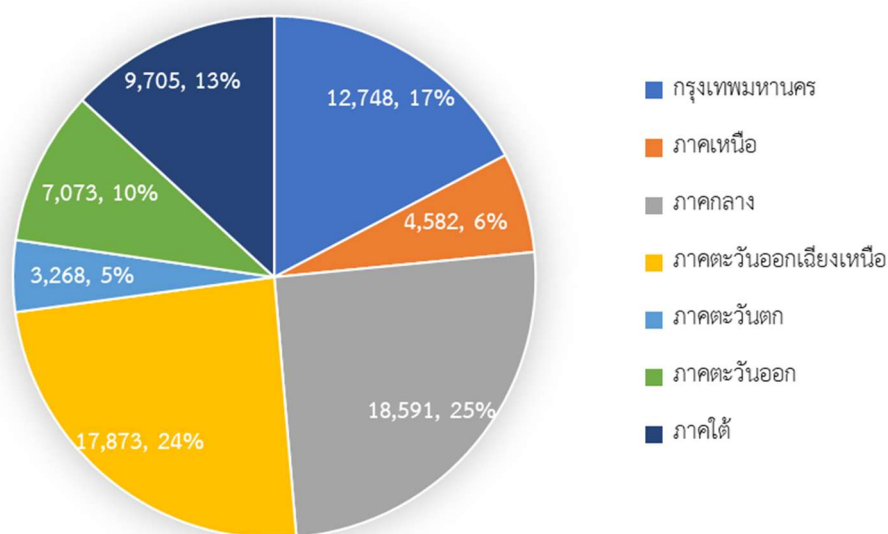


Figure 2 Daily waste generation by region in Thailand (PCD, 2020)

ประกอบกับประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ และสถานการณ์ความขัดแย้งทางการค้าที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทำให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกเกิดความผันผวน ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักในการดำเนินธุรกิจต่าง ๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร เช่น การใช้งานเป็นต้นกำลังให้กับยานพาหนะในอุตสาหกรรมด้านโลจิสติกส์และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ดังนั้น การยับยั้งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้โดยการนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะก่อให้เกิดประโยชน์และสร้างมูลค่าของขยะพลาสติก ซึ่งเป็นการจัดการตามแนวทางในการจัดการขยะของเศรษฐกิจหมุนเวียน รวมถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีปัจจุบันที่ช่วยจัดการการคัดแยกขยะพลาสติกหรือวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Reunkaw et al., 2021) โดยจัดการขยะให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ และชุมชนน้อยที่สุดควบคู่กับการสร้างมูลค่าของขยะมูลฝอย อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

การแปรรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานเชื้อเพลิงนั้นได้รับความสนใจจากกลุ่มนักวิจัยทั่วโลก เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกโดยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นได้เองโดยธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบชนิดเดียวกับสารประกอบในเชื้อเพลิงฟอสซิล ขยะพลาสติกจึงเป็นวัตถุดิบที่สามารถแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ (Green Network, 2020) การแปรรูปน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกนั้นได้เกิดขึ้นมาแล้วกว่า 2 ทศวรรษ โดยการแปรรูปด้วย กระบวนการทางความร้อน กระบวนการทางชีวเคมี และกระบวนการทางเคมี โดยกระบวนการทางความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นการเผาไหม้ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และกระบวนการไพโรไลซิสหรือกระบวนการลิกวิฟเคชัน กระบวนการทางชีวเคมีเป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยขยะโดยผ่านปฏิกิริยาเชิงชีวเคมี ซึ่งแบ่งออกได้เป็นกระบวนการย่อยสลายโดยปราศจากออกซิเจนและการหมัก ส่วนกระบวนการเชิงเคมีเป็นการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวโดยผ่านปฏิกิริยาเคมี (Jitkarnka, 2008) ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการเหล่านี้นิยมเรียกว่า “น้ำมันไพโรไลซิส” หรือ “น้ำมันขยะพลาสติก” จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าน้ำมันขยะพลาสติกสามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ (Miandad et al., 2017; Sharuddin et al., 2016) เมื่อประเมินศักยภาพของน้ำมันขยะพลาสติกจากการนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ดีเซลภายใต้เงื่อนไขสภาวะการทำงานต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม เช่น สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการวิจัยด้านพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล ซึ่งบทความปริทัศน์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวม วิเคราะห์ และสังเคราะห์องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ “น้ำมันขยะพลาสติก” (WPO) เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซล โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมี สมรรถนะการเผาไหม้ และการปล่อยมลพิษ พร้อมทั้งชี้ให้เห็นช่องว่างของงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และนโยบาย เพื่อกำหนดทิศทางการวิจัยที่สามารถพัฒนาสู่การใช้งานจริงในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

2. การแปรรูปและผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

การแปรรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานเชื้อเพลิงโดยทั่วไปเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดที่สามารถทำให้หลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดหรือเปลี่ยนรูปร่างได้เมื่อได้รับความร้อน และเมื่อความร้อนลดลงพลาสติกประเภทนี้จะกลับไปแข็งตัวตามเดิม โดยพฤติกรรมนี้ไม่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพลาสติก เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลแบบโซ่ตรงหรือแบบกิ่งสั้นสายยาวด้วยพันธะเคมีประเภทโคเวเลนต์ พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกมีอยู่หลายชนิด เช่น โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โพลีสไตรีน (PS) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่พบในขยะมูลฝอยล้วนเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการแปรรูปน้ำมันเชื้อเพลิง (Adegoke et al., 2021)

