

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำมัน
จากขยะพลาสติก : กรณีศึกษาโรงงานต้นแบบขนาดเล็ก
ENVIRONMENT IMPACT AND CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT
OF OIL PRODUCTION FROM PLASTIC WASTE:
A CASE STUDY OF SMALL-SCALE FACTORY

พรทวิ กองร้อย* และธนาวรรณ พิณเวศน์

Pornatwee Kongroy* and Thanawan Pinawet

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกในประเทศไทยที่ใช้แนวทางการศึกษาตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 และนำการประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) วิธี ReCiPe 2016 Midpoint method เป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูล การประเมินพิจารณาตั้งแต่กิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง และกระบวนการผลิตในโรงงาน (Candle to Gate) รวมถึงปริมาณของเสียและการระบายมลพิษทางอากาศ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงระดับผลกระทบในขั้นกลาง (midpoint impact) จำนวน 18 ตัวบ่งชี้ โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างพลังงานความร้อนในขั้นตอนการผลิตถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดย 1 รอบการผลิตน้ำมัน (3,000 กิโลกรัม) มีผลกระทบการเกิดสภาวะโลกร้อนปริมาณ 13,200 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kgCO}_2\text{-eq}$) การเกิดอนุภาคขนาดเล็ก 13.4 กิโลกรัมเทียบเท่า ($\text{kgPM}_{2.5}\text{-eq}$) และปริมาณการใช้น้ำ 29.7 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับผลกระทบในขั้นปลาย (endpoint impact) จำนวน 3 ตัวบ่งชี้ ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (0.177 daily) ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ (0.000332 species.year)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000
Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, Muang District,
Phetchabun Provinces 67000

*corresponding author e-mail: pornatwee.kon@pcru.ac.th

Received: 10 September 2021; Revised: 1 December 2021; Accepted: 9 December 2021

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2022.6>

และผลกระทบต่อความขาดแคลนทรัพยากร (0.593 USD2013) สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า มีค่าโดยรวมทั้งหมด 528 ตันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (tonCO₂-eq/year) โดยคิดจากการผลิตน้ำมันที่ 40 รอบ/ปี ผลจากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการผลิตและพิจารณาเลือกใช้เชื้อเพลิง อีกทั้งใช้เป็นแนวทางนโยบายประกอบการตัดสินใจดำเนินการกิจกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก ไพโรไลซิส ประเมินวัฏจักรชีวิต คาร์บอนฟุตพริ้นท์

Abstract

This research presents the results of the environmental impact assessment and carbon footprint of oil production from plastic waste in Thailand, utilizing the ISO 14040 series guidelines and Life Cycle Assessment (LCA) ReCiPe 2016 Midpoint method. The assessment takes into account the activities of raw material acquisition, transportation and production processes in the factory (Candle to Gate), including the amount of waste and air emissions. The study showed 18 indicators of midpoint impact. Combustion of fuel to generate heat energy in the production process is considered a significant factor in the impact on environment. It was found that 1 cycle of oil production (3,000 kg) has a global warming of 13,200 kg carbon dioxide equivalent (kgCO₂-eq), fine particulate matter formation of 13.4 kg equivalent (kgPM_{2.5}-eq) and water consumption 29.7 m³, associated with the endpoint impact on 3 indicators: human health impact (0.177 daily), ecosystem damage impact (0.000332 species.year) and resource depletion impact (0.593 USD2013). For the Carbon Footprint assessment, there was an overall total value of 528 tonnes of carbon dioxide equivalent per year (tonCO₂-eq/year) based on oil production at 40 cycles/year. The results of this research can be used as a basis for improving the production process and considering an alternative fuel. It is also used as a policy guide for decision-making on environmentally-friendly activities. This will contribute to the sustainable development of energy and the environment of Thailand.

Keywords: Plastic waste, Pyrolysis, Life cycle assessment, Carbon footprint

บทนำ

การดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่จำกัด เพื่อตอบสนองความต้องการอุปโภคบริโภค ซึ่งประเด็นปัญหาสำคัญที่ต้องแก้ไขโดยเร่งด่วนตามนโยบายของรัฐบาลในปัจจุบัน คือ การจัดการขยะพลาสติกและลดการใช้พลังงานฟอสซิล ผลการศึกษาปริมาณการใช้พลาสติกที่เกิดขึ้นทั่วโลกพบว่ามีปริมาณมากถึง 300 ล้านตันต่อปี (Geyer et al., 2017) ในประเทศเขตยุโรปมีปริมาณ 62 ล้านตันต่อปี (PlasticsEurope, 2019) สำหรับในประเทศไทยมีปริมาณ 2.2 ล้านตัน เป็นขยะพลาสติกปริมาณ 1.91 ล้านตัน ที่จำเป็นต้องมีการกำจัดที่ถูกต้อง (PCD, 2019) หากขยะพลาสติกตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการย่อยสลายและมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดค่อนข้างสูง ปัญหาสำคัญอีกอย่างคือมีขยะพลาสติกจำนวนมากลอยออกสู่ทะเลก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตในทะเล (Gallo et al., 2018)

สำหรับสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในช่วงปี 2563 ปริมาณ 76,928 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จากพลังงานไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการใช้จากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลมากถึงร้อยละ 76.65 ดังนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงแนวทางที่จะแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกและพลังงาน ซึ่งแนวทางหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ การนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนตามหลักการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นนโยบายหนึ่งของกระทรวงพลังงานในแนวทาง (roadmap) การจัดการขยะพลาสติกของประเทศไทย โดยหากส่งเสริมให้เกิดการแปรรูปขยะพลาสติกดังกล่าวจะสามารถลดปริมาณขยะได้ 3.75 ล้านตัน/ปี ลดงบประมาณในการจัดการขยะถึง 1,500 ล้านบาท/ปี (EPPO, 2019)

เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เป็นเทคโนโลยีที่มีงานวิจัยและถูกใช้มากขึ้นในปัจจุบัน โดยมีผลการศึกษาศักยภาพของการผลิตทั้งในประเทศไทย (Ekabut et al., 2014) ซึ่งมีกำลังการผลิตน้ำมันอยู่ระหว่าง 200-10,400 ลิตร/วัน สามารถจัดการขยะพลาสติกได้ 0.8-16 ตัน/วัน และในต่างประเทศมีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น (Fukushima et al., 2009) ประเทศอังกฤษ (Gear et al., 2018) ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Delft, 2020) และในยุโรป (Somoza-Tornos et al., 2020) ที่มีการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน ในการศึกษาข้างต้นได้ศึกษาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยนำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์จัดการปัญหาขยะพลาสติก ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผลการดำเนินการจริงของโรงงาน อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบผลการศึกษาโรงงานไพโรไลซิสในประเทศไทยอย่างชัดเจน โดยเป็นการศึกษา LCA ในโรงงานน้ำตาล (Prasara-A et al., 2018) โรงงานผลิตโรตารีคอมเพรสเซอร์ (Rewlay-ngoan et al., 2020) โรงงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Clemons et al., 2021) เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละด้าน รวมถึงยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมและจัดการมลพิษ

ของโรงงานให้ดีขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังใช้เป็นฐานข้อมูลบัญชีคาร์บอนเพื่อต่อยอดในการคำนวณคาร์บอนเครดิตเพื่อประโยชน์ทางการค้าคาร์บอน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อภาคเอกชนและใช้เป็นข้อเสนอแนะทางนโยบายต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้แนวทางตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) (ISO, 2006) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และการประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ประกอบไปด้วยขั้นตอน 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม 3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม 4) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และ 5) การแปลผล ดังภาพที่ 1 (Figure 1) ดังนี้

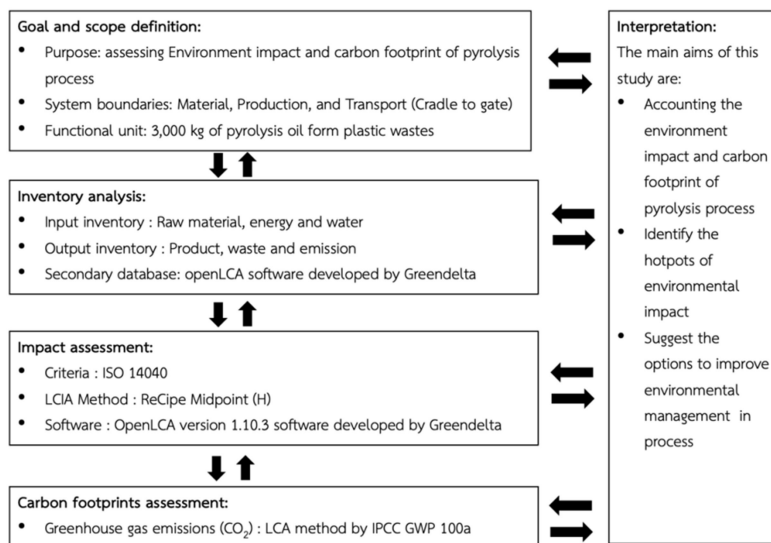


Figure 1 System boundary of the study

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

1.1 เป้าหมาย (goal) เป้าหมายของการศึกษาครั้งนี้ คือ 1) ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกภายในโรงงานต้นแบบขนาดเล็กของประเทศไทย และ 2) ระบุประเด็นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ (hot spot) เพื่อเสนอแนะทางเลือกในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตเพื่อมุ่งสู่การดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 ขอบเขตการศึกษา (system boundaries) ของการวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (raw material) กระบวนการผลิตน้ำมัน (production) และกระบวนการขนส่งที่เกี่ยวข้อง (transport) ซึ่งในกรณีนี้เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรวงจรของผลิตภัณฑ์

ในลักษณะเริ่มตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ คือ ขยะพลาสติก จนเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นน้ำมันไพโรไลซิสแต่ไม่รวมในขั้นตอนการนำไปใช้งานหรือกำจัด หรือเรียกว่า Candle to gate

โรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยกระบวนการไพโรไลซิสมีความสามารถผลิตน้ำมันได้ 3,000 กิโลกรัมต่อรอบการทำงาน (batch) มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันที่ร้อยละ 30 ระยะเวลาการผลิตประมาณ 30 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน ทั้งนี้ใน 1 ปี โรงงานมีการผลิตน้ำมันได้ทั้งหมดประมาณ 40 รอบ โดยใช้ขยะพลาสติกที่ผ่านการคัดแยกแล้วมาเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำมันก่อนจะถูกกักเก็บไว้ในถังพักน้ำมันและทยอยจำหน่ายให้กับลูกค้านำไปใช้งาน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมหรือนำไปกลั่นเป็นน้ำมันคุณภาพสูง (ดีเซล) ต่อไป กระบวนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2 (Figure 2) ดังนี้

