

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม น้ำมันอากาศยานชีวภาพจากของเหลือทิ้งชีวภาพและพืชพลังงาน

Techno-economics and Environmental Feasibility Study on Bio-jet Fuels from Bio-wastes and Energy Plants

สุจรรยา จันทศิริ
Sujanya Chantrasiri

สาขาวิชาสหวิทยาการ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

Department of Interdisciplinary Studies, Faculty of Humanities, University of The Thai Chamber of Commerce.

บทคัดย่อ

วิกฤตภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก โดยมีสาเหตุหลักจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดการสะสมก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกและน้ำทะเลในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มขึ้นถึง 1.15 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2493) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกสร้างความเสียหายทั่วโลกเฉลี่ย 480 ล้านเหรียญสหรัฐต่อวัน ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยได้ร่วมกับประชาคมโลกเพื่อควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เพิ่มเกินกว่า 1.5 องศาเซลเซียส และมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในปี พ.ศ. 2593 อุตสาหกรรมการบินไทยยุคก่อนโควิด 19 ในปี พ.ศ. 2562 มีการใช้น้ำมันอากาศยานฟอสซิลสูงสุด 19.5 ล้านลิตรต่อวัน และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศในระดับสูงสุด 34.949 ล้านตันต่อปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2573 สายการบินประเทศไทยต้องรักษาระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้อยู่ระดับคงที่ (neutralize) ไม่ให้เกินระดับการปล่อยสูงสุดของปี พ.ศ. 2562 น้ำมันอากาศยานชีวภาพสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล การผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเริ่มจากการนำน้ำมันชีวภาพมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในถังปฏิกิริยาความดันสูง จะได้เชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนสูงร้อยละ 80 - 95 แล้วนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอากาศยานชีวภาพร้อยละ 21 - 25 น้ำมันก๊าซโซลีนชีวภาพร้อยละ 8 - 18 น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 - 25 ก๊าซชีวภาพร้อยละ 22 - 25 และกากน้ำมันชีวภาพร้อยละ 8 - 10 วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน น้ำมันพืชใช้แล้ว สับดำ อ้อย และมันสำปะหลัง เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย คือ กระบวนการไฮโดรโพรเซสเอสเทอร์และกรดไขมัน เทคโนโลยีไบโอบีโอสแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับโอโรมาติกฟิเชอร์ทรอปซ์ และกระบวนการแอลกอฮอล์บูเทิล

คำสำคัญ: น้ำมันอากาศยานชีวภาพ เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน น้ำมันเคโรซีนสังเคราะห์

Abstract

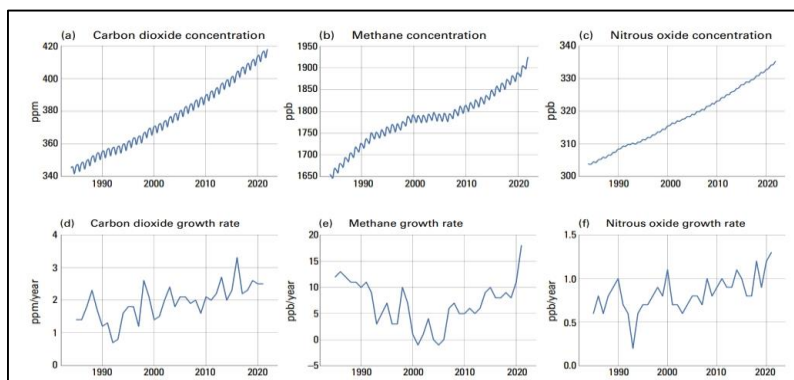
The global warming crisis is a global problem. The main cause has been the use of fossil fuels, which causes the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere. In 2022, the average temperature of the earth's surface and seawater will increase as high as 1.15 degrees Celsius compared to the pre-industrial era (1950), resulting in extreme global climate changes, caused by global damage of an average of 480 million US dollars per day. In 2021, Thailand has signed the United Nations Convention, to control the global average temperature not to be increase more than 1.5 degrees Celsius, an announce the goal of achieving carbon neutrality by 2050 and net zero greenhouse gas emissions by 2065. Before the Covid-19 era. In 2019, Thai aviation industry used of fossil jet fuel was 19.5 million liters per day and emitted carbon dioxide into the atmosphere at the highest level of 34.949 million ton per year. Since 2030, Thai international airlines must maintain net carbon dioxide emissions at a constant level (neutralize) without exceeding the maximum emissions level. Bio-jet fuel can reduce carbon dioxide emissions by up to 100% compared to fossil jet fuel. The production of bio-jet fuel begins with bio-oil being reacted with hydrogen in a high-pressure reaction tank, it was getting a high hydrocarbon liquid fuel 80-95%, and then send into a high temperature distillation process. The product will be 21-25% bio-jet fuel, 8-18% bio-gasoline, 20-54% biodiesel, 22-25% biogas and 8-10% bio-oil waste. Raw materials suitable for producing bio-jet fuel; including used oil palm, cooking oil, jatropha, sugarcane and cassava. The suitable bio-jet fuel production technology for Thailand are the Hydro-processing of Esters and Fatty Acids (HEFA), the Biomass Gasification process with Fischer-Tropsch with Aromatic (Gas + FTA) and the Alcohol-to-Jet (AtJ) process.