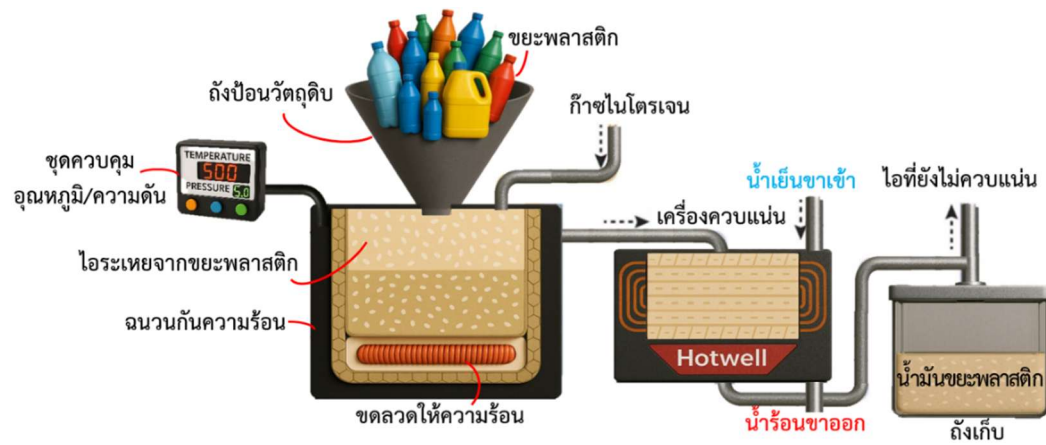


Figure 3 Pyrolysis process

กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการกลั่นสลายหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีด้วยความร้อนประมาณ 300 °C ถึง 900 °C ในสถานะที่ไร้ออกซิเจนหรือมีออกซิเจนอยู่น้อยมาก เพื่อย่อยสลายโมเลกุลให้มีขนาดเล็กกลายเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในกรณีวัตถุดิบที่เป็นพลาสติกนั้นกระบวนการนี้ถูกพิจารณาจากกระบวนการย้อนกลับของพอลิเมอร์ (Damodharan et al., 2018; Rehan et al., 2017) ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการไพโรไลซิสแสดงดัง Figure 3 โดยขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมวัตถุดิบโดยการตัด/สับวัตถุดิบเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อนำมาใส่ในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนของถังป้อนวัตถุดิบต่าง ๆ ที่จะใช้ในกระบวนการสำหรับลำเลียงขยะพลาสติกสู่ส่วนที่ 2 คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบระบบปิดที่มีอุปกรณ์ให้ความร้อน และชุดควบคุมสภาวะการทำงานของกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลา อัตราการให้ความร้อน เป็นต้น โดยเครื่องปฏิกรณ์จะปล่อยความร้อนเพื่อหลอมพลาสติก เมื่อผ่านกระบวนการนี้แก๊สที่ไหลออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านไปยังส่วนที่ 3 คือ ส่วนของเครื่องควบแน่นเพื่อเปลี่ยนสถานะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สให้เป็นของเหลวหรือเชื้อเพลิงเหลวและไหลเข้าสู่ถังเก็บในส่วนที่ 4 โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะของกระบวนการและประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ดัง Table 1 (Chotiratanasak et al., 2023; Miandad et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุดในการบวนการไพโรไลซิส คือ ของเหลว (น้ำมันเชื้อเพลิงเหลว) ในขณะเดียวกันกระบวนการไพโรไลซิสยังทำให้เกิดแก๊สไอเสียขึ้นในระหว่างกระบวนการ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นต้น การบำบัดแก๊สไอเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม (Damodharan et al., 2018; Ghosh et al., 2020)

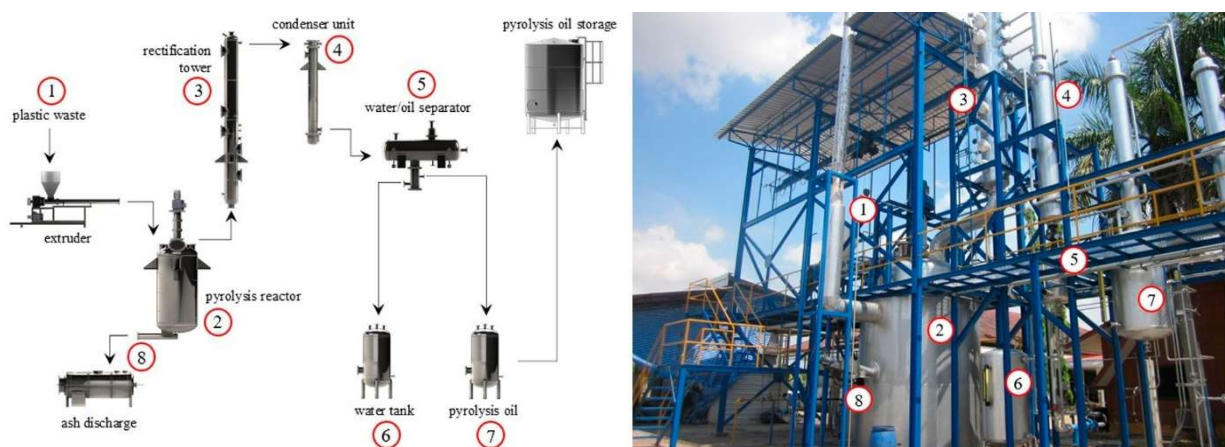


Figure 4 Waste plastic oil processing plant

Source: Arjharn et al. (2022)

Table 1 Product distribution of the pyrolysis process (Chotiratanasak et al., 2023; Miandad et al., 2017)

Types of Plastic Waste	Product (wt%)		
	Liquid	Gas	Solid
Polyethylene Terephthalate, PET	23.10–38.89	52.13–76.90	0.00–8.98
High Density Polyethylene, HDPE	68.50–91.20	4.10–31.50	0.00–19.70
Low Density Polyethylene, LDPE	75.60–93.10	5.00–24.20	0.00–7.50
Polypropylene, PP	42.80–92.30	4.10–49.60	0.12–13.30
Polystyrene, PS	89.50–97.00	2.50–9.90	0.00–0.60

ในปัจจุบันนักวิจัยประเทศไทยได้ศึกษา วิจัย และพัฒนากระบวนการไพโรไลซิส เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ ด้วยการประยุกต์ใช้งานในการกำจัดขยะประเภทขยะพลาสติกและยางรถยนต์ใช้แล้ว เพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลหรือใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรม ซึ่งผู้ประกอบการเอกชนและโครงการส่งเสริมของภาครัฐมีศักยภาพในการผลิตตั้งแต่ 0.8–16 ตัน/วัน สามารถแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถึง 200–10,400 ลิตร/วัน ทั้งนี้ จากผลการวิจัยโดยใช้วัตถุดิบประเภทยางรถยนต์ใช้แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นถ่าน 26–49 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันเชื้อเพลิง 25–75 เปอร์เซ็นต์ และแก๊ส 5–57 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของขยะพลาสติกเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถผลิตได้ถึง 4,000–5,000 ลิตร/วัน (Suranaree University of Technology [SUT], 2022) ประกอบกับการส่งเสริมของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ได้ส่งเสริมโครงการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับชุมชนตัวอย่างที่มีศักยภาพในการจัดการขยะ ได้แก่ พื้นที่ชุมชนตัวอย่างในเขตเทศบาลเมืองของจังหวัดพิษณุโลก จังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นต้น ซึ่งมีกำลังการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกโดยรวมอยู่ที่วันละ 23,900 ลิตร (Ekabut et al., 2014; Wiranarongkorn & Arpornwichanop, 2015) เมื่อวิเคราะห์ต้นทุนเฉลี่ยในการแปรรูปน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกพบว่ามีต้นทุนการแปรรูปอยู่ที่ประมาณ 11.27–17.76 บาท/ลิตร (Energy Policy and Planning office, 2016) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวการวิจัยการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งยังเป็นการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งใช้แล้วหมดไป

3. คุณภาพทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

คุณภาพทางเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวิจัยด้านพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพถูกกำหนดขึ้นโดยองค์กรต่าง ๆ อาทิเช่น มาตรฐานยุโรป (European Standard, EN) สมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM) องค์กรมาตรฐานสากล (International Organization for Standardization, ISO) เป็นต้น เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดคุณภาพ และประเมินศักยภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ คุณภาพทางเชื้อเพลิงพื้นฐานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย ค่าความร้อน เชื้อเพลิง ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ เป็นต้น