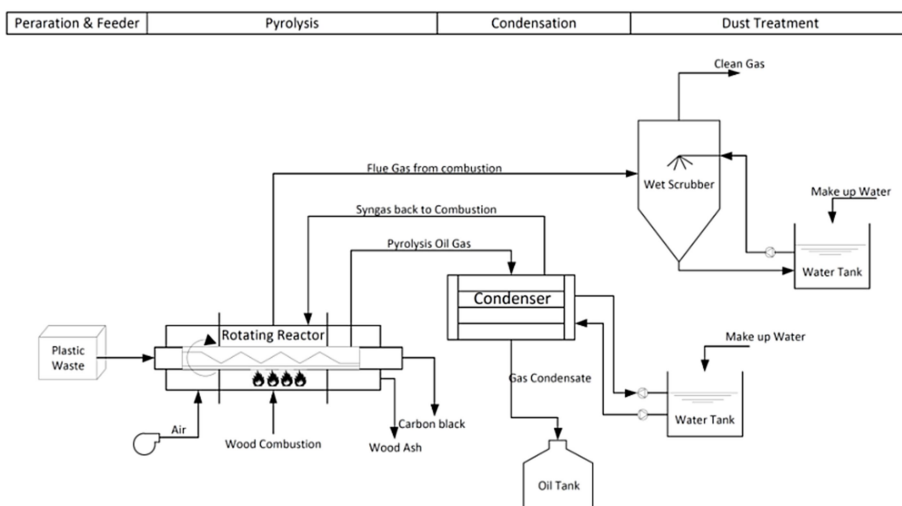


Figure 2 Production process of pyrolysis oil

1.2.1 การเตรียมและป้อนขยะพลาสติก (preparation and feeder) ขยะพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบของโรงงานได้มาจากโรงคัดแยกขยะ ซึ่งเป็นขยะที่เกิดขึ้นจากชุมชนในพื้นที่รัศมี 30 กิโลเมตร รอบพื้นที่โรงงาน โดยส่วนใหญ่เป็นถุงพลาสติกประเภทต่าง ๆ ที่ผ่านการล้างและตากแห้งเรียบร้อยแล้ว และมีการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม อาทิ เศษโลหะต่าง ๆ และพลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เพื่อป้องกันการเกิดสารพิษได้อ็อกซิน (dioxins) ที่เป็นสารก่อมะเร็งระบายนอกสู่บรรยากาศได้ ขยะพลาสติกที่ถูกคัดแยกแล้วจะถูกอัดเป็นก้อนขนาด $0.9 \times 0.9 \times 2.20$ เมตร มีความต้องการใช้ต่อรอบการทำงานประมาณ 9 ตัน ก่อนจะถูกตักยกด้วยรถยกป้อนเข้าสู่ชุดป้อน (feeder) ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

1.2.2 การทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis) ขยะพลาสติกที่ถูกป้อนด้วยรถยกจะถูกนำเข้าสู่เตาปฏิกรณ์หรือห้องเผาไหม้ที่เป็นแบบหมุนวน (rotating reactor) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 เมตร ยาว 7 เมตร โดยเป็นการเผาไหม้แบบ slow pyrolysis หรือ ไพโรไลซิสแบบช้า ที่มีอุณหภูมิ

เผาไหม้ 400-550 องศาเซลเซียส ภายในสภาวะสูญญากาศ โดยใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง ระยะเวลาการเผาไหม้ใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง เพื่อเผาขยะพลาสติกให้กลายเป็นแก๊สร้อน ของเหลว และถ่านชาร์ พลาสติกจะระเหิดกลายเป็นไอน้ำมันและก๊าซสังเคราะห์ต่าง ๆ อาทิ ก๊าซมีเทน (CH_4) จนถึงก๊าซโพรเพน (C_4H_{10}) ก่อนส่งเข้าไปยังระบบควบแน่นให้กลายเป็นสถานะของเหลวในขั้นตอนต่อไป สำหรับเก้าอี้ที่ออกมาจากเตาปฏิกรณ์จะถูกลำเลียงไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

1.2.3 การควบแน่นไอแก๊ส (condensation) เมื่อขยะพลาสติกถูกให้ความร้อนจนกลายเป็นไอจะถูกส่งเข้าไปยังหอควบแน่น (condenser) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นให้อุณหภูมิของแก๊สร้อนลดลงจนกลายเป็นของเหลวหรือเรียกว่าน้ำมันไพโรไลซิส (pyrolysis oil) ก่อนนำไปกักเก็บในถังขนาด 15,000 ลิตร เพื่อทยอยจำหน่ายและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2.4 การดักจับฝุ่นละออง (dust treatment) เป็นขั้นตอนระบบสนับสนุนทำหน้าที่ดักจับฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยออกแบบเป็นระบบสครับเบอร์แบบเปียก (wet scrubber) การทำงานเริ่มจากฉีดน้ำในระบบสครับเบอร์ให้น้ำจับแก๊สร้อนที่มีฝุ่นละอองเจือปน น้ำที่ใช้ดักจับฝุ่นละอองจะถูกหมุนเวียนเข้ามาในระบบอีกครั้งทำให้ไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้นในส่วนนี้แต่จะมีการเติมน้ำเข้าไปในระบบ (water makeup) เพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไป ก่อนระบายแก๊สร้อนที่สะอาดออกทางปล่องสู่บรรยากาศ โดยในขั้นตอนนี้จะมีมลพิษที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศได้แก่ ฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.3 หน่วยการทำงาน (Functional unit) การวิเคราะห์ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีหน่วยพื้นฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบหรือเรียกว่า หน่วยการทำงาน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการดำเนินงานของโรงงานที่เกิดขึ้นใน 1 รอบการผลิตน้ำมัน (มีการผลิตน้ำมันได้ 3,000 กิโลกรัม/รอบ) และทำการแปรข้อมูลเป็นต่อหน่วย 1 กิโลกรัมของน้ำมัน (kg-Oil) ที่ผลิตได้จากขยะพลาสติกเพื่อนำเข้าโปรแกรมประมวลผลข้อมูล

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (inventory analysis)

