



การจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและไฮโดรเจนโดยใช้น้ำเสียจากการสกัดน้ำมัน ปาล์มในประเทศไทย

Simulation Biodiesel and Hydrogen Production Using Wastewater from Palm oil Mill Effluent in Thailand

กมลวรรณ แนวอินทร์¹, วีรชัย อัสวเมธาพันธ์² และ วรณี มังคละศิริ^{3*}

Kamonwan Naw-in¹, Weerachai Asawamethapant² and Woranee Mungkalasiri^{3*}

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม,
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹ Graduate student, Master of Engineering Program in Energy and Environmental Technology
Management, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

^{2,3} รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

^{2,3} Associate Professor, Thammasat School of Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

*Corresponding author, E-mail: pworanee@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลและไฮโดรเจนของน้ำเสียของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent, POME) ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณมาก และก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อน ประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่างๆ เช่น น้ำมัน น้ำ และสารแขวนลอย ซึ่งน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน เช่น ไบโอดีเซลได้ การนำน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ นอกจากจะช่วยลดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification) ด้วยวิธีการจำลองกระบวนการในโปรแกรม Aspen Plus เพื่อศึกษาหาสภาวะการดำเนินงานที่สามารถผลิตไบโอดีเซลและไฮโดรเจนได้มากที่สุด ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน และระยะเวลาทำปฏิกิริยาเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดยน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม 1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ 56.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ผลผลิต (Yield) 89.41% คิดเป็นปริมาณไบโอดีเซล 56.02 กิโลกรัม/ชั่วโมง และกลีเซอรอลดิบ 5.81 กิโลกรัม/ชั่วโมง นอกจากนี้เมื่อนำกลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้มาผลิตไฮโดรเจน



โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ 800°C ความดัน 22.1 MPa และความเข้มข้นของสารป้อน 5% สามารถผลิตไฮโดรเจน (Yield) ได้มากที่สุด 14.79% คิดเป็นปริมาณไฮโดรเจน 0.859 กิโลกรัม/ชั่วโมง

คำสำคัญ: แก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด, ไบโอดีเซล, เชื้อเพลิงไฮโดรเจน, น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม

Abstract

This research studies the production of biodiesel and hydrogen from palm oil mill effluent (POME), a waste byproduct from the palm oil extraction industry that is generated in large quantities and poses environmental challenges. POME has a complex chemical composition, consisting of various organic and inorganic compounds such as oil, water, and suspended solids. Utilizing POME as a feedstock for alternative energy production, such as biodiesel, not only mitigates environmental issues but also utilizes waste resources more effectively and promotes the use of environmentally friendly alternative energy sources. This work studies the transesterification process and the supercritical water gasification process through process simulation using Aspen Plus. The results indicate that temperature, methanol: oil ratio and reaction time are key factors influencing biodiesel yield. The optimal operating conditions for maximizing biodiesel production were found at temperature of 60°C, and methanol: oil ratio of 6:1 and a reaction time of 1 hour. In this study, 1,000 kg/h of POME there is a usable triglyceride content of 56.16 kg/h, which resulted in a biodiesel yield of 89.41%, corresponding to 56.02 kg/h of biodiesel and 5.81 kg/h of crude glycerol. Furthermore, the crude glycerol as byproduct was utilized for hydrogen production through the supercritical water gasification process. The study found that the optimal operating conditions for maximizing hydrogen yield were a temperature of 800°C, a pressure of 22.1 MPa, and a feed concentration of 5%, hydrogen yield was 14.79%, corresponding to 0.859 kg/h of hydrogen.

Keywords: Supercritical water gasification, Biodiesel, Hydrogen, Palm oil mill effluent

บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและสะอาดถือเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกมานานหลายปี และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก



(Greenhouse Gas) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลไม่ว่าจะเป็น ถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญที่สุด ปัจจุบันความต้องการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและมีประสิทธิภาพสูง ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นจำนวนมาก ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อน จากการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศสูงถึง 830 ล้านตันต่อปี จากภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ และกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักและส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2567)

สถานการณ์การปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยในปี พ.ศ.2567 มีพื้นที่ 6.38 ล้านไร่ ผลผลิตประมาณ 18.12 ล้านตัน และมีอัตราการสกัดน้ำมันเฉลี่ยในเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 อยู่ที่ร้อยละ 18.28 ส่งผลให้มีน้ำมันปาล์มดิบ 321,572 ตัน ในปริมาณผลผลิตดังกล่าวมีการส่งออกสินค้าน้ำมันปาล์มไปต่างประเทศ 116,170 ตัน และใช้ในประเทศทั้งเพื่อบริโภคและอุตสาหกรรมอื่น 113,760 ตัน โดยใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 100,523 ตัน และจากการกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent) ซึ่งเป็นของเสียที่มีความเป็นกรดและมีปริมาณสารอินทรีย์สูง มีความยากต่อการกำจัดซึ่งน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย น้ำมัน น้ำ และสารแขวนลอย สารปนเปื้อนเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำและสิ่งแวดล้อม โดยการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มอย่างยั่งยืนสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ นอกจากนี้การนำน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มไปใช้ประโยชน์ และการนำไปผลิตไบโอดีเซลเป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าของน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยปัจจุบันปริมาณรถเครื่องยนต์ดีเซลในภาคขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากกิจกรรมทางด้านการเศรษฐกิจในประเทศไทยที่ฟื้นตัวตามทิศทางเศรษฐกิจโลก โดยรัฐบาลจึงมีมาตรการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลและสร้างสมดุลน้ำมันปาล์ม และมีการขยายเวลาจ่ายเงินชดเชยแก่น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพถึง 24 กันยายน พ.ศ. 2569 โดยกระทรวงพลังงานระบุไว้ว่าการจ่ายเงินชดเชยให้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา B10 และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B20 ตามนัยมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติ เพื่อเป็นกลไกในการรักษาระดับค่าการตลาดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลเป็นแนวทางการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มได้อีกด้วย (Alfalaval, 2024)