3.1 คุณลักษณะทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติก

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกโดยทั่วไปแล้ววิเคราะห์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography–Mass Spectrometry, GC–MS) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาสารประกอบทางเคมีที่อยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง โดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายและความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิดบนวัสดุเคลือบที่ทำหน้าที่พาองค์ประกอบตัวอย่างให้เคลื่อนที่ผ่านวัสดุภาคคงที่ซึ่งทำหน้าที่แยกสารออกจากกัน และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform–Infrared Spectroscopy, FT–IR) สำหรับวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบในน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุที่เป็น

องค์ประกอบของสารอินทรีย์หรือที่เรียกว่า “CHNS/O Analyzer” เพื่อระบุปริมาณของธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ไนโตรเจน (N), กำมะถัน (S) และออกซิเจน (O) ที่อยู่ในน้ำมันขยะพลาสติก จากผลการวิจัยของที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีสารประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบในการผลิต โดยจำนวนอะตอมคาร์บอนอยู่ในช่วง C8–C30 และประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากทั้งที่เป็นส่วนเบาและส่วนหนักที่ถือว่าเป็นองค์ประกอบทางเคมีสำคัญสำหรับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ดังแสดงใน Figure 5 (Damodharan et al., 2017; Jangid et al., 2022; Miandad et al., 2019; Sarker et al., 2012) เมื่อพิจารณาตามโครงสร้างอะตอมในน้ำมันขยะพลาสติก สามารถจำแนกไฮโดรคาร์บอนออกได้เป็น 4 ประเภท คือ พาราฟิน โอลิฟิน แนฟทีน และอะโรแมติก เพื่อให้ง่ายต่อการระบุแนวโน้มของความคล้ายคลึงกันระหว่างน้ำมันขยะพลาสติกและเมื่อแบ่งเชื้อเพลิงปิโตรเลียมตามการกลั่นลำดับส่วนในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ จะประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนที่มีอะตอมไฮโดรคาร์บอนสายสั้นจาก C5–C11 เหมาะสำหรับการผลิตน้ำมันก๊าด ส่วนที่ 2 มีส่วนผสมของส่วนเบาและหนักบางส่วนจาก C8–C30 เหมาะสำหรับการผลิตน้ำมันเบนซินเบา (น้ำมันเบนซิน) และส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่มีแอลคีนของไฮโดรคาร์บอนสายยาวที่สูงจาก C8–C36 เหมาะสำหรับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ คุณลักษณะทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกมีแนวโน้มการเกิดกลุ่มไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันดีเซลและมีส่วนประกอบของแอลเคนและแอลคีนอยู่ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ (Ibrahim et al., 2018; Pratama & Saptoadi, 2014) เมื่อนำน้ำมันขยะพลาสติกไปผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนผลการวิเคราะห์ GC-MS จะได้สัดส่วนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินประมาณ 83.70 เปอร์เซ็นต์ และ 7.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Arjhar et al., 2022)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากพลาสติกชนิดต่าง ๆ ได้แก่ PS PP และ PE พบว่าน้ำมันที่ได้จากแต่ละประเภทมีองค์ประกอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในกลุ่ม aromatic hydrocarbons, alcohols และ esters ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิง สำหรับน้ำมันที่ผลิตจาก PS พบสารประกอบหลัก ได้แก่ Benzene, 1,1-(1-methyl-1,3-propanediyl)bis-(10.7%) และ Phenanthrene (7.8%) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสาร aromatic ที่มีโครงสร้างวงแหวนชัดเจน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ PS ในการผลิตน้ำมันที่มีความใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ในกรณีของ PP สารประกอบที่ตรวจพบในปริมาณมากที่สุดคือ 1,2-Benzenedicarboxylic acid, ditridecyl ester (13.8%) และ 1-Hexadecanol (9.9%) ซึ่งเป็นกลุ่ม ester และ alcohol ซึ่งมีผลต่อความหนืดและจุดวาบไฟของน้ำมัน ส่วนน้ำมันจาก PE มีองค์ประกอบหลักคือ 1,2-Benzenedicarboxylic acid, ditridecyl ester (13.8%) และ Phenanthrene (8.9%) เช่นเดียวกับ PS แต่อัตราส่วนสารประกอบบางชนิด เช่น fluorene, naphthalene และ eicosane ปรากฏในสัดส่วนที่หลากหลายสะท้อนความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์จาก PE โดยภาพรวมสารประกอบที่พบในน้ำมันขยะพลาสติกจากทั้ง 3 ประเภทล้วนมีองค์ประกอบหลักในกลุ่มสารไฮโดรคาร์บอนสายยาวและสาร aromatic ซึ่งเป็นสารสำคัญในเชื้อเพลิงฟอสซิล แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการนำน้ำมันที่ได้จากพลาสติกเหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก โดยองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวมีผลต่อค่าความร้อน จุดวาบไฟ ความหนืด และคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ต้องพิจารณาในการใช้งานจริงกับเครื่องยนต์ดีเซล (Miandad et al., 2019)

นอกจากนี้ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันขยะพลาสติกด้วยเทคนิค FT-IR ดัง Figure 5 พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกนั้นประกอบด้วย อะโรแมติกส์ แอลเคน แอลคีน อัลคิล และกรดคาร์บอกซิลิก ในช่วงโหมดการสั่นของพันธะต่าง ๆ ได้แก่ C-H stretching, C-H asymmetrical stretching, C-H symmetrical stretching, C=C stretching, C-H scissoring, C-H symmetrical bending และ C-H symmetrical bending ที่เลขนคลื่น $3,080\text{ cm}^{-1}$, $2,956\text{ cm}^{-1}$, $2,871\text{ cm}^{-1}$, $1,630\text{ cm}^{-1}$, $1,456\text{ cm}^{-1}$, $1,376\text{ cm}^{-1}$ และ $1,647\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายคลึงกับหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันดีเซล (Ibrahim et al., 2018; Maithomklang et al., 2022) ทั้งนี้ น้ำมันขยะพลาสติกยังมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 80.74 เปอร์เซ็นต์ และ 11.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Arjhar et al., 2022; Maithomklang et al., 2022)

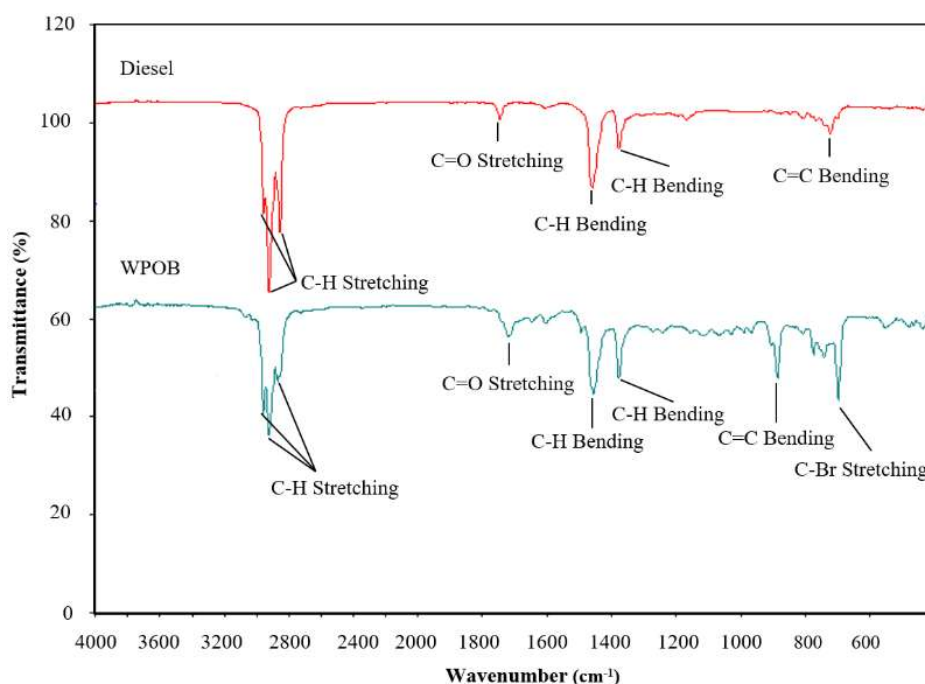


Figure 5 Functional groups of waste plastic oil and diese oil

Source: Maithomklang et al. (2022)