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกเพื่อจัดทำเป็นบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบไปด้วยข้อมูลขาเข้า ได้แก่ ปริมาณขยะ พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง น้ำใช้ และน้ำมันดีเซล สำหรับข้อมูลขาออก ได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ ของเสียมลพิษทางอากาศ และการขนส่งวัตถุดิบ โดยทำการเก็บข้อมูลโดยตรงจากการผลิตของโรงงาน สำหรับมลพิษทางอากาศจะใช้ข้อมูลการเทียบการระบายมลพิษจากเอกสาร AP-42 (EPA, 2003) ดังตารางที่ 1 (Table 1)

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (impact assessment)

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีประเมินผลกระทบด้วยวิธีการแบบ ReCiPe 2016 Midpoint เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถจำแนกผลกระทบได้หลากหลายและมีความยืดหยุ่นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลในระดับประเทศและระดับทวีปได้ (Huijbregts et al., 2016) และทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป OpenLCA Version 1.10.3 ที่พัฒนาโดยหน่วยงาน Green Delta (Green Delta,

2012) เป็นวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในโปรแกรม LCA และปัจจุบันมีการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลาย (Silva et al., 2019)

Table 1 Input-output data for pyrolysis of mixed plastic waste

Item	Category	Flow	Quantity (kg/kg-Oil)	Unit	Transport
Inputs	Material	Mixed plastic waste	3.00	kg	30 km by Truck
	Energy	Electricity	0.0006	Mj	-
	Water	Ground Water	1.67	Kg	-
	Energy	Wood	0.67	Kg	70 km by Truck
	Energy	Heat (wood combustion)	14.00	MJ	-
	Energy	Diesel	0.07	kg	-
Outputs	Product	Pyrolysis oil	1.00	kg	-
	Waste	Carbon Black	110.00	kg	-
	Waste	Wood Ash	0.0133	kg	-
	Emission*	PM	0.0012	kg	-
	Emission*	NO ₂	0.0088	kg	-
	Emission*	CO	0.0108	kg	-
	Emission*	SO ₂	0.0005	kg	-

Remark AP42-Emission factor for Wood residue combustion in lb/MMbtu unit, Emission factor Rating a for PM = 0.066, CO = 0.6 SO₂ = 0.025 and Rating C for NO₂ = 0.491 (EPA, 2003)

การประเมินผลกระทบทำได้โดยการแปลค่าปล่อยมลพิษและการลดลงของทรัพยากรทางธรรมชาติเป็นคะแนนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งโดยความหมายทั่วไปเรียกว่าปัจจัยด้านการกำหนดลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้น (characterisation factor) มีวิธีการกำหนดแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับกลาง (midpoint indicators) มีตัวบ่งชี้ 18 ปัจจัย ได้แก่ การก่อตัวของอนุภาคขนาดเล็ก (fine particulate matter formation) การขาดแคลนทรัพยากรฟอสซิล (fossil resource scarcity) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (freshwater ecotoxicity) การเกิดยูโทรฟิเคชันในน้ำจืด (freshwater eutrophication) การเกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) ความเป็นพิษต่อสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (human carcinogenic toxicity) ความเป็นพิษที่ไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์ (human non-carcinogenic toxicity) การเกิดรังสีไอออไนซ์ (ionizing radiation) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางทะเล (marine ecotoxicity) การเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเล (marine eutrophication) การขาดแคลนทรัพยากรแร่ (mineral resource scarcity) การก่อตัวของโอโซนที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (ozone formation, human health) การก่อตัวของโอโซนที่ส่งผลต่อระบบนิเวศบนบก (ozone formation, terrestrial ecosystems) การสูญเสียโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratospheric

ozone depletion) การทำให้เป็นกรดในดิน (terrestrial acidification) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (terrestrial ecotoxicity) และปริมาณการใช้น้ำ (water consumption)

ตัวบ่งชี้ระดับกลางมุ่งเน้นไปที่ปัญหาสิ่งแวดล้อมตามแต่ลักษณะผลกระทบ ซึ่งตัวบ่งชี้ระดับปลายทาง (endpoint indicators) เป็นการแสดงลักษณะของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวมของกลุ่มผลกระทบ ได้แก่ 1) ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (human health) ที่แสดงค่าการสูญเสียปีสุขภาวะ ในหน่วย Disability Adjusted Life-years (DALY) 2) ความหลากหลายทางชีวภาพ (ecosystem) ที่แสดงค่าการลดลงของสิ่งมีชีวิตในหน่วยสปีชีส์คูณจำนวนปี (species.yr) และ 3) ความขาดแคลนทรัพยากร (resource availability) ในหน่วยของค่าเงินดอลลาร์ในปี 2013 (USD2013) เพื่อให้สามารถอธิบายถึงกลุ่มผลกระทบที่เกิดต่อเนื่องกับสิ่งแวดล้อมได้ชัดเจนมากขึ้น

4. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ทำการประเมินศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนในช่วง 100 ปี ที่เสนอโดยหน่วยงาน Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ด้วยวิธีการแบบ IPCC GWP 100a (IPCC, 2013) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลบัญชีที่รวมอยู่ในวิธีของ ReCiPe 2016 Midpoint เรียบร่อยแล้ว เพื่อนำเสนอผลให้มีความชัดเจนและสอดคล้องกับหน่วยงานที่จัดทำฐานข้อมูลมากขึ้น

5. การแปลผลและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ (interpretation)

การแปลผลของงานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักคือนำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัยที่กำหนดเพื่อใช้เป็นข้อมูลการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโครงการให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

ผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปผลในด้านการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลกระทบในระดับชั้นกลาง (midpoint impact indicator)