Keywords: bio-jet fuels, sustainable aviation fuel (SAF), bio-kerosene

1. บทนำ

วิกฤตภาวะโลกร้อน (Global warming) ทำให้เฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้น มีสาเหตุเกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ (Greenhouse Gases) จากการตรวจวัดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ 3 ชนิด ในปี พ.ศ. 2565 โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO, 2024) พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศทำสถิติสูงสุดใหม่ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO₂) มีความเข้มข้นเฉลี่ยที่ 417.9 ± 0.2 ส่วนต่อล้านส่วน (part per million, ppm) ก๊าซมีเทน (Methane: CH₄) มีความเข้มข้นเฉลี่ย $1,923 \pm 2$ ส่วนต่อพันล้านส่วน (part per billion, ppb) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous

oxide: N_2O) มีความเข้มข้นเฉลี่ย 335.8 ± 0.1 ส่วนต่อพันล้านส่วน พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นที่ระดับร้อยละ 150, 264 และ 124 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2493) แสดงดังภาพที่ 1



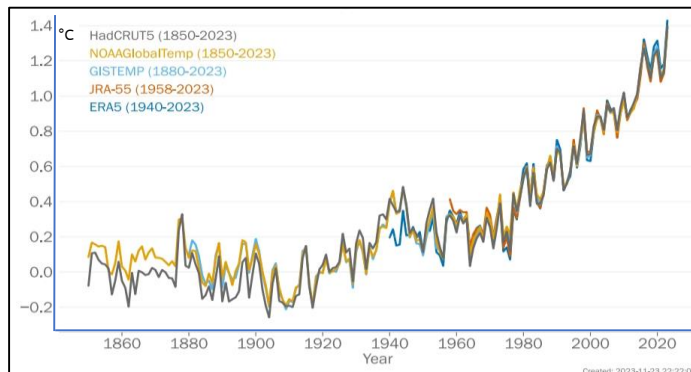
ที่มา : WMO 2024: the State of the Climate reports., WMO-No. 1347

ภาพที่ 1 ความเข้มข้นและอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2527 - 2565 (ค.ศ. 1984 - 2022)

องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency: IEA) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2565 ทั่วโลกมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทั่วโลก สู่ระดับสูงสุดใหม่ที่ 36.8 พันล้านตันต่อปี (Gigaton: Gt) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.9 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2564 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 423 ล้านตัน ในขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมลดลง 102 ล้านตัน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมการบินคิดเป็นร้อยละ 2 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก และคิดเป็นร้อยละ 11 ของอุตสาหกรรมขนส่งทั้งระบบและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (IEA, 2023)

ปี พ.ศ. 2565 อุตสาหกรรมการบินโลกปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงเกือบ 800 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Mt CO_2e) หรือประมาณร้อยละ 80 ของระดับการปล่อยก่อนการแพร่ระบาดโควิด 19 (พ.ศ. 2562) และคิดเป็นร้อยละ 2 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในภาคการใช้พลังงานทั่วโลก (Frontier Energy Research, 2023) จากการจัดลำดับขององค์กร Climate Watch ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับที่ 19 ของโลก หรือคิดเป็นปริมาณร้อยละ 0.8 ของก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยทั่วโลก โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ได้ระบุว่าแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกของไทย 4 อันดับแรก คือ ภาคพลังงาน 253 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี คิดเป็นร้อยละ 70 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะนาข้าวและปศุสัตว์ 52 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ภาคอุตสาหกรรม 31 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และภาคของเสีย 17 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (ปริณดา พาณิขยพิเชฐ, 2565) ในปี พ.ศ. 2565 กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้รายงานการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้พลังงานของประเทศไทยอยู่ที่ระดับ 247.7 ล้านตันต่อปี

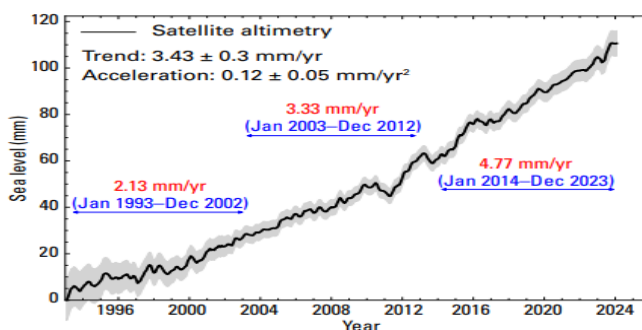
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลก องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ผลการตรวจวัดอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 พบว่า พ.ศ. 2566 เป็นปีที่ร้อนที่สุดในรอบ 174 ปี โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้น 1.45 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2393 - 2443 โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลก ในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2557 - 2566) อยู่ที่ 1.19 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่ร้อนที่สุด (ภาพที่ 2) คาดว่าภายใน ปี พ.ศ. 2570 โลกจะร้อนเกิน 1.5 องศาเซลเซียส



ที่มา : WMO, 2024: State of the Global Climate 2023

ภาพที่ 2 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลก ช่วงปี พ.ศ. 2393 - 2566 (ค.ศ. 1850 - 2023)