3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติก

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปพลาสติกเหลือทิ้ง โดยเฉพาะเมื่อมุ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันที่ได้จากวัสดุพลาสติกแต่ละประเภทมีผลต่อค่าความร้อน การระเหย และพฤติกรรมในการเผาไหม้ของน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการวิเคราะห์สมบัติเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน หรือการคัดเลือกชนิดของขยะพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทั้งนี้ข้อมูลสมบัติดังกล่าวสามารถดูได้จากตารางที่แสดงไว้ใน Table 2

Table 2 Physical and chemical properties of waste plastic oil from different types of plastic waste

Properties	Standard Test	Diesel	Types of Plastic				
			PET	HDPE	LDPE	PP	PS
Heating value (MJ/kg)	ASTM D240	43.48	39.45	40.50	48.17	44.98	38.87
Kinematic viscosity (cSt)	ASTM D445	3.37	1.70	5.08	4.98	1.72	1.83
Density at 15 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	829	824	890	799	771	940
Pour point (°C)	ASTM D97	6	–	-5	26	< -30	< -30
Flash point (°C)	ASTM D93	78	28	48	20	20	32
Fire point (°C)	ASTM D93	86	34	–	30	30	42
Carbon residue (wt%)	ASTM D4530	0.01	–	0.02	0.06	0.10	1.38
Cetane index	ASTM D4737	61.09	28.77	66	68	60	10

(Chuepeng et al., 2022; Damodharan et al., 2017; Sharuddin et al., 2016)

โดยสมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมีสมบัติที่แตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบและเงื่อนไขสถานะที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติก จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ได้แก่ PET HDPE LDPE PP และ PS โดยทดสอบสมบัติพื้นฐานของน้ำมันขยะพลาสติกภายใต้ข้อกำหนดตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากถึง 39.45–46.23 MJ/kg ถือได้ว่าเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่มีค่าพลังงานสูงและเป็นปัจจัยหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพความเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้ ความหนาแน่นและความหนืดจลนศาสตร์ของน้ำมันขยะพลาสติกอยู่ในช่วง 799–940 kg/m³ และ 1.70–5.08 cSt ตามลำดับ ซึ่งจากสมบัติทางเชื้อเพลิงเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในและเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยหลักทฤษฎีแล้วความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำจะช่วยให้เกิดการกระจายตัวเป็นละอองฝอยในการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดี อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกบางส่วนกลับ มีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ได้แก่ จุดไหลเท จุดวาบไฟ และดัชนีดีเซล เป็นต้น โดยน้ำมันขยะพลาสติกมีอุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดติดไฟอยู่ระหว่าง 20–48 °C และ 30–42 °C ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวนี้บ่งบอกถึงความสำคัญในการเก็บสำรองหรือการขนส่งน้ำมันขยะพลาสติกที่จำเป็นต้องมีความระมัดระวัง เพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย นอกจากนี้ น้ำมันจากขยะพลาสติกบางประเภทยังพบว่ามีดัชนีซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยดัชนีซีเทนเป็นสมบัติที่ใช้ในการบ่งบอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดด้วยตัวเองของเชื้อเพลิง ซึ่งประเมินจากช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิด (ช่วงระหว่างการเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้) และควรมีค่าดัชนีซีเทนที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์ติดไฟง่ายไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์ และโดยภาพรวมจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

4. การใช้น้ำมันขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล

การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมนั้นมีความยาวนานเกือบ 2 ทศวรรษ และเป็นแนวทางการวิจัยหนึ่งที่มีบทบาทในการลดปัญหาจากขยะพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทั้งทางบกและทางทะเล โดยการศึกษาศักยภาพและความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล จากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจากขยะพลาสติกประเภทต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับใช้ในการประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดนั้นมีสมบัติและคุณลักษณะทางเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน นักวิจัยโดยส่วนใหญ่แล้วนิยมศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยปัจจัยด้านกำลังเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรค (Brake specific fuel consumption, BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Brake thermal efficiency, BTE) ของเครื่องยนต์ รวมถึงวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษไอเสีย โดยการติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับสร้างภาระงานให้กับเครื่องยนต์ และเครื่องมือตรวจวัดและวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษไอเสีย ดังแสดงใน Figure 6 ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่สภาวะต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงภาระงาน และความเร็วรอบเครื่องยนต์ เป็นต้น

ซึ่งจากปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวการนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ในด้านต่าง ๆ ซึ่งจากผลการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้โดยสังเขปดังนี้

4.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งใช้ประเมินการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่สภาวะต่าง ๆ โดยแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อหนึ่งหน่วยกำลังที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นตัวแปรที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็น

พลังงานกลสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Heywood, 1988) ตัวแปรเหล่านี้สามารถวัดและคำนวณได้จากการทดสอบเครื่องยนต์โดยตรง จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า กำลังของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ด้วยสาเหตุจากสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าพลังงานที่สูง ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม น้ำมันขยะพลาสติกนั้นกลับพบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าน้ำมันดีเซล (Wathakit et al., 2021) เนื่องจากสมบัติทางเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประกอบกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่นและความหนืดของเชื้อเพลิง รวมถึงการออกแบบระบบการฉีดเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Wu et al., 2020) จึงทำให้มีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้น นอกจากนี้ ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการแปรรูปเป็นน้ำมันขยะพลาสติกนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้น (Hürdoğan et al., 2017; Wathakit et al., 2021)