ตารางที่ 2 (Table 2) และภาพที่ 3 (Figure 3) เป็นการนำเสนอผลรายละเอียดผลการประมวลจากโปรแกรมประเมิน LCA ซึ่งแบ่งตัวบ่งชี้ผลกระทบในระดับกลางที่เกิดขึ้นจำนวน 18 ตัวบ่งชี้จากกระบวนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกในส่วน การขนส่ง วัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ทั้งนี้ผลกระทบประเด็นสำคัญของการผลิตน้ำมันที่ส่วนใหญ่เกิดในขั้นตอนของกระบวนการผลิต รองลงมาคือการขนส่ง และจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ตามลำดับ โดยในขั้นตอนกระบวนการผลิตก่อให้เกิดผลกระทบจำนวน 17 ตัวบ่งชี้ การขนส่งก่อให้เกิดผลกระทบจำนวน 16 ตัวบ่งชี้ และการได้มาซึ่งวัตถุดิบก่อให้เกิด

ผลกระทบจำนวน 15 ตัวบ่งชี้ ซึ่งตัวบ่งชี้ที่ไม่ได้รับผลกระทบได้แก่ การขาดแคลนทรัพยากรฟอสซิล (fossil resource scarcity) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) และการเกิดรังสีไอออไนซ์ (ionizing radiation)

ผลกระทบที่เป็นประเด็นสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การเกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) เป็นค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปี (Global Warming Potential: GWP 100) พบว่า ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ามากถึง 13,200 กิโลกรัม/การผลิตน้ำมัน 3000 กิโลกรัม (คิดเป็น 4.4 กิโลกรัม/การผลิตน้ำมัน 1 กิโลกรัม) โดยขั้นตอนกระบวนการผลิตก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุด (7,680 kg CO₂-eq) รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการขนส่ง (4,740 kg CO₂-eq) และการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (796 kg CO₂-eq) ตามลำดับ ทั้งนี้สาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างเป็นพลังงานความร้อนและการปล่อยมลพิษทางอากาศทั้งในส่วนของขั้นตอนการผลิตน้ำมันและกิจกรรมการขนส่งที่เกิดขึ้น สำหรับการก่อตัวของอนุภาคขนาดเล็ก (fine particulate matter formation) ที่แสดงในหน่วยกิโลกรัมของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเทียบเท่า (kg PM_{2.5}-eq) พบว่ามีค่าโดยรวม 13.4 kg PM_{2.5}-eq ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากขั้นตอนกระบวนการผลิต (6.88 kg PM_{2.5}-eq) และการขนส่ง (5.69 kg PM_{2.5}-eq) ในส่วนของปริมาณการใช้น้ำ (water consumption) พบว่า มีการใช้น้ำโดยรวม 29.7 ลูกบาศก์เมตร โดยแบ่งเป็นจากขั้นตอนการผลิต 16.7 ลูกบาศก์เมตร ขั้นตอนวัตถุดิบ 12.6 ลูกบาศก์เมตร และการขนส่ง 0.418 ลูกบาศก์เมตร

Table 2 Absolute values for the overall midpoint impact indicator

NO	Midpoint impact indicator	Unit	Transport	Material	Production	Total
1	Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} -eq	5.69E+00	8.63E-01	6.88E+00	1.34E+01
2	Fossil resource scarcity	kg oil-eq	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1.45E-01	4.92E-02	1.78E-01	3.72E-01
4	Freshwater eutrophication	kg P-eq	2.49E-03	4.83E-05	2.24E-03	4.77E-03
5	Global warming	kg CO ₂ -eq	4.74E+03	7.96E+02	7.68E+03	1.32E+04
6	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2.03E-01	6.21E-01	3.05E+00	3.87E+00
7	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	9.48E+00	2.28E-01	1.33E+02	1.43E+02
8	Ionizing radiation	kq Co-60-eq	5.67E+00	0.00E+00	5.18E+01	5.74E+01
9	Land use	m ² a crop-eq	0.00E+00	0.00E+00	8.96E-02	8.96E-02
10	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.92E+00	1.81E-01	2.53E+00	6.63E+00
11	Marine eutrophication	kg N-eq	6.14E-03	3.30E-04	1.13E-02	1.77E-02
12	Mineral resource scarcity	kg Cu-eq	1.50E-01	5.34E-03	2.41E+00	2.57E+00
13	Ozone formation, Human health	kg NO _x -eq	5.61E-01	3.85E-01	1.65E+00	2.60E+00
14	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x -eq	9.03E-01	6.21E-01	2.07E+00	3.60E+00
15	Stratospheric ozone depletion	kg CFC11-eq	1.37E-03	1.15E-10	7.64E-04	2.14E-03
16	Terrestrial acidification	kg SO ₂ -eq	1.59E+01	2.94E+00	2.04E+01	3.92E+01
17	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.19E+02	2.86E+02	2.71E+03	3.42E+03
18	Water consumption	m ³	4.18E-01	1.26E+01	1.67E+01	2.97E+01