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล จากข้อมูลขององค์การสหประชาชาติ (United Nation, 2023) ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวมหาสมุทรเพิ่มขึ้นแตะระดับสูงสุดที่ 21.1 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลทั่วโลก จากผลการตรวจวัดระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกโดยรวม (Global Mean Sea Level: GMSL) ของ WMO ในปี พ.ศ. 2566 พบว่า ระดับน้ำทะเลยังคงเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยในช่วงต้นทศวรรษที่ 21 ระหว่างปี พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2545 (ค.ศ. 1993 - 2002) ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกโดยรวมเพิ่มขึ้น 2.13 มิลลิเมตรต่อปี และในช่วงปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2566 ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกโดยรวมได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.77 มิลลิเมตรต่อปี คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC, 2023) ได้คาดการณ์ว่า ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกจะเพิ่มสูงขึ้น 0.43 - 0.84 เมตร ในปี พ.ศ. 2643 (ภาพที่ 3)



ที่มา : WMO, 2024: State of the Global Climate 2023

ภาพที่ 3 อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยโลก ช่วงปี พ.ศ. 2536 - 2566 (ค.ศ. 1993 - 2023)

การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลส่งผลกระทบต่อ การกัดเซาะชายฝั่งทะเลประเทศไทย ทำให้สูญเสียพื้นที่ชายหาดและป่าชายเลน รวมถึงการรुक้าของน้ำทะเลในเขตสามเหลี่ยมปากแม่น้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบน สำหรับพื้นที่ชายฝั่งทะเลประเทศไทยในช่วงต่อไป คือ ปี พ.ศ. 2624 - 2643 จะต้องเผชิญกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล พบว่า สถานการณ์ที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นน้อยที่สุดประเทศไทยจะสูญเสียพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลในส่วนของหาดทรายไปประมาณร้อยละ 45.8 หรือ 25.36 ตารางกิโลเมตร และจะหายไปถึงร้อยละ 71.8 หรือ 39.77 ตารางกิโลเมตร เมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลไทย ในปี พ.ศ. 2561 สำหรับสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565)

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก การสะสมของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในชั้นบรรยากาศส่งผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกและทะเลเพิ่มสูงขึ้น ทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทั่วโลกแบบสุดขั้ว เกิดพายุรุนแรง คลื่นพายุซัดฝั่ง พายุหิมะและอากาศหนาวเย็นจัด คลื่นความร้อน ภัยแล้งและไฟป่ารุนแรง เกิดสภาวะฝนตกหนักต่อเนื่องและเกิดน้ำท่วมฉับพลันบ่อยครั้ง สร้างความเสียหายทั่วโลกเฉลี่ย 480 ล้านเหรียญสหรัฐต่อวัน

การเพิ่มขึ้นของน้ำทะเล ความรุนแรงของพายุและคลื่นลมรุนแรงส่งผลทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยที่มีอัตราการกัดเซาะรุนแรงเฉลี่ยมากกว่า 5.0 เมตรต่อปี เกิดขึ้นในพื้นที่ชายฝั่งระยะทางรวม 180.9 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.9 ของแนวชายฝั่งอ่าวไทย ชายฝั่งทะเลด้านอันดามันที่มีอัตราการกัดเซาะรุนแรงเฉลี่ยมากกว่า 5.0 เมตรต่อปี ส่วนใหญ่เป็นหาดทราย รวมระยะทาง 23.0 กิโลเมตร

แนวทางแก้ไขปัญหภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก จากผลการประชุมกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (COP 28) พ.ศ. 2566 ณ เมืองดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ มีผู้แทนรัฐภาคีกว่า 200 ประเทศ รวมทั้งไทยได้ร่วมลงนามในสัญญา Global Renewables and Energy Efficiency Pledge เพื่อรักษาอุณหภูมิโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม ผลการประชุมสรุปได้ ดังนี้

- **ร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก** ประชาคมโลกได้ร่วมกันรณรงค์ลดก๊าซเรือนกระจกลงให้ได้ร้อยละ 43 ภายในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับระดับปี พ.ศ. 2562 ลดการปล่อยก๊าซมีเทนให้ได้ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับ ปี พ.ศ. 2563
- **ร่วมกันเปลี่ยนผ่านการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลไปสู่พลังงานหมุนเวียน** เพิ่มกำลังผลิตพลังงานหมุนเวียนทั่วโลกขึ้น 3 เท่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเฉลี่ย เป็นร้อยละ 4 ทุกปี จนถึงปี พ.ศ. 2573 หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2565
- **ร่วมกันปฏิรูประบบผลิตอาหารและเกษตรกรรม** องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้กำหนดระบบผลิตอาหารและแหล่งเกษตรกรรมโลกเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนโลก (Carbon Sink) ภายในปี พ.ศ. 2593 ให้สามารถกักเก็บก๊าซเรือนกระจกให้ได้ปีละ 1.5 พันล้านตัน
- **การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบินโลก** องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) และสมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (IATA) ร่วมกับ

193 ประเทศสมาชิก ได้กำหนดมาตรการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากภาคการบินระหว่างประเทศ ต้องมีปริมาณคงที่ที่ระดับการปล่อยในปี พ.ศ. 2562 กำหนดเป้าหมายลดความเข้มข้นของคาร์บอนในเชื้อเพลิงการบินลงร้อยละ 5 ภายใน ปี พ.ศ. 2573 และเริ่มบังคับใช้มาตรการภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) สำหรับสายการบินระหว่างประเทศที่ไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (Sustainable Aviation Fuel: SAF) ในปี พ.ศ. 2573 รวมทั้งลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ร้อยละ 85 เทียบกับการปล่อย ในปี พ.ศ. 2562 รวมทั้งกำหนดเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) ภายในปี พ.ศ. 2593