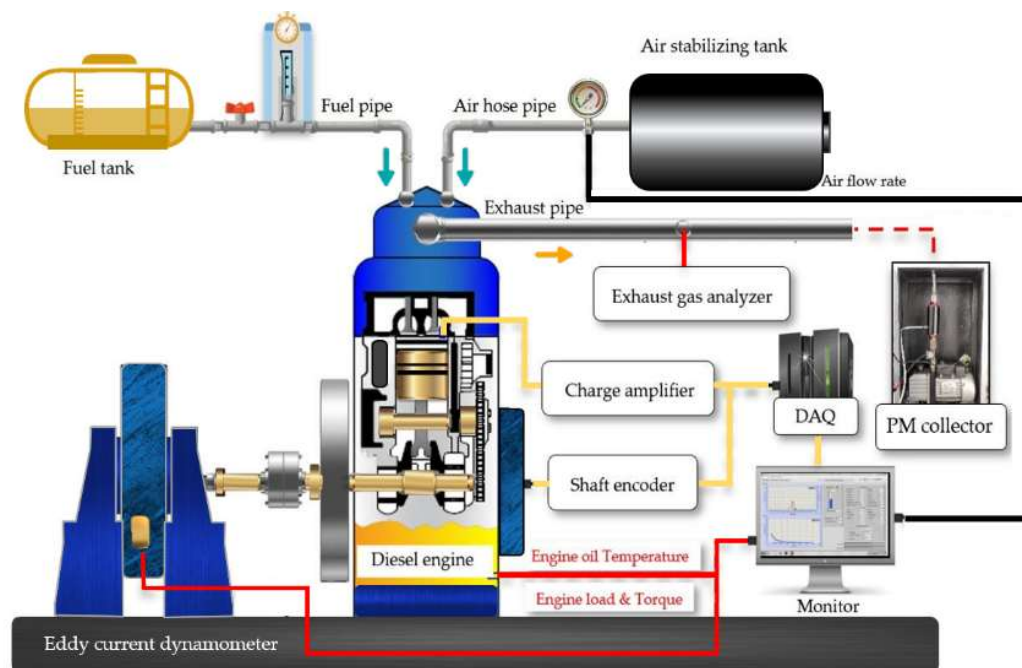


Figure 6 Diagram of engine testing equipment installation

Source: Maithomklang et al. (2022)

4.2 คุณลักษณะการเผาไหม้

การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์นั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากความดันในกระบอกสูบ (In-cylinder pressure, ICP) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of heat release, ROHR) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวัดอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของพลังงานเคมีในน้ำมันเชื้อเพลิง โดย ICP เป็นการวัดความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเทียบกับองศาเพลอาซอเหวี่ยง ในช่วงจังหวะการอัดและจังหวะการคายของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ และ ROHR เป็นหลักการสำคัญที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งอัตราการปลดปล่อยความร้อนคืออัตราที่พลังงานเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ คำนวณความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบและปริมาตรที่มุมองศาเพลอาซอเหวี่ยงภายใต้กฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิด โดยไม่พิจารณามวลที่ไหลเข้าออกภายใต้สมมติฐานกระบวนการโพลิโทรปิก (Heywood, 1988)

จากผลการวิจัยของ Kaimal and Vijayabalan (2015) และ Kalargaris et al. (2017) ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราการผสมต่าง ๆ ผลการทดสอบบ่ง

ชี้ให้เห็นว่า ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันขยะพลาสติกสูงกว่าน้ำมันดีเซล และมีความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Maithomklang et al. (2022) โดยความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อภาระงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น คุณลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากความหนาแน่นและความหนืดที่สูง ประกอบกับน้ำมันขยะพลาสติกมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากสมบัติทางเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจึงส่งผลต่ออัตราการความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้น (Kaimal & Vijayabalan, 2016; Kalargaris, 2018; Singh, 2019) ซึ่งการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเกิดมลพิษไอเสีย นอกจากนี้ การวิเคราะห์เสถียรภาพการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักรแสดงในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (Coefficient of Variation, COV) โดยค่า COV คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาที่ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงและการปล่อยมลพิษไอเสียสูงขึ้น อีกทั้งยังแสดงถึงเสถียรภาพของการเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ โดยถูกกำหนดไว้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (Heywood, 1988) ผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าน้ำมันขยะพลาสติกมีค่า COV ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลในทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามค่า COV ยังมีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้โดยน้ำมันขยะพลาสติกมีค่า COV อยู่ในช่วง 0.9–2.5 เปอร์เซ็นต์ (Maithomklang et al., 2023)

4.3 มลพิษไอเสีย

มลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลประกอบไปด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ฝุ่นละอองและเขม่า (Pulkrabek, 2004) มลพิษไอเสียเหล่านี้จึงเป็นมลพิษไอเสียที่ถูกควบคุม เนื่องจากส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปจะทำงานภายใต้การผสมบางจึงมีการปล่อยมลพิษไอเสีย CO ที่ต่ำ ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และถือว่าเป็นสารพิษที่ต้องได้รับการควบคุม โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

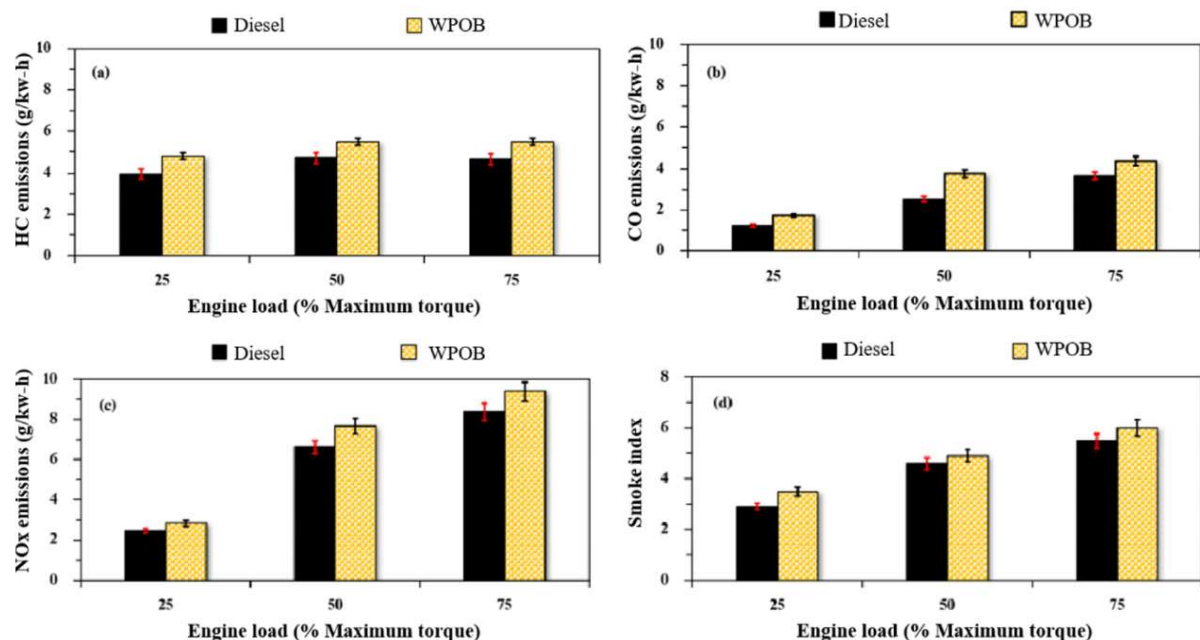


Figure 7 Exhaust emissions of the engine Source: Maithomklang et al. (2022)