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มนั้น ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ น้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม เป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากน้ำเสียมีสิ่งเจือปนและอนุภาคขนาดเล็กปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก หากไม่ทำการเตรียมให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและคุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้ ขั้นตอนสำคัญในการเตรียมน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ก่อนนำไปผลิตไบโอดีเซล คือ การให้ความร้อนและการกรอง ซึ่งเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่ช่วยกำจัดสิ่งสกปรกและเตรียมน้ำเสียให้พร้อมสำหรับกระบวนการทางเคมีต่อไป การให้ความร้อนกับ



น้ำเสียมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ของเสียต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำเสียอยู่ในสถานะของเหลว ไม่แข็งตัวหรือจับตัวเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้การกรองเป็นไปได้ง่ายขึ้น หากปล่อยให้น้ำเสียเย็นตัวลง ของเสียเหล่านี้อาจเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งหรือเกิดเป็นลิ่ม ทำให้การกรองทำได้ยากขึ้น และอาจอุดตันได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อนน้ำเสียนั้นโดยอยู่ที่ประมาณ 60°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอที่จะรักษาสภาพของของเสียให้อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว หลังจากการให้ความร้อน น้ำเสียจะถูกนำไปผ่านกระบวนการกรองเพื่อขจัดเศษสิ่งสกปรกหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ไม่ต้องการออกไปให้หมด ทำให้น้ำเสียสะอาดขึ้นและพร้อมสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล การกรองนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้อะไรสกปรกอุดตันในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการผลิต และยังช่วยให้ได้ไบโอดีเซลมีคุณภาพปราศจากสิ่งเจือปน (Alfawan Alfawan, Aung Kyaw, Moch Purwanto, Muhammad Uswah Pawara, Suardi Suardi, & Wira Setiawan, 2022) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม และลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย การผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียน ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการศึกษาการจำลองกระบวนการในโปรแกรม Aspen Plus เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การจำลองกระบวนการทำให้สามารถทดลองและศึกษาพฤติกรรมของระบบได้ โดยยังไม่ต้องลงทุนในการสร้างโรงงานจริง การจำลองกระบวนการช่วยให้สามารถทำการทดลองต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ เพื่อค้นหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้การจำลองกระบวนการยังช่วยให้สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ล่วงหน้า ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนและออกแบบกระบวนการผลิต ในปัจจุบันการผลิตไบโอดีเซลมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุก ๆ ปี ส่งผลให้ปริมาณกลีเซอรอลดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตนั้นมีปริมาณมากจนส่งผลกระทบต่อตลาดกลีเซอรอลดิบ ส่งผลให้ปริมาณกลีเซอรอลดิบเกินความต้องการของตลาดในอุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ด้านความงาม หากนำไปกำจัดทิ้งก็เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยเหตุนี้การนำกลีเซอรอลดิบมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification) จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรและส่งเสริมพลังงานสะอาด ดังนั้นการนำกลีเซอรอลดิบมาใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ (Marumo, 2021)

เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากการเผาไหม้ไฮโดรเจนให้พลังงานที่สูง และไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล (Sarah Golden, 2024) ปัจจุบันได้มีการศึกษานำวัตถุดิบต่าง ๆ มาผลิตไฮโดรเจนหลากหลายวิธี ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยกระบวนการ



ที่ได้รับค่านิยมได้แก่ แก๊สซิฟิเคชันแบบดั้งเดิม (Conventional Gasification), แก๊สซิฟิเคชันด้วยพลาสมา (Plasma Gasification) และแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification) ผลการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification) มีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนสูงสุด (António Henriques Martins, 2022)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการจำลองกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และได้ศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงผสม ซึ่งประกอบด้วย H_2 , CO , CO_2 และ CH_4 ผ่านกระบวนการ Supercritical Water Gasification โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus ในการจำลองกระบวนการ และการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซลและแก๊สเชื้อเพลิงผสม โดยในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิในช่วง 30-70 °C (ไพศาล คงคาฉุยฉาย และ อำนาจ คำหล้า, 2551 ; Imtisal Zahid, Hamza Nazir, Mariam Ameen, Mohd Hizami Mohd Yusoff, Muhammad Ayoub, Muhammad Farooq Sher and Zulqarnain, 2021) เวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 0-1.5 ชั่วโมง (นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์, สุหัตถ์นิเช็ง, และ อาริษา โสภารจารย์, 2563 ; Imtisal Zahid & et.al, 2021) และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันในช่วง 3:1-15:1 (นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์ และคณะ, 2563 ; Imtisal Zahid & et.al, 2021) สำหรับกระบวนการ Supercritical Water Gasification ได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิในช่วง 500-1,000 °C (António Henriques Martins, 2022 ; Athina Stegov Sagia and Panagiotis Kladisios, 2022) ความดันในช่วง 22.1-42.1 MPa (António Henriques Martins, 2022 ; Nathapol Boonpithak, 2012 ; Athina Stegov Sagia and Panagiotis Kladisios, 2022) และความเข้มข้นของสารตั้งต้นในช่วง 5%-25% (António Henriques Martins, 2022 ; Dwi Hantoko, Hongcai Su, Mi Yan, Ekkachai Kanchanatip, Guobin Wang, Herri Susanto, Sicheng Zhang and Zhang Xu.,2018)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการนำน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มมาผลิตไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาณมากที่สุด
2. ศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมาผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยกระบวนการ Supercritical Water Gasification โดยการจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Aspen Plus เพื่อหาสภาวะการดำเนินงานที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้มากที่สุด



แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน และกระบวนการ Supercritical Water Gasification โดยขั้นตอนการศึกษาของการวิจัยนี้ศึกษาตั้งแต่การนำน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มมาผลิตไบโอดีเซลและนำกลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน การศึกษานี้จะสามารถนำไปสู่การผลิตพลังงานสะอาดที่มีประสิทธิภาพและความยั่งยืนด้านพลังงาน

1. กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification)

ไบโอดีเซล หรือ Fatty acid alkyl esters (FAMES) ได้จากการสังเคราะห์กรดไขมันอัลคิลเอสเทอร์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอัลคาไล ไบโอดีเซลถือเป็นพลังงานสะอาดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันจากฟอสซิล (Jayacumar Sanjana, S. P. Jeevan Kumar, P. Naveen Kumar, K. Ramachandrudu and Samuel Jacob, 2024) และผลผลิตไบโอดีเซลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) โดยใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล



กลีเซอรอลดิบ (Crude glycerol) คือ ผลพลอยได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งจะเกิดการแยกออกมาเป็นกลีเซอรอลและเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) ที่ใช้เป็นไบโอดีเซล กลีเซอรอลดิบมีสารปนเปื้อนสูงและเทคโนโลยีที่สามารถแยกได้ก็มีราคาค่อนข้างสูงการนำกลีเซอรอลดิบมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน จึงเป็นการส่งเสริมการพัฒนาเชิงพาณิชย์และพลังงานสะอาด ลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Ajay K. Dalai, Alivia Mukherjee, Burcu Gunes, Emmanuel I., Epelle, Sonil Nanda, Jude A. Okolie and Meshach E. Tabat, 2021) ซึ่งในการผลิตไบโอดีเซลจะเกิดกลีเซอรอลดิบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้ประมาณ 10% ของปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (Manisara Kome-ngam, Pesak Rungrojchaipon and Pronchita Kantong, 2022) โดยการคำนวณผลผลิต (Yield) ของไบโอดีเซล สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{Biodiesel yield (\%)} = \frac{\text{Biodiesel} - \text{Crude glycerol}}{\text{Triglyceride}} \times 100 \quad (4)$$

Biodiesel คือ ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจากกระบวนการ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

Crude glycerol คือ ปริมาณกลีเซอรอลดิบที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจากกระบวนการ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

Triglyceride คือ ปริมาณน้ำมัน ที่ได้จากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม (กิโลกรัม/ชั่วโมง)



2. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification)

เป็นกระบวนการที่ใช้น้ำในสภาวะยิ่งยวด (อุณหภูมิสูงกว่า 374°C และความดันสูงกว่า 22.1 MPa) เพื่อเปลี่ยนกลีเซอรอลให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงผสมที่มีไฮโดรเจนสูง วิธีการนี้ใช้คุณสมบัติของน้ำให้ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวทำละลายและตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อสลายกลีเซอรอล (Ali Erdogan Karaca, Ali M. I. Qureshy, Ibrahim Dincer and Muhammed Iberia Aydin, 2021) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากชีวมวลอย่างยิ่ง โดยสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด สามารถจัดการกับชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ซึ่งช่วยลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตและช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้แบบเดิม โดยน้ำที่อยู่ในสภาวะยิ่งยวด จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ช่วยให้สารปนเปื้อน เช่น เกลืออนินทรีย์และทาร์ ซึ่งสามารถละลายได้ดีขึ้น ส่งผลให้ก๊าซ H_2 , CO , CO_2 และ CH_4 ที่ผลิตมีความสะอาดและปลอดภัย เนื่องจากไม่มีการเผาไหม้ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง ควีน เขม่า และก๊าซ NO_x ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุผลเหล่านี้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด จึงมีความสะอาด ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบดั้งเดิม (Martins, 2022) และค่าผลผลิตของไฮโดรเจนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\text{Individual gas yield (\%)} \quad Y_{H_2} \left[\frac{\text{kg}_{H_2}}{\text{kg}_{\text{feed}}} \right] = \frac{m_{H_2}}{m_{\text{feed}}} \times 100 \quad (5)$$

Y_{H_2} คือ ผลผลิตของก๊าซ H_2

m_{H_2} คือ มวลของก๊าซที่ผลิตได้ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

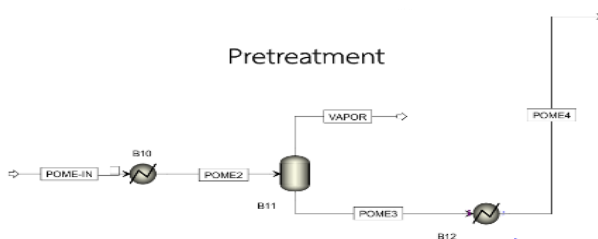
m_{feed} คือ มวลของกลีเซอรอลดิบที่ใช้ในกระบวนการ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

3. การจำลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด

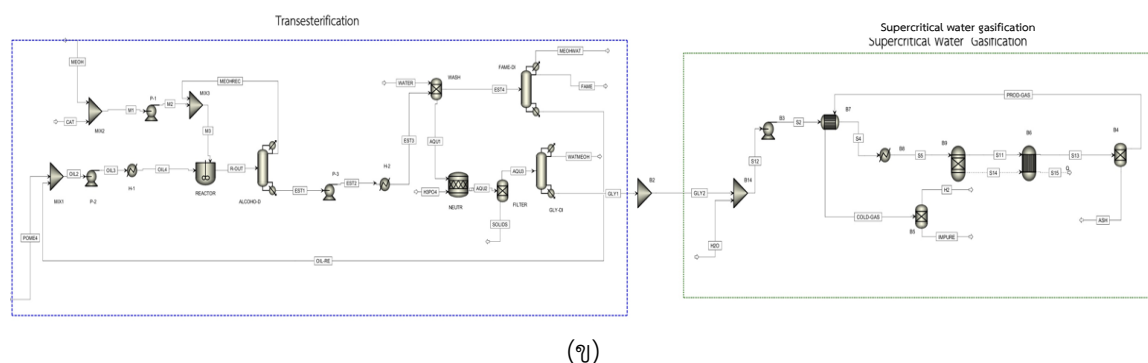
กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีการเกิดน้ำเสียปริมาณมาก โดยขั้นตอนสำคัญที่ก่อให้เกิดน้ำเสียคือ กระบวนการนึ่งและกระบวนการสกัดน้ำมัน จึงมีความจำเป็นต้องบำบัดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำเสียมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพที่โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ อย่างไรก็ตามวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียดังกล่าวนี้ คือ การนำเอาน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งมีความเหมาะสมเป็นอย่างมากในปัจจุบันและอนาคต ที่พลังงานเชื้อเพลิงมีปริมาณลดลงและอาจขาดแคลนได้ในอนาคต (Prayoon Fongsatitkul and Supawadee Sinnaraprasat, 2011) ภาพที่ 1 แสดงแบบจำลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวดที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยในส่วนของการกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน กระบวนการเริ่มจากการเตรียมน้ำเสียจากการสกัด

น้ำมันปาล์ม คือการให้ความร้อนแก่น้ำเสียที่อุณหภูมิ 110 °C เพื่อให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ โดยใช้ความแตกต่างด้านจุดเดือดในการแยกน้ำกับน้ำมันออกจากกัน และเพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำเสีย ต่อมาได้นำไปกรองแยกของแข็งที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียน้ำมันปาล์มออกโดยกรอง (Suardi et al, 2022) ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มป้อนเข้าสู่กระบวนการเตรียมน้ำเสียในปริมาณ 1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มของประเทศไทยมีค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 78 °C (พูนสุข ประเสริฐสุรพร และ เสถียรพงษ์ อุดมศิลป์, 2553) OD 48,900 mg/L, BOD 19,560 mg/L, pH 4.82, ของแข็งรวม (TS) 22,666.01 mg/L, สารแขวนลอย (SS) 20,200.78 mg/L, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-N) 51 mg/L, น้ำมันและไขมัน 5,569.82 mg/L, ไนโตรเจน (N) 0.49 g/L (Nisa Paichid, Saowakon Suwanno, Kanokphorn Sangkharak , Pattarawadee Kimtun, Poonsuk Prasertsan, Thanaphorn Rakkan and Tewan Yunu, 2017)

จากนั้นน้ำมันจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งใช้เมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ ในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาเคมี ค่าจลศาสตร์ (k) และค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) ของกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แสดงในตารางที่ 1 และได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบ (Gisele Rabelo and Maria Andrade, 2020) โดยได้มีการทดสอบความถูกต้องของกระบวนการกับงานวิจัย Simulation and optimization of CSTR reactor of a biodiesel plant by various plant sources using Aspen Plus โดยผลไบโอดีเซลมีความคลาดเคลื่อน 0.013% และกลีเซอรอลดิบ ความคลาดเคลื่อน 5.473% (Gisele Rabelo and Maria Andrade, 2020) ต่อมากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสถานะน้ำยิ่งยวดจะใช้กลีเซอรอลดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจน ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) ซึ่งปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสถานะน้ำยิ่งยวด แสดงในตารางที่ 2 โดยแบบจำลองนี้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus และได้มีการทดสอบความถูกต้องของกระบวนการกับงานวิจัย Biomass gasification as a way of producing green hydrogen modelling and simulation in Aspen Plus® โดย H₂ มีความคลาดเคลื่อน 0.051%, CO₂ มีความคลาดเคลื่อน 0.331%, CO มีความคลาดเคลื่อน 3.730%, CH₄ มีความคลาดเคลื่อน 4.667% ซึ่งการศึกษานี้ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพของทั้งสองกระบวนการได้ (Martins, 2022)



(ก)



ภาพที่ 1 (ก) แบบจำลองกระบวนการเตรียมน้ำเสีย และ (ข) แบบจำลองกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด

ตารางที่ 1 ค่าจลศาสตร์และค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Gisele Rabelo and Maria Andrade, 2020)