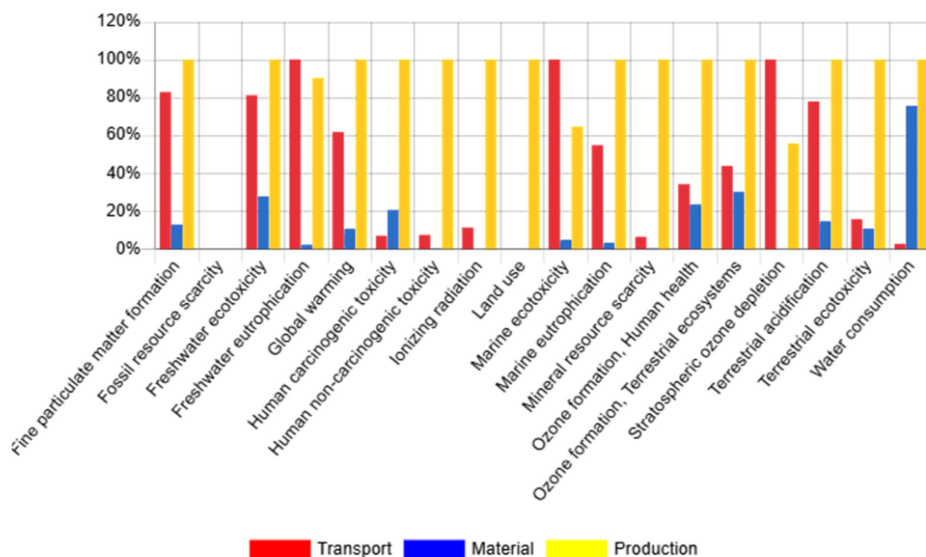


Figure 3 Comparison of midpoint impact indicator in pyrolysis process

ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศบนบก (terrestrial ecotoxicity) เป็นผลกระทบสำคัญที่เกิดขึ้นเช่นกัน โดยเป็นค่าศักยภาพของสารพิษต่อดิน (Terrestrial Ecotoxicity Potential: TETP) ที่แสดงผลในหน่วยของกิโลกรัมของสาร 1,4 ไดคลอโรเบนซีนต่อดินเขตอุตสาหกรรม (kg 1,4-DCB to Industrial soil) พบว่าผลกระทบโดยรวมมีค่า 3,420 kg 1,4-DCB โดยมาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตมากที่สุด (2,710 kg 1,4-DCB) รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการขนส่ง (419 kg 1,4-DCB) และการใช้วัตถุดิบ (286 kg 1,4-DCB) ตามลำดับ ขณะที่มีความเป็นพิษที่ไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์ (human non-carcinogenic toxicity) ที่แสดงผลเป็นค่าศักยภาพของสารพิษต่อสภาพอากาศในเขตเมือง (kg 1,4-DCB to urban air) มีค่าโดยรวม 143 kg 1,4-DCB โดยมาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตมากที่สุด (133 kg 1,4-DCB) รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการขนส่ง (9.48 kg 1,4-DCB) และการใช้วัตถุดิบ (2.28E-01 kg 1,4-DCB) ตามลำดับ

นอกจากนี้ ผลกระทบที่เกิดขึ้นในประเด็นอื่น ๆ ได้แก่ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศในน้ำจืด (freshwater ecotoxicity) มีค่า 0.37 kg 1,4-DCB การเกิดยูโทรฟิเคชันในน้ำจืด (freshwater eutrophication) มีค่า 0.0047 kg P-eq ความเป็นพิษต่อสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (human carcinogenic toxicity) มีค่า 3.87 kg 1,4-DCB การเกิดรังสีไอออนซ์ (ionizing radiation) มีค่า 57.4 kg Co-60-eq การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) มีค่า 0.0896 m²a crop-eq ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางทะเล (marine ecotoxicity) มีค่า 6.63 kg 1,4-DCB การเกิดยูโทรฟิเคชันในทะเล (marine eutrophication) มีค่า 0.0177 kg N-eq การขาดแคลนทรัพยากรแร่ (mineral resource scarcity) มีค่า 2.57 kg Cu-eq การก่อดังของโอโซนที่ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (ozone formation, human health) มีค่า 2.60 kg NO_x-eq การก่อดังของโอโซน

ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบนบก (ozone formation, terrestrial ecosystems) มีค่า 3.60 kg NO_x-eq และการสูญเสียโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratospheric ozone depletion) มีค่า 0.00214 kg CFC11-eq

2. ผลกระทบในระดับขั้นปลาย (endpoint impact indicator)

ผลการศึกษาจากการแปลค่าเพื่อจัดกลุ่มผลกระทบในระดับขั้นกลางเป็นผลกระทบในระดับขั้นปลาย 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 3-5 (Table 3-5) ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (human health) พบว่า เกิดจากตัวบ่งชี้ของผลกระทบที่สำคัญสามลำดับแรกมาจากการเกิดสภาวะโลกร้อน การก่อตัวของอนุภาคขนาดเล็ก และความเป็นพิษที่ไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของมนุษย์ในปัจจุบัน มีค่าการสูญเสียปีสุขภาวะโดยรวมคิดเป็น 0.177 daily บ่งชี้ถึงการสูญเสียช่วงอายุของการมีสุขภาพที่สมบูรณ์ไปจำนวน 0.177 ปี อันอาจเกิดจากการตายก่อนถึงวัยอันควรหรือการมีชีวิตรอดอยู่ด้วยความเจ็บป่วยหรือพิการ (WHO, 2013) สำหรับผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ (ecosystem) พบว่า ตัวบ่งชี้ของผลกระทบที่สำคัญสามลำดับแรกมาจากสภาวะโลกร้อน ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศทางทะเล และการทำให้เป็นกรดในดิน มีค่าการลดลงของสิ่งมีชีวิตโดยรวมจำนวน 0.000332 สปีชีส์คูณจำนวนปี (species. year) และสุดท้ายในส่วน of ผลกระทบต่อความขาดแคลนทรัพยากร (resource availability) พบว่า เกิดผลกระทบจากการขาดแคลนทรัพยากรแร่โดยรวม 0.593 ยูเอสดอลลาร์ 2013 (USD2013)

Table 3 Human health impact results

Endpoint impact indicator	Value (DALY)
Fine particulate matter formation	8.45E-03
Global warming, Human health	1.59E-01
Human carcinogenic toxicity	3.11E-05
Human non-carcinogenic toxicity	9.11E-03
Ionizing radiation	4.27E-06
Ozone formation, Human health	2.37E-06
Stratospheric ozone depletion	4.40E-06
Water consumption, Human health	6.59E-05
Total	1.77E-01