จากผลการวิจัยและข้อมูลจาก Figure 7 แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซลส่งผลให้ปริมาณมลพิษไอเสีย CO, NO_x และ HC สูงกว่าน้ำมันดีเซล โดย CO และ HC ที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความหนืดและความหนาแน่นสูงกว่า ส่งผลให้การฉีดเชื้อเพลิงกระจายตัวได้ไม่ดี ส่งผลต่อคุณภาพการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ (Heywood JB., 1988) ซึ่งในช่วงปลายของกระบวนการเผาไหม้ อุณหภูมิที่ลดต่ำลง ทำให้กระบวนการออกซิเดชันของ CO CO₂ ไม่สมบูรณ์ และทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้น (Mani et al., 2010) ขณะที่ปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้นเนื่องจากในช่วงต้นของการเผาไหม้ อุณหภูมิในกระบอกสูบสูงขึ้นจากอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของน้ำมันขยะพลาสติกที่รวดเร็ว และปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในช่วงต้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยา Zeldovich ที่มีอัตราการเกิด NO_x สูง (Heywood, 1988) อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Kaimal and Vijayabalan (2016) พบว่าการผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลสามารถช่วยลดมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นได้ โดยลดปริมาณเขม่าและ NO_x ลงได้ถึง 22% และ 17.8% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงด้วยวิธีผสมมีศักยภาพในการลดผลกระทบจากการปล่อยมลพิษไอเสียที่เกิดจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซล

นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนหนึ่งได้ศึกษาวิธีการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันขยะพลาสติกมาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการปรับเปลี่ยนกลไกและอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ด้วยตัวแปรต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงองศาและความดันการฉีดเชื้อเพลิง อัตราส่วนการอัดและการหมุนเวียนไอเสีย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ รวมถึงเพื่อลดการปล่อยมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น โดยเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน อัตราส่วนการอัดโดยทั่วไปสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงจะอยู่ระหว่าง 14:1 ถึง 23:1 และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหัวฉีดทางอ้อมจะอยู่ระหว่าง 18:1 ถึง 23:1 ซึ่งปัจจัยนี้เป็นตัวแปรที่ได้รับความสนใจในการศึกษา

Ananthakumar et al. (2017) และ Wathakit et al. (2021) ได้ศึกษาการใช้น้ำมันขยะพลาสติกในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กภายใต้ปัจจัยการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดในช่วง 12 ถึง 20 เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ช่วยลดความล่าช้าในการฉีดเชื้อเพลิง (Hsu, 2002) เพื่อลดการสูญเสียประสิทธิภาพทางความร้อนที่เกิดจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติก ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎี กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนกำลังของเครื่องยนต์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น และส่งผลให้เกิดการลดลงของมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ HC และ CO ในขณะที่มลพิษไอเสีย NO_x และ CO₂ มีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด เช่นเดียวกับ Sharma and Murugan (2015) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนกำลังอัดจากการนำน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับไบโอดีเซล ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าสามารถช่วยลดความล่าช้าในการจุดระเบิดและลดระยะเวลาการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และการปลดปล่อยมลพิษไอเสีย NO_x สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในกระบอกสูบที่สูงขึ้น ประกอบกับการเพิ่มอัตราส่วนการอัดสามารถช่วยลดมลพิษไอเสีย HC, CO และเขม่าที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และสืบเนื่องมาจากงานวิจัยโดยส่วนใหญ่บ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด ดังนั้น การศึกษาผลกระทบจากการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลจึงเป็นเหตุปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่ง Pal et al. (2019) ได้ศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าและการฉีดเชื้อเพลิงแบบล่าช้าของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระงานพบว่า การฉีดเชื้อเพลิงแบบล่วงหน้าช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้นในทุก ๆ ภาระงานทดสอบ และยังสามารถช่วยลดมลพิษไอเสีย HC, CO และเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้ อย่างไรก็ตาม การปล่อยมลพิษไอเสีย NO_x กลับมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการฉีดเชื้อเพลิงแบบล่าช้า ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ Wathakit et al. (2018) ได้ทำการปรับแต่งองค์การฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังของเครื่องยนต์ โดยผลการปรับแต่งเครื่องยนต์พบว่าส่งผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงที่สูงขึ้นเมื่อปรับองค์การฉีดเชื้อเพลิงแบบล่วงหน้ามากขึ้น

นอกจากนี้ การหมุนเวียนไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation, EGR) เป็นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการชะลออัตราการเผาไหม้และลดการปลดปล่อย NO_x ซึ่งเป็นหนึ่งในมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ หลักการของระบบ EGR นั้นทำงานโดยการหมุนเวียนไอเสียบางส่วนกลับมาผสมกับไอดีก่อนที่จะเข้าไปยังห้องเผาไหม้ ทั้งนี้ ผลกระทบของระบบ EGR ต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ผลของความร้อนจากอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาณและเพิ่มค่าความจุความร้อนจำเพาะ เนื่องจาก CO_2 และน้ำ H_2O บางส่วนแทนที่ O_2 และ N_2 (2) ผลกระทบทางเคมีจากการแยกตัวของ CO_2 และ H_2O เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นระหว่างการเผาไหม้ หลังจากการแยกตัวออกผลิตภัณฑ์ใหม่จะมีส่วนร่วมในการเผาไหม้ และ (3) ผลการเจือจางที่เป็นผลมาจากการลดความเข้มข้นของออกซิเจน และชนิดปฏิกิริยาในกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งจากการวิจัยของ Punitharani and Parameshwaran (2017) ได้ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่มีระบบ EGR โดยใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันขยะพลาสติกที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ ผลจากการทดสอบพบว่า การใช้ระบบ EGR ในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถลดการปล่อยมลพิษไอเสีย NO_x ได้ถึง 14% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่มีการใช้ระบบ EGR สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม ผลจากการใช้ระบบ EGR กลับพบว่ามี การเกิดมลพิษ CO และ HC ในไอเสียที่สูงขึ้น ด้วยสาเหตุนี้ Chandran et al. (2020) จึงได้ทำการวิจัยโดยใช้ระบบ EGR ร่วมกับการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันจากขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงพบว่า สามารถลดการปลดปล่อย NO_x ได้ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังลดมลพิษไอเสีย CO และ HC ได้ถึง 8-16 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงคุณลักษณะการเผาไหม้เมื่อมีการเพิ่มอัตราของระบบ EGR มีผลทำให้ความดันและอัตราการปลดปล่อยความร้อนลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการลดลงของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

Table 3 Summary of studies on the use of waste plastic oil as fuel in diesel engines

Performance		Combustion Characteristics		Emissions				Ref.
BSFC	BTE	ICP	RoHR	NO_x	CO	HC	Smoke	
↓	↑	-	-	↑	↑	↑	↓	[1]
↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	[2]
↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	[3]
↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	[4]
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	[5]
↑	↓	-	-	↑	↑	↑	↑	[6]
↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	-	[7]
↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	[8]
-	-	↑	↑	↑	↑	↑	↓	[9]
↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	[10]
↓	↑	↑	↑		↑	↑	↑	[11]
↑	↑	↓	↓ ↑	↑	↑	↑	↓	[12]

Damodharan et al., 2017 [1]; Jangid et al., 2022 [2]; Wathakit et al., 2021 [3]; Maithomklang et al., 2023 [4]; Devaraj et al., 2015 [5]; Panda et al., 2016 [6]; Kalargaris et al., 2017 [7]; Sukjit et al., 2017 [8]; Bridjesh et al., 2018 [9]; Geo et al., 2018 [10]; Mangesh et al., 2020 [11]; Kaewbuddee et al., 2020 [12].