ปฏิกิริยาเคมี	$k \left(\frac{L}{mol \cdot min} \right)$	$E_a \text{ (kcal/mol)}$
Triglyceride $\rightarrow$ Diglyceride	0.089	14.040
Diglyceride $\rightarrow$ Triglyceride	0.009	10.739
Diglyceride $\rightarrow$ Monoglyceride	0.348	16.049
Monoglyceride $\rightarrow$ Diglyceride	0.129	13.907
Monoglyceride $\rightarrow$ Methyl ester	0.488	7.173
Methyl ester $\rightarrow$ Monoglyceride	0.038	10.997

ตารางที่ 2 ปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Dwi Hantoko & et.al ,2018)

ปฏิกิริยา	สมการเคมี	$\Delta H_{298K} \text{ (MJ/kmol)}$
Simplified overall reaction of Supercritical water gasification	$CH_xO_y + (2-y)H_2O \rightarrow CO_2 + \left(2-y + \frac{x}{2}\right)H_2$	ดูดความร้อน
Water gas shift reaction	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	-42
Boudouard reaction	$C + CO_2 \leftrightarrow CO$	+172



ตารางที่ 2 (ต่อ)

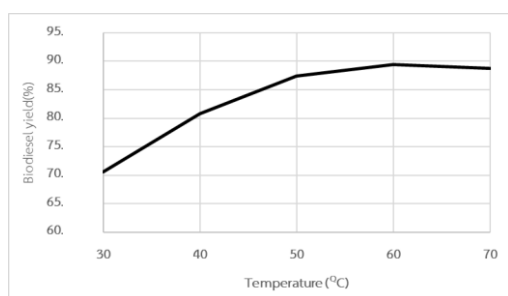
ปฏิกิริยา	สมการเคมี	ΔH_{298K} (MJ/kmol)
Steam methane reforming	$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$	+206
Dry reforming	$CH_4 + CO_2 \leftrightarrow 2CO + 2H_2$	+247
Methane formation	$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	-74
Methanation of CO_2	$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$	-165
Methanation of CO	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	-206
Hydrogenation of CO_2	$CO_2 + 2H_2 \leftrightarrow C + 2H_2O$	-90
Hydrogenation of CO	$CO + H_2 \leftrightarrow C + H_2O$	-131

ผลการศึกษา

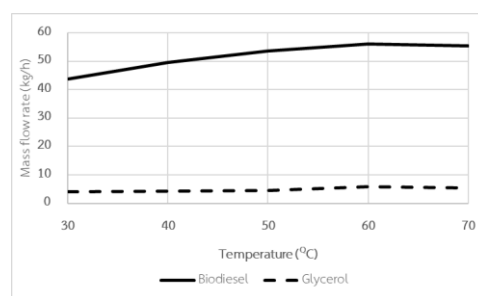
1. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ผลการศึกษาการจำลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยใช้น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มปริมาณ 1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยจากการจำลองกระบวนการเตรียมน้ำเสีย ทำให้ทราบว่ามีน้ำเสียที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ 56.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งผลการศึกษาด้วยวิธีการจำลองกระบวนการโดยโปรแกรม Aspen Plus พบว่าอุณหภูมิอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยามีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล ดังนี้ จากภาพที่ 2(ก) ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง พบว่าผลผลิตของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ $60^{\circ}C$ ซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ $70^{\circ}C$ ผลผลิตของไบโอดีเซลกลับมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลให้เกิดการระเหยของเมทานอลหรือส่งผลกระทบต่อตัวเร่งปฏิกิริยา (ไพศาล คงคาอุยฉาย และอำนาจ คำหล้า, 2551 ; Imtisal Zahid & et al, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 2(ข) ที่แสดงปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ ให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ดีที่สุด นอกจากนี้จากภาพที่ 3(ก) ที่อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมีผลต่อผลผลิตของไบโอดีเซล โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ผลผลิตที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราส่วน 6:1 ให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุด ในขณะที่อัตราส่วน 3:1 ให้ผลผลิตต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลช่วยให้ปฏิกิริยามีทิศทางของการเกิดไบโอดีเซลมากขึ้น แต่เมื่อเกินอัตราส่วน 6:1 ผลผลิตของไบโอดีเซลกลับมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการใช้อัตราส่วนเมทานอลที่มากเกินไป ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้การละลายของน้ำมันไม่ดี เกิดสารตกค้างหรือโคก (นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์ และคณะ, 2563 ; Imtisal Zahid & et al, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 3(ข) ที่แสดงปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน

เมทานอลต่อน้ำมัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วน 6:1 ให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ดีที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นจากภาพที่ 4(ก) ที่อุณหภูมิ 60°C และอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 พบว่าผลผลิตของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา โดยที่เวลา 1 ชั่วโมงสามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุด หลังจากนั้นผลผลิตจะมีแนวโน้มคงที่ แม้เพิ่มเวลาเป็น 1.5 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยามีการดำเนินไปถึงสมดุลที่เวลา 1 ชั่วโมง การเพิ่มระยะเวลาหลังจากนั้นจึงไม่มีผลต่อผลผลิตไบโอ (นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์ และคณะ, 2563 ; Imtisal Zahid & et al, 2021) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับภาพที่ 4(ข) ที่แสดงปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่เวลา 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ดีที่สุด การเพิ่มระยะเวลาหลังจากนั้นไม่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซล ดังนั้นจากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60°C อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมคือ 6:1 และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 1 ชั่วโมง โดยพิจารณาความเหมาะสมของกระบวนการจากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการเป็นหลัก กระบวนการผลิตนี้สามารถผลิตไบโอดีเซล (Yield) ได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 89.41% โดยได้ปริมาณไบโอดีเซล 56.02 กิโลกรัม/ชั่วโมง และกลีเซอรอลดิบ 5.81 กิโลกรัม/ชั่วโมง