สำหรับประเทศไทยได้แสดงเจตจำนงต่อสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 7 - 20 หรือประมาณ 73 - 67 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในภาคพลังงานและสาขาขนส่ง เมื่อเทียบกับปีฐาน พ.ศ. 2548 ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 จากข้อมูลกรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) กระทรวงพลังงาน ในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยได้จัดทำแผนบริหารจัดการเชื้อเพลิง ช่วงปี พ.ศ. 2567 - 2580 (Oil Plan 2024) ได้กำหนดให้ไบโอดีเซล B7 เป็นน้ำมันดีเซลพื้นฐานและกำหนดสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์อยู่ระหว่างร้อยละ 5 - 9.9 และให้น้ำมันดีเซล B20 เป็นน้ำมันทางเลือกสำหรับกลุ่มน้ำมันเบนซินได้ กำหนดให้แก๊สโซฮอล์ 95 และแก๊สโซฮอล์ E20 เป็นน้ำมันพื้นฐานให้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 และน้ำมันเบนซิน 95 เป็นน้ำมันทางเลือกสำหรับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดให้เริ่มใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล Jet A1 ในสัดส่วนร้อยละ 1 ในปี พ.ศ. 2570 ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2567) เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนที่ใช้ในประเทศไทยต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาสถานการณ์อุตสาหกรรมการบินทั่วโลกและประเทศไทย การพัฒนาเทคโนโลยีการบินเพื่อลดมลพิษอากาศ และลดการใช้น้ำมันอากาศยานฟอสซิล วิเคราะห์แนวโน้มการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
2. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการคมนาคมขนส่งทางอากาศของประเทศไทย ข้อมูลการใช้สนามบินพาณิชย์ ชนิดและปริมาณความต้องการใช้น้ำมันอากาศยาน ในปัจจุบันและแนวโน้มอนาคต
3. ศึกษาชนิด ปริมาณ และแนวทางการจัดหาวัตถุดิบ เพื่อที่ใช้ในการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเชิงพาณิชย์ ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและเพียงพอต่อความต้องการของอากาศยานที่เข้ามาใช้บริการและเติมน้ำมันในสนามบินนานาชาติของประเทศไทย
4. ศึกษากระบวนการการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ (Bio-jet Fuel) ที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนด มีคุณภาพที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ Turbine jet engines คือมี Flash point สูง แต่มี Freezing point ต่ำ
5. ศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม มีความยั่งยืนทางธุรกิจน้ำมันอากาศยานชีวภาพในอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ สามารถเชื่อมโยงกันได้ทั้งในระดับกลุ่มธุรกิจชุมชนและกลุ่มธุรกิจขนาดใหญ่ระดับประเทศ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพจากของเหลือทิ้งชีวภาพและพืชพลังงาน จะใช้วิธีรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องเชิงเทคโนโลยี เศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ใน 8 ประเด็น ดังนี้

1) ศึกษาสถานการณ์อุตสาหกรรมการบินโลก และของประเทศไทย พร้อมกับวิเคราะห์แนวโน้มในอนาคต เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิจากองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (The International Civil Aviation Organization; ICAO) และสมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (International Air Transport Association: IATA) การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย (ทอท.) และกรมการบินพาณิชย์ เพื่อศึกษาสถานการณ์การคมนาคมขนส่งทางอากาศของโลกและประเทศไทย รวมถึงแนวโน้มในอนาคต

2) การศึกษาชนิดและปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยาน และการปล่อยมลพิษทางอากาศของอุตสาหกรรมการบิน รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิจาก องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (IATA) และองค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency, IEA) กรมธุรกิจพลังงาน และบริษัทบริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ศึกษาชนิดและปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยาน และการปล่อยมลพิษทางอากาศของอุตสาหกรรมการบิน

3) การศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพและการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบิน ศึกษาชนิดและปริมาณความต้องการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพในอุตสาหกรรมการบินระดับนานาชาติและภายในประเทศ ศึกษาศักยภาพการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพของประเทศไทย เพื่อลดการปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมการบิน

4) การศึกษาชนิด ปริมาณและแนวทางการจัดหาวัตถุดิบเพื่อที่ใช้ในการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ศึกษาชนิด ปริมาณ ความต้องการ ศักยภาพการผลิตและความสามารถจัดหาวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพในประเทศไทย ซึ่งกรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนกับเครื่องบินที่บินภายในประเทศหรือบินเข้าออกระหว่างประเทศ เป็นร้อยละ 1 ในปี 2570 เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามที่ องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) กำหนด

5) การศึกษากระบวนการและเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ การเปลี่ยนวัตถุดิบชีวมวลและของเสียชีวมวล ให้เป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ศึกษาเทคโนโลยีที่ได้รับการรับรองให้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนสำหรับการบินเชิงพาณิชย์

6) การวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทนและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเชิงพาณิชย์ของน้ำมันอากาศยาน Jet A1 วิเคราะห์วงจรธุรกิจน้ำมันอากาศยานชีวภาพหรือน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางธุรกิจ ศึกษาแผนการลงทุนเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ วิเคราะห์ความอ่อนไหวของการลงทุนผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ วิเคราะห์ทางเลือกและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

7) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิและประเมินผลกระทบทางกายภาพ ชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์ ผลตอบแทนทางสังคมและคุณภาพชีวิตชุมชน ที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพในอากาศยาน ประเมินผลการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของอุตสาหกรรมการบินไทย

8) การวิเคราะห์ความยั่งยืนของธุรกิจน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ศึกษากระบวนการดำเนินธุรกิจ น้ำมันอากาศยานชีวภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างธุรกิจและผู้มีส่วนได้เสีย ประเมินผลตอบแทน ด้านสังคม วิเคราะห์นโยบายและเป้าหมายการดำเนินงาน วิเคราะห์แผนการดำเนินธุรกิจ กำหนดแนวทางประชาสัมพันธ์ เพื่อสร้างอุปสงค์และอุปทานที่ยั่งยืน ขับเคลื่อนแผนธุรกิจไปสู่การลงทุนที่เป็นไปได้ทางธุรกิจที่มั่นคงและยั่งยืน

4. ผลงานวิจัย

4.1 สถานการณ์อุตสาหกรรมการบินโลก ประเทศไทยและแนวโน้มในอนาคต

สถานการณ์อุตสาหกรรมการบินโลก องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศซึ่งเป็นหน่วยงานพิเศษของสหประชาชาติ มีสมาชิกการบิน 193 ประเทศ ได้คาดการณ์ปริมาณการขนส่งผู้โดยสาร (Revenue Passenger Kilometer: RPK) ของอุตสาหกรรมการบินโลก ในช่วง 20 ปีข้างหน้า (พ.ศ. 2562 - 2583) จะมีอัตราการเติบโตของปริมาณการขนส่งผู้โดยสารทางอากาศในภาพรวมร้อยละ 4.5 - 4.6 ต่อปี (ICAO, 2020)

สถานการณ์อุตสาหกรรมการบินประเทศไทย จากรายงาน อุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 ไทยมีเครื่องบินที่จดทะเบียนด้วยเครื่องหมายสัญชาติไทย (HS) ส่วนใหญ่เป็นเครื่องบินโดยสารและขนส่งทางอากาศเพื่อการพาณิชย์ 332 ลำ คิดเป็นร้อยละ 51.1 ของอากาศยานประเภทนี้

จากข้อมูลของการทำอากาศยานแห่งประเทศไทยในตารางที่ 1 ในปี พ.ศ. 2565 มีจำนวนเที่ยวบินขึ้น - ลง ณ สนามบินนานาชาติที่อยู่ในความรับผิดชอบของ บริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) หรือ ทอท. จำนวน 6 แห่ง รวม 471,504 เที่ยวบินต่อปี เป็นเที่ยวบินระหว่างประเทศ 181,010 เที่ยวบินต่อปี (สัดส่วนร้อยละ 38.39) และเที่ยวบินภายในประเทศ มีจำนวน 290,494 เที่ยวบินต่อปี (สัดส่วนร้อยละ 61.61) มีจำนวนผู้โดยสารรวม 62.791 ล้านคนต่อปี เป็นผู้โดยสารระหว่างประเทศ 24.015 ล้านคนต่อปี (สัดส่วนร้อยละ 38.25) และจำนวนผู้โดยสารภายในประเทศรวม 38.776 ล้านคนต่อปี (สัดส่วนร้อยละ 61.75) สำหรับการขนส่งสินค้าและไปรษณีย์ภัณฑ์ทางอากาศ มีปริมาณรวม 1.464 ล้านตันต่อปี

ตารางที่ 1 การคมนาคมขนส่งของสนามบินนานาชาติประเทศไทย 6 แห่ง และปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยาน
ช่วงปี พ.ศ. 2561 - 2565

	พ.ศ. 2561 - 2565				
	2561	2562	2563	2564	2565
1. จำนวนผู้โดยสารระหว่างประเทศ (ล้านคน)	81.146	85.825	15.494	1.617	24.015
2. จำนวนผู้โดยสารภายในประเทศ (ล้านคน)	59.326	57.193	31.144	14.580	38.776
3. จำนวนผู้โดยสารรวม (ล้านคน)	140.462	143.018	46.638	16.197	62.781
4. การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ (ล้านตัน)	1.548	1.376	0.914	1.134	1.180
5. การขนส่งสินค้าภายในประเทศ (ล้านตัน)	0.089	0.069	0.028	0.018	0.028
6. ปริมาณการขนส่งสินค้ารวม (ล้านตัน)	1.637	1.445	0.942	1.152	1.208
7. จำนวนเที่ยวบินระหว่างประเทศ (เที่ยวบิน)	470,124	498,870	132,267	75,431	181,010
8. จำนวนเที่ยวบินภายในประเทศ (เที่ยวบิน)	417,418	394,652	262,847	139,031	290,494
9. จำนวนเที่ยวบินรวม (เที่ยวบิน)	887,532	893,522	395,114	214,462	471,504
10. ปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยาน (ล้านลิตร/วัน)	19.5	19.6	7.5	4.9	9.2