4.4 ภาพรวมผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกต่อเครื่องยนต์ดีเซล

การศึกษาและทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา พบว่าสามารถสรุปผลกระทบต่อเครื่องยนต์ได้จากหลายปัจจัยสำคัญ ได้แก่ สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ซึ่งผลการศึกษาเหล่านี้ได้ถูกรวบรวมไว้ใน Table 3 เพื่อแสดงแนวโน้มของผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านอย่างเป็นระบบ จากการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า WPO มีแนวโน้มที่จะเพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (BSFC) และการปล่อยมลพิษบางชนิด เช่น NO_x , CO และ HC ขณะเดียวกันก็แสดงศักยภาพในด้านค่าพลังงาน ความดันในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูง ซึ่งสามารถพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงได้ในอนาคต ทั้งนี้ การสังเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าน้ำมันขยะพลาสติกยังคงมีศักยภาพเพียงพอในการนำไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากได้รับการปรับแต่งกระบวนการผลิตและระบบเครื่องยนต์ให้สอดคล้องกับคุณสมบัติเฉพาะของเชื้อเพลิงชนิดนี้ ก็จะสามารถลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุป

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่ามีการศึกษาอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทั้งในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และการปล่อยมลพิษไอเสีย โดยผลการศึกษาในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าน้ำมันขยะพลาสติกสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลได้จริง โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์มากนัก อีกทั้งยังให้ค่ากำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลในเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดบางประการ เช่น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่า จุดวาบไฟต่ำ และการปล่อยมลพิษบางชนิด เช่น NO_x และ CO ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลในบางเงื่อนไข การประเมินคุณภาพของ WPO ยังแสดงให้เห็นว่ามียังมีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่หลากหลาย โดยเฉพาะในช่วง C8–C30 ซึ่งสามารถนำไปแยกเป็นน้ำมันเบนซินและดีเซลได้ด้วยกระบวนการกลั่นลำดับส่วน ทั้งนี้ การศึกษาด้านการปรับแต่งเครื่องยนต์ เช่น การเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด การฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า และการใช้ระบบ EGR ต่างแสดงผลเชิงบวกต่อการลดมลพิษไอเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากศักยภาพด้านเทคนิคแล้ว มิติด้านเศรษฐศาสตร์และนโยบายยังเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันการใช้งานจริง โดยรายงานจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ระบุว่าต้นทุนการผลิต WPO อยู่ในช่วงประมาณ 11.27–17.76 บาทต่อลิตร ซึ่งสามารถแข่งขันกับราคาน้ำมันดีเซลในตลาดได้ โดยเฉพาะในช่วงที่ราคาน้ำมันผันผวน นอกจากนี้ ภาครัฐยังมีนโยบายสนับสนุนพลังงานทางเลือกอย่างต่อเนื่อง เช่น แผนพลังงานชาติ และแผนการจัดการขยะพลาสติกที่มุ่งส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี “Waste to Energy” อย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม หากมีมาตรการสนับสนุนเพิ่มเติมจากภาครัฐ เช่น การยกเว้นภาษีเครื่องจักรผลิตไพโรไลซิส การจัดตั้งราคาประกันรับซื้อ WPO หรือการสนับสนุนเงินทุนผ่านกองทุนพลังงาน ก็จะช่วยเพิ่มแรงจูงใจให้ภาคเอกชนลงทุนในระบบผลิตและกระจายเชื้อเพลิงอย่างจริงจัง ซึ่งจะนำไปสู่การใช้น้ำมันขยะพลาสติกในระดับอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้สามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลได้ในระยะยาว และสนับสนุนการเติบโตของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี สำหรับการสนับสนุนและอนุเคราะห์การวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- Adegoke, S., Okareh, O. T., Adeleke, A., & Ikubanni, P. (2021). Fuel energy potential of pyrolyzed municipal solid wastes. *Petroleum and Coal*, 63(1), 234–244.
- Ananthakumar, S., Jayabal, S., & Thirumal, P. (2017). Investigation on performance, emission and combustion characteristics of variable compression engine fuelled with diesel, waste plastics oil blends. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(1), 19–28. <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0518-6>
- Arjharn, W., Liplap, P., Maithomklang, S., Thammakul, K., Chuepeng, S., & Sukjit, E. (2022). Distilled waste plastic oil as fuel for a diesel engine: fuel production, combustion characteristics, and exhaust gas emissions. *ACS Omega*, 7, 9720–9729.
- Bridjesh, P., Periyasamy, P., & Geetha, N. K. (2018). Influence of chemical composite additive on combustion and emission characteristics of a diesel engine using waste plastic oil as fuel and modified piston bowl. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(6), 2806.
- Chandran, M., Chinnappan, R., Kit Ang, C. (2020). Effect of combined exhaust gas recirculation and retarded injection timing on diesel engine operated distilled waste plastic oil blend. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1), 8365–8377. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1764671>
- Chotiratanasak, J., Vitidsant, T., & Khemkhao, M. (2023). Feasibility study of plastic waste pyrolysis from municipal solid waste landfill with spent FCC catalyst. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(3), 256–265.
- Chuepeng, S., Komintarachat, C., Klinkaew, N., Maithomklang, S., & Sukjit, E. (2022). Utilization of waste-derived biodiesel in a compression ignition engine. *Energy Reports*, 8, 64–72.
- Damodharan, D., Sathiyagnanam, A. P., Rana, D., Kumar, B. R., & Saravanan, S. (2018). Combined influence of injection timing and EGR on combustion, performance and emissions of DI diesel engine fueled with neat waste plastic oil. *Energy Conversion and Management*, 161, 294–305.
- Damodharan, D., Sathiyagnanam, A. P., Rana, D., Kumar B. R., & Saravanan, S. (2017). Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with WPO/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 131, 117–126.
- Devaraj, J., Robinson, Y., & Ganapathi, P. (2015). Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine, *Energy*, 85, 304–309.
- Ekabut, T., Reubroycharoen, P., & Uttamaprakrom, W. (2014). A study of fuel production potential from plastic waste in Thailand. *Journal of Energy Research*, 11(1), 38–49.
- Energy Policy and Planning office, Ministry of Energy. (2022). *Oil from plastic waste (promoting oil production from plastic waste guidelines) 2016*. <https://www.eppo.go.th> [in Thai]
- Geo, V. E., Sonthalia, A., Aloui, F., & Femilda Josephin J. S. (2018). Study of engine performance, emission and combustion characteristics fueled with diesel-like fuel produced from waste engine oil and waste plastics. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(4), 8. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1063-6>
- Ghosh, P., Sengupta, S., Singh, L., & Sahay, A. (2020). Chapter 8 Life cycle assessment of waste-to-bioenergy processes: a review. *Elsevier*, 105–122.