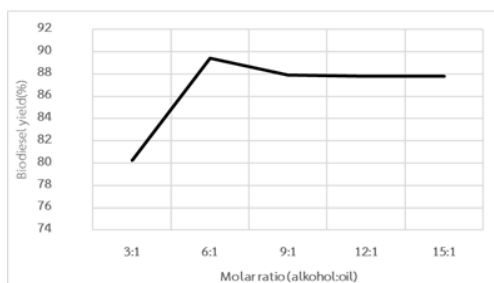


(ก)

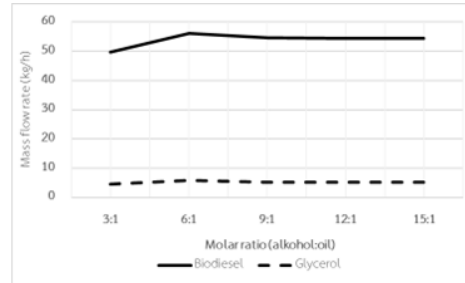


(ข)

ภาพที่ 2 (ก) อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล (Yield), (ข) อิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบ โดยที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

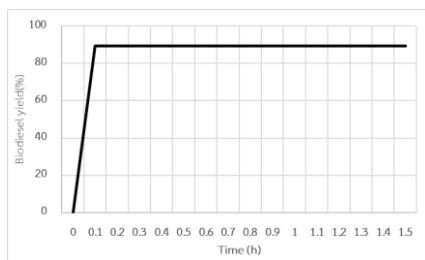


(ก)

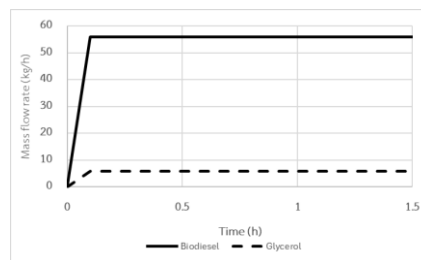


(ข)

ภาพที่ 3 (ก) อิทธิพลของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ส่งผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล (Yield), (ข) อิทธิพลของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ส่งผลต่อปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบ โดยที่อุณหภูมิ 60°C และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

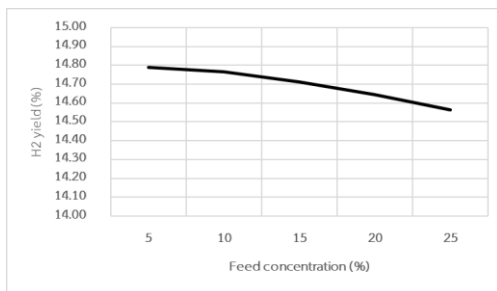
ภาพที่ 4 (ก) อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อผลผลิตไบโอดีเซล (Yield), (ข) อิทธิพลของเวลาที่ส่งผลต่อปริมาณไบโอดีเซลและกลีเซอรอลดิบ โดยที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และอุณหภูมิ 60°C

2. การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลดิบ ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด (Supercritical Water Gasification)

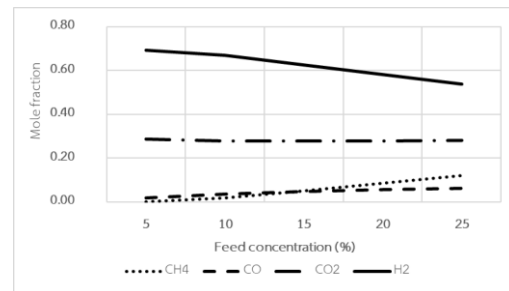
จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นสามารถผลิตกลีเซอรอลดิบได้ 5.81 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ เมื่อนำกลีเซอรอลดิบที่ได้นี้มาผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด ผลการศึกษาจากการจำลองกระบวนการแสดงดังนี้ จากภาพที่ 5(ก) ที่ความดัน 22.1 MPa และความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Feed concentration) 5% ซึ่งหมายถึงกลีเซอรอลดิบ 5 ส่วน ผสมกับตัวทำละลาย (น้ำ) 95 ส่วน โดยผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตไฮโดรเจน (H_2) เช่นเดียวกับภาพที่ 5(ข) ที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการผลิตไฮโดรเจนมากที่สุด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 500°C ถึง 1000°C ปริมาณ H_2 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยสลายพันธะของ CH_4 และ CO_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางกลับกัน CH_4 มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะถูกเปลี่ยนเป็น H_2 และ CO ผ่านปฏิกิริยา Steam methane reforming (António Henriques Martins, 2022 ; Dwi Hantoko & et al, 2018) นอกจากนี้จากภาพที่ 6(ก) ที่อุณหภูมิ 800°C และความดัน 22.1 MPa พบว่าความเข้มข้นของสารป้อนมีผลต่อผลผลิต H_2 เช่นเดียวกับภาพที่ 6(ข) ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารป้อนเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 25% ปริมาณ H_2 ลดลง เนื่องจากความเข้มข้นที่มากขึ้นทำให้สารป้อนมีความหนืดมากขึ้นรวมถึงยังเกิดการอุดตันในถังปฏิกรณ์ได้อีกด้วย ในขณะที่เดียวกัน CH_4 และ CO_2 กลับเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารป้อน ส่วน CO มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปฏิกิริยา Dry reforming (António Henriques Martins, 2022) รวมทั้งจากภาพที่ 7(ก) ที่อุณหภูมิ 800°C และความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5% ผลการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มความดันเพิ่มขึ้นจาก 22.1 MPa เป็น 42.1 MPa ผลผลิต H_2 ลดลงเล็กน้อย แต่การเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนเท่ากับอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารป้อน เช่นเดียวกับภาพที่ 7(ข) ที่แสดงให้เห็นว่า H_2 มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ส่วน CH_4 , CO_2 มีแนวโน้มคงที่ และ CO ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าความดันมีผลต่อการผลิต H_2 ไม่มากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารป้อน แต่ความดันมีส่วนช่วยเพิ่มการละลายของสารป้อนในน้ำได้ (António Henriques Martins, 2022 ; Dwi Hantoko & et al, 2018) จากการศึกษากระบวนการ แก๊สซิฟิเคชันในสภาวะน้ำยิ่งยวด



สามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 800°C ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหมาะสม คือ 5% และความดันที่เหมาะสมคือ 22.1 MPa โดยพิจารณาความเหมาะสมของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสภาวะนี้ยิ่งยวด จากผลผลิตของ H_2 ที่ได้จากกระบวนการเป็นหลัก โดยดูจากปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ H_2 ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น และความดัน โดยที่สภาวะการดำเนินงานนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แก๊สเชื้อเพลิงผสมในเทอมของสัดส่วนโดยโมลได้ดังนี้ H_2 0.6924, CO 0.0188, CO_2 0.2872 และ CH_4 0.0016 และได้ผลผลิต H_2 (Yield) 14.79% ((Dwi Hantoko & et al, 2018) คิดเป็นปริมาณ H_2 ที่ผลิตได้เท่ากับ 0.859 กิโลกรัม/ชั่วโมง

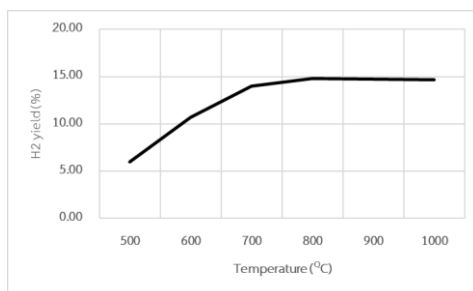


(ก)

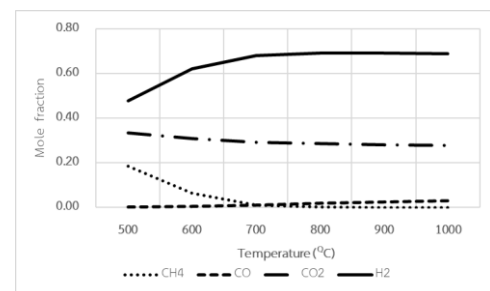


(ข)

ภาพที่ 5 (ก) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อผลผลิต H_2 (Yield), (ข) อิทธิพลของอุณหภูมิต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงผสม โดยที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5% และความดัน 22.1 MPa

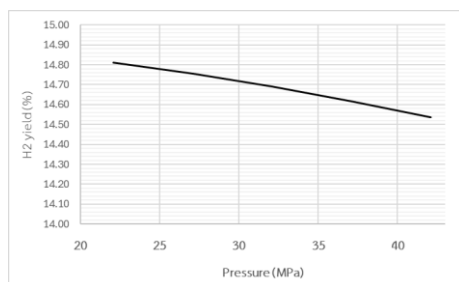


(ก)

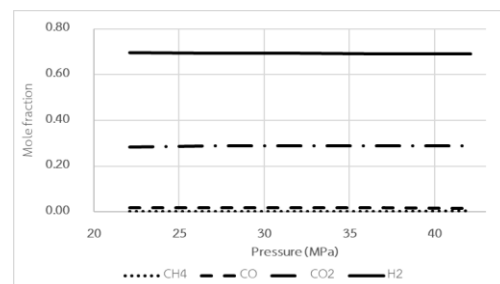


(ข)

ภาพที่ 6 (ก) อิทธิพลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่อผลผลิต H_2 (Yield), (ข) อิทธิพลของความเข้มข้นของสารป้อนต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงผสม โดยที่อุณหภูมิ 800°C และความดัน 22.1 MPa



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 (ก) อิทธิพลของความดันต่อผลผลิต H_2 (Yield), (ข) อิทธิพลของความดันต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงผสม โดยที่อุณหภูมิ 800°C และความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5%