Table 4 Ecosystem damage impact results

Endpoint impact indicator	Value (species.year)
Freshwater ecotoxicity	8.03E-10
Freshwater eutrophication	3.20E-09
Global warming, Freshwater ecosystems	8.67E-09
Global warming, Terrestrial ecosystems	3.18E-04
Land use	7.96E-10
Marine ecotoxicity	5.18E-06
Marine eutrophication	3.02E-11
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	4.64E-07
Terrestrial acidification	8.31E-06
Terrestrial ecotoxicity	4.19E-08
Water consumption, Aquatic ecosystems	1.79E-11
Water consumption, Terrestrial ecosystem	4.01E-07
Total	3.32E-04

Table 5 Resource depletion impact results

Endpoint impact indicator	Value (USD2013)
Mineral resource scarcity	5.93E-01
Fossil resource scarcity	0.00E+00
Total	5.93E-01

3. ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

ผลการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม LCA พบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยรวม 13,200 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/การผลิตน้ำมัน 3,000 กิโลกรัม ตารางที่ 2 (Table 2) หรือ คิดเป็น 4.4 กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/การผลิตน้ำมัน 1 กิโลกรัม หรือต่อขยะพลาสติก 3 กิโลกรัม โดยขั้นตอนกระบวนการผลิตก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุด (7,680 kg CO₂-eq) รองลงมาได้แก่ขั้นตอนการขนส่ง (4,740 kg-CO₂ eq) และการใช้วัตถุดิบ (796 kg CO₂-eq) ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าดังกล่าวข้างต้นเป็นการประเมินใน 1 รอบของการผลิตน้ำมัน (3,000 กิโลกรัม) โดยปกติใน 1 ปี โรงงานจะมีการผลิตน้ำมันได้ทั้งหมดประมาณ 40 รอบหรือคิดเป็น 120,000 กิโลกรัม/ปี จากปริมาณขยะพลาสติกทั้งปีประมาณ 360 ตัน ดังนั้น ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่แท้จริงของโรงงานจะมีค่าโดยรวมทั้งหมด 528 ตันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (tonCO₂-eq/year)

อภิปรายผล

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นประเด็นสำคัญในการวิจัยนี้ คือ การเกิดสภาวะโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกและเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีข้อจำกัดในด้านรายละเอียดข้อมูลเนื่องจากความแตกต่างในขอบเขตการศึกษา การนำเข้าข้อมูล พลังงานที่ใช้ วิธีการประเมินผล โปรแกรมสำเร็จรูป LCA รวมถึงประสิทธิภาพของการผลิตน้ำมันของโรงงานต่าง ๆ จึงเป็นไปได้ที่จะเปรียบเทียบผลลัพธ์สำหรับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและในด้านอื่น ๆ ได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสามารถพิจารณาเปรียบเทียบได้จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วยของน้ำหนักขยะพลาสติกที่ใช้ในการผลิตน้ำมัน โดยผลการประเมิน LCA ของ Gear et al. (2018) ที่ได้ศึกษาการนำขยะพลาสติกมารีไซเคิลด้วยกระบวนการไพโรไลซิส พบว่า ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 0.46–1.57 kgCO₂-eq/kg plastic waste ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้ (1.47 kgCO₂-eq/kg plastic waste) นอกจากนี้ มีผลการศึกษาของ Khoo (2019); Jeswani et al. (2021) ที่มีค่า 0.74 kgCO₂-eq/kg plastic waste แต่ค่าที่ได้จากการศึกษาต่ำกว่างานวิจัยนี้เนื่องจากความแตกต่างของประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันของโรงงาน (plant efficiency) ข้างต้นที่สูงถึง 65% และ 63% ตามลำดับ และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ที่โรงงานมีประสิทธิภาพเพียง 30% และใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง โดยผลจากการใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดส่งผลให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าแตกต่างกัน ซึ่งความต้องการพลังงาน 1 เมกะจูล (MJ) หากใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 0.056 kgCO₂-eq/MJ ไม้พิน 0.112 kgCO₂-eq/MJ และถ่านหินซับบิทูมินัส 0.095 kgCO₂-eq/MJ ตามลำดับ (IPCC, 2013) อย่างไรก็ตาม ผลกระทบด้านบวกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของโรงงานซึ่งเป็นการนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ำมันจึงเป็นการลดผลกระทบและแก้ไขปัญหาด้านขยะพลาสติกในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี อีกทั้งสามารถนำน้ำมันที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนให้กับหน่วยงานอื่น ๆ ร่วมด้วย ซึ่งช่วยลดการพึ่งพิงเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ

สำหรับผลกระทบด้านอื่น ๆ ที่ได้จากการประเมิน LCA ในครั้งนี้เป็นข้อมูลที่แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อเนื่องในชั้นปลายต่อสภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สุขภาพมนุษย์ ความหลากหลายทางชีวภาพและการขาดแคลนทรัพยากรแร่ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นพิจารณาจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบมลพิษและกิจกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในโรงงาน ดังนั้นแนวทางที่จะทำให้ผลกระทบลดลงหรือก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจำเป็นต้องพิจารณาให้สอดคล้องและเหมาะสม สำหรับในการดำเนินการของงานวิจัยนี้พบว่า การใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตและการขนส่งถือเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ดังนั้น การปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ เช่น ใช้ก๊าซธรรมชาติหรือถ่านหินแทนไม้พินเนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่า อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองและเถ้าที่เกิดขึ้นได้นอกจากนี้ การปรับปรุงเทคโนโลยีกระบวนการผลิตน้ำมันให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเป็นอีกแนวทาง