- Green Network. Global plastic waste management: collaborating to solve environmental problems and conserve energy 2020. <https://www.greennetworkthailand.com> [in Thai].
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Hsu, B. D. (2002). *Practical diesel-engine combustion analysis*. society of automotive engineers.
- Hürdoğan, E., Ozaip, C., Kara, O., & Ozcanli, M. (2017). Experimental investigation on performance and emission characteristics of waste tire pyrolysis oil–diesel blends in a diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(36), 23373–23378. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.126>
- Ibrahim, H., Mohmmmed, R., Ahmed, H. A. M., Ahmed, S. M., Abualsoud, R. M., & Motawie, A. M. (2018). *Thermal Degradation of mixed Plastic Solid Waste HDPE, LDPE, PP and PS*. [Unpublished manuscript]. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32160.89601>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., & Andrady, A. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jangid, C. J., Miller, K. M., & Seay, J. R. (2022). Analysis of Plastic-Derived Fuel Oil Produced from High-and Low-Density Polyethylene. *Recycling*, 7(3), 29. <https://doi.org/10.3390/recycling7030029>
- Jitkarnka, S. (2008). *From Waste to Oil: Alternative Energy Production Technology for Environmental Care*. 1st Edition. Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]
- Kaewbuddee, C., Sukjit, E., Srisertpol, J., Maithomklang, S., Wathakit, K., & Klinkaew, N. (2020). Evaluation of Waste Plastic Oil-Biodiesel Blends as Alternative Fuels for Diesel Engines. *Energies*, 13(11), 2823.
- Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2015). A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends. *Energy Conversion and Management*, 105, 951–956. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.043>
- Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2016). An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. *Fuel*, 180, 90–96.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.11.016>
- Kalargaris, I. (2018). *Pyrolysis of waste plastics and utilisation of the produced oils in diesel engines* [Doctoral dissertation, University of Surrey]. University of Surrey. <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/99513925402346>
- Kaur R, Gera P, & Jha M. (2015). Study on Effects of Different Operating Parameters on the Pyrolysis of Biomass: A Review. *Journal of Biofuels and Bioenergy*, 1, 135.
- Maithomklang S, Sukjit E, Srisertpol J, Klinkaew N, & Wathakit K. (2023). Pyrolysis Oil Derived from Plastic Bottle Caps: Characterization of Combustion and Emissions in a Diesel Engine. *Energies*, 16(5), 2492.
- Maithomklang, S., Wathakit, K., Sukjit, E., Sawatmongkhon, B., & Srisertpol, J. (2022). Utilizing waste plastic bottle-based pyrolysis oil as an alternative fuel. *ACS Omega*, 7(24), 20542–20555. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c07345>
- Mangesh, V. L., Tamizhdurai, P., Santhana Krishnan, P., Narayanan, S., Umasankar, S., Padmanabhan, S., & Shanthi, K. (2020). Green energy: Hydro Processing Waste Polypropylene to Produce Transport Fuel. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124200>

- Mani, M., Nagarajan, G., & Sampath, S. (2010). An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation. *Fuel*, 89(8), 1826–1832. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.11.009>
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburizaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.017>
- Miandad, R., Rehan, M., Barakat, M., Aburizaiza, A., Khan, H., & Ismail, I. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries. *Frontiers in Energy Research*, 7, 1–27. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00027>
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2023). Plastics Waste. <https://www.onep.go.th> [in Thai]
- Pal, S., Chintala, V., Kumar Sharma, A., Ghodke, P., Kumar, S., & Kumar, P. (2019). Effect of injection timing on performance and emission characteristics of single cylinder diesel engine running on blends of diesel and waste plastic fuels. *Materials Today: Proceedings*, 17, 209–215.
- Panda, A., Murugan, S., & Singh, R. K. (2016). Performance and emission characteristics of diesel fuel produced from waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste polypropylene. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38, 577–585.
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2020). *Report on the situation of community solid waste management in Thailand, 2020*. <https://www.pcd.go.th/publication/14745>. [in Thai]
- Pratama, N., & Saptoadi, H. (2014). Characteristics of waste plastics pyrolytic oil and its applications as alternative fuel on four cylinder diesel engines. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(1), 13–20.
- Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. 2nd Ed. Published Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Punitharani, K., & Parameshwaran, V. (2017). Effect of exhaust gas recirculation on performance of a diesel engine fueled with waste plastic oil / diesel blends. *Journal of Mechanical Engineering*, 67(2), 91–100.
- Rehan, M., Miandad, R., Barakat, M. A., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., & Gardy, J. (2017). Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 162–175.
- Reunkaw, G., Aoutamo, R., Srikrin, W., Piyawongwisal, P., Homsiang, A., & Euviriyankul, K. (2021). Development of PET bottle purchasing machine using load cell and image processing with LINE notify. *RMUTL Engineering Journal*. 6(2), 49–55. [in Thai]
- Sarker, M., Rashid, M. M., Rahman, M. S., & Molla, M. (2012). Production of valuable heavy hydrocarbon fuel oil by thermal degradation process of post-consumer municipal polystyrene (PS) waste plastic in steel reactor. *Energy and Power*, 2(5), 89–95. <https://doi.org/10.5923/j.ep.20120205.02>
- Sharma, A., & Murugan, S. (2015). Potential for using a tire pyrolysis oil-biodiesel blend in a diesel engine at different compression ratios. *Energy Conversion and Management*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.023>
- Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Singh, M. V. (2018). Deformation of virgin HD-PE, PP and waste PP Plastics into green fuel via a Pyrolysis-catalytic using a NiCO₃ catalyst. *Indian Chemical Engineer*, 61(3), 254–268. <https://doi.org/10.1080/00194506.2018.1548949>

- Sukjit, E., Liplap, P., Maithomklang, S., & Arjham, W. (2017). *Experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil blended with oxygenated fuels* (SAE Technical Paper No. 2017-24-0116). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2017-24-0116>
- Suranaree University of Technology (SUT). (2022). *The production of fuel oil from plastic waste through pyrolysis process*. <http://www.sut.ac.th> [in Thai]
- Tulashie, S. K., Boadu, E. K., & Dapaah, S. (2019). Plastic waste to fuel via pyrolysis: A key way to solving the severe plastic waste problem in Ghana. *Thermal Science and Engineering Progress*, 11, 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.05.002>
- Wathakit, K., Sukjit, E., Kaewbuddee, C., Maithomklang, S., Klinkaew, N., & Liplap, P. (2021). Characterization and impact of waste plastic oil in a variable compression ratio diesel engine. *Energies*, 14(8), 2230.
- Wathakit, K., Sukjit, E., & Srisertpol, J. (2018). Effect of injection timing on performance and emissions characteristics of a single cylinder diesel engine fuelled with waste plastic oil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1074(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1074/1/012041>
- Wiranarongkorn, K., & Arpornwichanop, A. (2015). Pyrolysis. *Energy and Environmental*. 42(241), 61–64. [in Thai]
- Wongprapinkul, B., & Vassanadumrongdee, S. (2021). Plastic waste from online food ordering: Situation, problems, and solutions (Part 1). *Environmental Journal*, 25(1), 1–10. [in Thai]
- Wu, G., Ge, J. C., & Choi, N. J. (2020). A comprehensive review of the application characteristics of biodiesel blends in diesel engines. *Applied Sciences*, 10(22), 8015. <https://doi.org/10.3390/app10228015>