สรุปผลการศึกษา

น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม โดยเฉพาะในขั้นตอนการฆ่าเชื้อและการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นมีปริมาณมาก แต่น้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มไม่ได้เป็นเพียงแค่น้ำเสียที่ไร้ประโยชน์ เนื่องจากในน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจากศึกษาด้วยวิธีการจำลองกระบวนการในโปรแกรม Aspen plus ทำให้ทราบว่าน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม 1,000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์ 56.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง) สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 56.02 กิโลกรัม/ชั่วโมง คิดเป็นผลผลิตของไบโอดีเซล (Yield) 89.41% และกลีเซอรอลดิบ 5.81 กิโลกรัม/ชั่วโมง นอกจากนี้ผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งคือกลีเซอรอลดิบ สามารถนำมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจนได้ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในสถานะน้ำยิ่งยวด โดยได้ผลผลิตไฮโดรเจน (Yield) 14.79% คิดเป็นปริมาณไฮโดรเจน 0.859 กิโลกรัม/ชั่วโมง การศึกษานี้ได้นำเสนอแนวทางในการผลิตพลังงานจากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมมาผลิตไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงไฮโดรเจนโดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคการขนส่งและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากของเสีย ซึ่งส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาและพัฒนากระบวนการเพิ่มเติมในการจัดการ CO₂ และศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากน้ำเสียจากการสกัดน้ำมันปาล์ม พัฒนาไปสู่ความยั่งยืนในทุกๆ ด้าน ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect). สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2567 จาก <http://climate.tmd.go.th/content/article/10>
- นภารัตน์ เกษตรสมบูรณ์, สุทธิ นีเช็ง และ อาริษา โสภากจารย์. (2563). การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา. สงขลา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาลัยรัตภูมิ.
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ และ เสถียรพงษ์ อุดมศิลป์. (2553). การแยกน้ำมันและของแข็งออกจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์และเอนไซม์. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 1(2), 125-134.



- ไพศาล คงคาอุยฉาย และ อำนาจ คำหล้า. (2551). ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาโปแตสเซียมออกไซด์/ฟอจาไซด์. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, 24(24), 141-152.
- Ajay K. Dalai, Alivia Mukherjee, Burcu Gunes, Emmanuel I., Epelle, Sonil Nanda, Jude A. Okolie, & Meshach E. Tabat,. (2021). A techno-economic assessment of biomethane and bioethanol production from crude glycerol through integrated hydrothermal gasification, syngas fermentation and biomethanation. *Energy Conversion and Management*: X, 12, 100131.
- Alfalaval. (2024). POME treatment. Retrieved from <https://www.alfalaval.com/industries/food-dairy-beverage/food-processing/fat-and-oil-processing/palm-oil-processing/pome-treatment/>
- Alfawan Alfawan, Aung Kyaw, Moch Purwanto, Muhammad Uswah Pawara, Suardi Suardi, & Wira Setiawan. (2022). Biodiesel Production from POME (Palm Oil Mill Effluent) and Effects on Diesel Engine Performance. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 7.
- Ali Erdogan Karaca, Ali M. M. I. Qureshy, Ibrahim Dincer, & Muhammed Iberia Aydin. (2021). A comparative review on clean hydrogen production from wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 279, 111793.
- António Henriques Martins. (2022). Biomass gasification as a way of producing green hydrogen modelling and simulation in Aspen Plus®
- Athina Stegov Sagia Panagiotis Kladisios. (2022). A Review on Supercritical Water Gasification of Biomass. *Bioenergy and Bioresource*, 3(4).
- Dwi Hantoko, Hongcai Su, Mi Yan, Ekkachai Kanchanatip, Guobin Wang, Herri Susanto, Sicheng Zhang, & Zhang Xu. (2018). Thermodynamic study on the integrated supercritical water gasification with reforming process for hydrogen production: Effects of operating parameters. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(37), 17620-17632.
- Gisele Rabelo, & Maria Andrade. (2020). Simulation and optimization of CSTR reactor of a biodiesel plant by various plant sources using Aspen Plus. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, -1.
- Jayacumar Sanjana, S. P. Jeevan Kumar, P. Naveen Kumar, K. Ramachandrudu, & Samuel Jacob. (2024). Coupled Production of Fatty Acid Alkyl Esters as Biodiesel and Fermentative Xylitol from Indian Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Kernal Oil in a Biorefinery Loom. *Waste and Biomass Valorization*, 15(10), 5785-5804.



- Imtisal Zahid, Hamza Nazir, Mariam Ameen, Mohd Hizami Mohd Yusoff, Muhammad Ayoub, Muhammad Farooq Sher, & Zulqarnain. (2021). Solvent extraction and performance analysis of residual palm oil for biodiesel production: Experimental and simulation study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105519.
- Manisara Kome-ngam, Pesak Rungrojchaipon, & Pronchita Kantong. (2022). Catalytic Study of Calcium Silicate from Duck Eggshell for the Synthesis of Glycerol Carbonate from Glycerol and Urea. *Journal of Science Ladkrabang*, 31(1), 1-16.
- Marumo. (2021). “รอบรู้เรื่อง “กลีเซอริน (Glycerin)” คืออะไรและใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง?”. สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2567 จาก marumothai.com/article
- Nathapol Boonpithak. (2012). Simulation of autothermal biomass gasification using supercritical water (Master's Degree). Chulalongkorn University, Bangkok.
- Nisa Paichid, Saowakon Suwanno, Kanokphorn Sangkharak , Pattarawadee Kimtun, Poonsuk Prasertsan, Thanaphorn Rakkan, & Tewan Yunu. (2017). The production of biodiesel using residual oil from palm oil mill effluent and crude lipase from oil palm fruit as an alternative substrate and catalyst. *Fuel*, 195, 82-87.
- Prayoon Fongsatitkul, & Supawadee Sinnaraprasat. (2011). Optimal Condition of Fenton's Reagent to Enhance the Alcohol Production from Palm Oil Mill Effluent (POME). *EnvironmentAsia*, 4, 9-16.
- Sarah Golden. (2024). Has green hydrogen's time finally come. Trellis by GreenBiz Group Inc. Retrieved from <https://trellis.net/article/has-green-hydrogens-time-finally-come/>