หนึ่งที่ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ด้านการใช้งาน ต้นทุนและความปลอดภัย เป็นต้น ในส่วนนโยบายการส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะพลาสติกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยเฉพาะการผลิตเป็นน้ำมันถือได้ว่าเป็นการจัดการขยะอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นการช่วยลดขยะพลาสติกที่จะถูกนำไปฝังกลบ อย่างเช่นงานวิจัยนี้สามารถลดขยะได้ 360 ตัน/ปี และผลิตเป็นน้ำมันใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล 120,000 กิโลกรัม/ปี (112,080 ลิตร/ปี ที่ความถ่วงจำเพาะ 0.934) รวมถึงภาครัฐต้องสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือกับภาคเอกชนให้มากขึ้น เพื่อสร้างแรงจูงใจและขับเคลื่อนให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้นำเสนอผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกในประเทศไทยโดยใช้เครื่องมือการประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (LCA) เริ่มตั้งแต่กิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งและกระบวนการผลิตในโรงงาน การศึกษาแสดงให้เห็นถึงผลกระทบสำคัญที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้วัตถุดิบทรัพยากร พลังงานเชื้อเพลิง และมลพิษของเสียที่เกิดขึ้น โดยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในขั้นตอนการผลิตถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นต้นเหตุของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นเครื่องมือประกอบในการตัดสินใจดำเนินการกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการพัฒนาในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไป อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยในประเด็นอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย เช่น ด้านสังคมและเศรษฐกิจ เพื่อให้ข้อมูลมีความครบถ้วนและสามารถระบุสาเหตุผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนรอบด้านจากการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่จัดสรรงบประมาณทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี พ.ศ. 2562 (สัญญาเลขที่ PCRU-2562-AC012) และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านโดยเฉพาะผู้ประกอบการโรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกที่ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Clemons SKC, Salloum CR, Herdegen KG, Kamens RM, Gheewala SH. Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand. Renewable Energy Journal 2021;168:448-462.
- Delft C. Exploration chemical recycling-extended summary what is the potential contribution of chemical recycling to dutch climate policy; 2020.

- Ekabut T, Reubroycharoen P, Uttamaprakrom W. A study of fuel production potential from plastic waste in Thailand. *Journal of Energy Research* 2014;11(1):38-49.
- EPA. Compilation of Air Pollutant Emissions Factors (AP-42). United states environmental protection agency. 2003. Available at: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s06.pdf>. Accessed: August 2, 2021.
- EPPO. Guidelines for promoting oil petroleum from plastic waste Energy Policy and Planning office (EPPO) Ministry of Energy. 2019. Available at: <http://www.eppo.go.th/images/petroleum/Biofuels/oilplasticwaste.pdf>. Accessed: August 2, 2021.
- Fukushima M, Shioya M, Wakai K, Ibe H. Toward maximizing the recycling rate in a Sapporo waste plastics liquefaction plant. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2009;11(1):11-18.
- Gallo F, Fossi C, Weber R, Santillo D, Sousa J, Ingram I, Nadal A. et al. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe* 2018;30(1):13.
- Gear M, Sadhukhan J, Thorpe R, Clift R, Seville J, Keast M. A life cycle assessment data analysis toolkit for the design of novel processes – a case study for a thermal cracking process for mixed plastic waste. *Journal of Cleaner Production* 2018;180:735-747.
- Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 2017;3(7):e1700782.
- GreenDelta. OpenLCA. 2021. Available at: <https://www.openlca.org>. Accessed July 5, 2021.
- Huijbregts MAJ, Steinmann Z, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira MDM, Hollander A. et al. ReCipe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level report I: Characterization. 2016. Available at: <http://hdl.handle.net/10029/620793>. Accessed July 12, 2021.
- IPCC. Climate change 2013 the physical science basis. 2013. Available at: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf. Accessed July 5, 2021.
- ISO. ISO 14044 - Environmental management- life cycle assessment - Requirements and guidelines. Geneva; 2006.
- Jeswani H, Kruger C, Russ M, Horlacher M, Antony F, Hann S, Azapagic A. Life cycle environmental impacts of chemical recycling via pyrolysis of mixed plastic waste in comparison with mechanical recycling and energy recovery. *Science of The Total Environment* 2021;769:144483.
- Khoo HH. LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore. *Resour Conserv Recycl* 2019;145(6):67-77.
- Prasara-A J, Gheewala SH. Applying Social Life Cycle Assessment in the Thai Sugar Industry: Challenges from the field. *Journal of Cleaner Production* 2018;172(5):335-346.
- PCD. Thailand State of pollution report 2019. Pollution control department. 2019. Available at: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/09/pcdnew-2020-09-03_08-10-17_397681.pdf. Accessed July 14, 2021.

- PlasticsEurope. PlasticsEurope Plastics – the facts 2019. 2019. Available at: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf. Accessed August 9, 2021.
- Rewlay-ngoen C, Papong S. Environmental impact assessment of a rotary compressor in Thailand based on life cycle assessment methodology. *SN Applied Sciences* 2020;2(9):1526.
- Silva DAL, Nunes AO, Piekarski CM, Moris ADS, Souza VLSMD, Rodrigues TO. Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause–effect analysis of the problem. *Sustainable Production and Consumption* 2019;20:304-315.
- Somoza-Tornos A, Gonzalez-Garay A, Pozo C, Graells M, Espuna A, Guillen-Gosalbez G. Realizing the potential high benefits of circular economy in the chemical industry: Ethylene monomer recovery via polyethylene pyrolysis ACS sustain. *Chemical Engineering Journal* 2020;8(9):3561-3572.
- WHO. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2011. world health organization. 2013. Available at: https://www.who.int/healthinfo/statistics/GlobalDALY_methods_2000_2011.pdf. Accessed August 16, 2021.