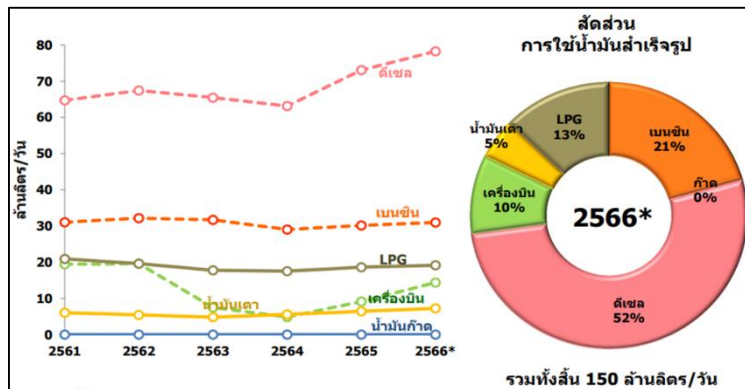
ที่มา: บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน) และกรมธุรกิจพลังงาน 2566

4.2 ชนิดและปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยาน และการปล่อยมลพิษอากาศของอุตสาหกรรมการบิน

เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 75 ในปี พ.ศ. 2565 ทั่วโลกมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล มีปริมาณรวม 37.9 พันล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 82 ของการใช้พลังงานทั่วโลก ภายใน พ.ศ. 2573 ความต้องการน้ำมันจะลดลงในช่วงปี พ.ศ. 2573 - 2593 ความต้องการเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยรวมจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เริ่มตั้งแต่ปี 2573 เฉลี่ยประมาณ 2 เอ็กซาจูลต่อปี (Exajoule per year) และลดลงทุกปีเท่ากับผลผลิตตลอดอายุการใช้งานของแหล่งน้ำมันขนาดใหญ่ (IEA, 2023)

ในปี พ.ศ. 2561 ธุรกิจการบินโลก มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งจากเที่ยวบินขนส่งผู้โดยสาร และจากเที่ยวบินขนส่งสินค้า รวม 918 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 32 จาก 694 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2566 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบทบต้น (compound growth rate) ร้อยละ 5.7 ต่อปี คิดเป็นร้อยละ 2.4 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมดที่มีปริมาณรวม 38 พันล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า เฉพาะการขนส่งผู้โดยสารมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 747 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 81 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากธุรกิจการบินทั้งหมด อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมการบินและการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเพิ่มสูงขึ้น เห็นได้จากจำนวนผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2533 ที่ 1.2 พันล้านคน เพิ่มขึ้นเป็น 2.7 พันล้านคน ในปี พ.ศ. 2553 และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 5.9 พันล้านคน ในปี พ.ศ. 2573

จากข้อมูลกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2561 - 2566 (ภาพที่ 4) อุตสาหกรรมการบินประเทศไทย มีการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานเชิงพาณิชย์ (Jet A1) เฉลี่ยที่ 13.22 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 10 ของการใช้เชื้อเพลิงสำเร็จรูปที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 69 ของปริมาณการใช้สูงสุดในปี พ.ศ. 2562 ที่มีการใช้น้ำมันอากาศยานเชิงพาณิชย์เฉลี่ย 19.6 ล้านลิตรต่อวัน



ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน 2566

ภาพที่ 4 ปริมาณและสัดส่วนการใช้น้ำมันเครื่องบินเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พ.ศ. 2561 - 2566

จากการประมวลผลข้อมูล ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมการบินประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2558-2565 (OECD, 2022) พบว่าอุตสาหกรรมการบินประเทศไทย มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการบิน อยู่ระหว่าง 5.721 - 34.949 ล้านตันต่อปี โดยปี พ.ศ. 2564 (ช่วงโควิด 19 แพร่ระบาด) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่ำสุด 5.721 ล้านตันต่อปี และในปี พ.ศ. 2561 มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงสุด 34.949 ล้านตันต่อปี (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมการบินประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2565

	หน่วย : ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (Mt.CO ₂ -equivalent/year)							
	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565
1. การบินขนส่งผู้โดยสารภายในประเทศ	2.288	2.517	2.679	2.750	2.535	1.643	0.911	1.889
2. การบินขนส่งผู้โดยสารระหว่างประเทศ	15.563	16.503	17.316	18.671	18.632	5.507	3.018	6.651
3. การบินขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ	11.086	11.992	12.709	13.528	13.411	4.118	1.792	5.170
รวม	28.973	31.012	32.704	34.949	34.578	11.268	5.721	13.710

ที่มา : ประมวลผลข้อมูลจาก Organization for Economic Co-operation and Development.(OECD): Air Transport

CO₂ Emissions 2022 https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIRTRANS_CO2

มลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรมการบิน อากาศยานทั่วโลกมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ประมาณ 1,000 ล้านตันต่อปี การลงจอดและการบินขึ้น (Landing and Take-off Operations: LTO) ของเครื่องบินพาณิชย์ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศบริเวณโดยรอบสนามบิน ที่สำคัญได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยต่อระบบทางเดินหายใจและทำให้กลุ่มประชากรส่วนหนึ่งที่เสียชีวิตก่อนวัยอันควร ส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนทั้งหลายที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่โดยรอบสนามบิน (Arter et al., 2022)

4.3 น้ำมันอากาศยานชีวภาพ ปริมาณความต้องการใช้และการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบิน

1) **น้ำมันอากาศยานชีวภาพ** หรือปัจจุบันนิยมเรียกว่า เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) เป็นเชื้อเพลิงอากาศยานคาร์บอนต่ำ ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงอากาศยานฟอสซิลในเครื่องบินไอพ่น (Jet Airplane) โดยไม่ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนเครื่องยนต์ใหม่ น้ำมันอากาศยานชีวภาพจัดเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียน (Renewable Fuels) ที่ผลิตจากพืชพลังงาน จากขยะอินทรีย์และชีวมวลการเกษตร เช่น ไม้พื้น ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง สบู่ดำ มันสำปะหลัง และอ้อย ไช้มันสัตว์และน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว (Cooking Used Oil) ขยะชีวภาพและของเสียชุมชน เป็นต้น น้ำมันอากาศยานชีวภาพสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนสามารถใช้ทดแทนน้ำมันอากาศยานฟอสซิลได้สูงถึงร้อยละ 100 โดย สายการบินบินเวอร์จินแอตแลนติก (Virgin Atlantic) เป็นสายการบินแรกที่ประสบความสำเร็จจากการทดลองบินข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก จากสนามบินฮีทโธรว์ กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษไปยังสนามบิน เจเอฟเค กรุงนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2566 โดยเครื่องบินโบอิง 787 ด้วยเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนน้ำหนัก 50 ตัน ที่ผลิตจากขยะไขมันร้อยละ 88 และเศษข้าวโพดเหลือทิ้งร้อยละ 12 ในภาคการผลิตของสหรัฐอเมริกา (BBC, 2023)

2) **ปริมาณความต้องการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพ** อุตสาหกรรมการบินโลกได้ให้ความสำคัญกับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศยานในช่วงการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีการบินจนถึง พ.ศ. 2593 องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศได้สนับสนุนให้มีการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพทดแทนน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในสัดส่วนร้อยละ 2 ภายในปี พ.ศ. 2568 และเพิ่มสัดส่วนขึ้นเป็นร้อยละ 80 ภายในปี พ.ศ. 2593 สำหรับประเทศไทย โดยกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) กับเครื่องบินภายในประเทศหรือบินเข้าออกระหว่างประเทศเป็นร้อยละ 1 ภายในปี 2570 และมีนโยบายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายใน พ.ศ. 2593

3) **การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบิน** จากผลการประชุมสมัชชาการบินโลก องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ พ.ศ. 2565 ว่าด้วยการบินและเชื้อเพลิงทางเลือก (CAAF/3) ณ นครดูไบ ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ได้กำหนดให้สายการบินระหว่างประเทศรักษาสีเขียวภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบินระหว่างประเทศ ให้ได้ร้อยละ 85 ของระดับปีฐานคือ พ.ศ. 2562 เริ่มใช้มาตรการชดเชยการลดคาร์บอนสำหรับการบินระหว่างประเทศ (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation: CORSIA) ในรูปภาษีคาร์บอนตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2573 กำหนดกรอบการ

ทำงานระดับโลกเพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดในภาคการบิน และลดความเข้มข้นของคาร์บอนในเชื้อเพลิงการบินลงให้ได้ร้อยละ 5 ในปี พ.ศ. 2573 เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ในปี พ.ศ. 2593

กรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) ได้ส่งเสริมการลงทุนผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนในระยะ 5 ปีแรกเพื่อการเปลี่ยนผ่านไปสู่พลังงานสะอาดตามทิศทางอุตสาหกรรมการบินโลก สอดรับกับแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Plan 2024) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ที่จะเริ่มบังคับให้เพิ่มสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนเป็นร้อยละ 1 ในน้ำมันอากาศยานฟอสซิล ในปี พ.ศ. 2570

บริษัท การบินไทยแอร์เอเชีย จำกัด (มหาชน) คาดว่าสถานการณ์การบินมีการปรับตัวในทิศทางที่ดีขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณการขนส่งผู้โดยสารประมาณ 10 ล้านคน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2564 ที่มีผู้โดยสาร 2.93 ล้านคน การบินไทยแอร์เอเชียได้ตั้งเป้าหมายปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 และจะเริ่มใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนทดแทนเชื้อเพลิงการบินแบบฟอสซิลภายในปี พ.ศ. 2578

บริษัท การบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ในปี พ.ศ. 2565 มีจำนวนผู้โดยสารรวมประมาณ 2.6 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2566 มีการใช้น้ำมันอากาศยาน Jet A1 เฉลี่ย 10 ล้านลิตรต่อเดือนในปี พ.ศ. 2567 ได้เริ่มใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนสัดส่วนร้อยละ 1 ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในเส้นทางการบินสมุย-กรุงเทพฯ สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 1,346 กิโลกรัมต่อเที่ยวบิน

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน) ในปี พ.ศ. 2566 การบินไทยมีเครื่องบินที่ใช้ทำการบินรวม 68 ลำ มีจำนวนผู้โดยสารที่ทำการขนส่งรวม 10.13 ล้านคน มีการใช้น้ำมันอากาศยาน Jet A1 จำนวน 1,152.4 ล้านลิตรต่อปี และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.82 ล้านตันต่อปี การบินไทยได้ทดลองบินด้วยน้ำมันอากาศยานชีวภาพ (Aviation Biofuel) ในปี พ.ศ. 2554 ปัจจุบัน (พ.ศ. 2567) เครื่องบินของการบินไทยได้เริ่มใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนในเส้นทางบินเข้าสู่กลุ่มประเทศยุโรปที่เริ่มมีการบังคับใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนแล้ว

4.4 ชนิด ปริมาณและแนวทางการจัดการวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ

จากการศึกษาด้านการตลาดของน้ำมันอากาศยานชีวภาพ นอกเหนือจากหลักอุปสงค์/อุปทานและเทคโนโลยีการผลิตแล้ว ชนิด/ปริมาณและราคาวัตถุดิบถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อความยั่งยืนของธุรกิจผลิตน้ำมันอากาศยาน จากการศึกษาชนิดของวัตถุดิบที่มีศักยภาพการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ สรุปได้ ดังนี้

1) **ชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร** จากข้อมูลของศูนย์วิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล พบว่ามีการนำชีวมวลเหลือทิ้ง เช่น แกลบ ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล ทะลายปาล์ม เศษไม้และไม้พิน มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ แล้วกว่า 42 ล้านตัน เช่น ถ่านและถ่านอัด เเผาในโรงงานไฟฟ้าชีวมวล และแผ่นไม้อัด เป็นต้น จากการศึกษา พบว่า ถ้าใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้น 2 - 6 ตันต่อวัน จะผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ประมาณ 200 - 330 ลิตรต่อวัน คิดเป็นอัตราผลผลิต (Percent Yield) ประมาณร้อยละ 9 และมีประสิทธิภาพการผลิตร้อยละ 23 ถ้าราคาชีวมวลอยู่ที่ 500 - 1,000 บาทต่อตัน คิดเป็นต้นทุนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ 80 - 115 บาทต่อลิตร

2) **พืชพลังงานสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Bio-jet Diesel)** เป็นพืชที่สามารถนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ (Bio-jet Diesel) คือ ปาล์มน้ำมัน

ถั่วเหลือง มะพร้าว และสบู่ดำ เป็นต้น จากข้อมูลปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยผลิตน้ำมันพืชทุกชนิดรวมกันได้ 6.725 ล้านตัน ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์มดิบ 2.475 ล้านตัน น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 1,005 ล้านตัน น้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ 0.427 ล้านตัน และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ 0.044 ล้านตัน มีการใช้ในประเทศร้อยละ 75 และส่งออกร้อยละ 25 โดยมีการใช้น้ำมันพืชเพื่อการบริโภคร้อยละ 52 และนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 48 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์มดิบ

3) พืชพลังงานสำหรับผลิตน้ำมันไบโอเอทานอล หรือแอลกอฮอล์ทูเจ็ต (Alcohol to Jet: AtJ) พืชที่สามารถนำมาผลิตน้ำมันไบโอเอทานอลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน คือ อ้อย มันสำปะหลัง และน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว เป็นต้น จากข้อมูลกรมธุรกิจพลังงานปี พ.ศ. 2566 พบว่า มีการผลิตเอทานอลรวม 4.121 ล้านลิตรต่อวัน โดยผลิตจากกากน้ำตาลคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 58 ของปริมาณเอทานอลทั้งหมด มันสำปะหลัง สัดส่วนร้อยละ 38 และนำอ้อยสัดส่วนร้อยละ 4 ณ เดือนมกราคม 2567 ประเทศไทยมีโรงงานผลิตเอทานอลรวม 27 โรง มีกำลังการผลิตรวม 6.75 ล้านลิตรต่อวัน

4) น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว ในประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปมีการนำน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพเชิงพาณิชย์ สำหรับประเทศไทยมีการใช้น้ำมันพืชปรุงอาหารในครัวเรือนและร้านอาหารมากกว่าร้อยละ 60 ของน้ำมันพืชที่ใช้เพื่อการบริโภค คิดเป็นปริมาณ 1.754 ล้านตันต่อปี น้ำมันปรุงอาหารร้อยละ 80 จะเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว คิดเป็นปริมาณ 1.403 ล้านตันต่อปี

ปริมาณการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ (production yields) ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุปทานของวัตถุดิบเป็นหลัก คือ วัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันชีวภาพ อัตราการใช้กำลังการผลิตและประสิทธิภาพการผลิตของโรงงาน สัดส่วนการใช้น้ำมันชีวภาพในประเทศ และสัญญาาระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้ (offtake agreement)

4.5 กระบวนการและเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ

กระบวนการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ หรือน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนเป็นกระบวนการเปลี่ยนชีวมวลและวัตถุดิบตั้งต้นของเสียชีวภาพ ให้เป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพ การผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ขึ้นอยู่กับรูปแบบเทคโนโลยีและวัตถุดิบที่เลือกใช้ (Technology Pathway) จากรายงาน ของ Frontiers in Energy Research พ.ศ. 2563 (Frontiers in Energy Research, 2023) พบว่าเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนที่สำคัญ มี 9 แพลตฟอร์ม (Platform) สรุปได้ ดังนี้

1) เทคโนโลยีไบโอแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับฟิชเชอร์ทรอปซ์ (Biomass Gasification + Fischer-Tropsch: Gas + FT) ไบโอแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปทางเคมีด้วยความร้อน (Thermochemical Conversion Process) ของวัสดุชีวมวลคาร์บอนสูง เช่น ของเหลือทิ้งหรือขยะชีวภาพ ไม้หรือถ่านหินผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มีออกซิเจนจำกัด หรือไอน้ำ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส เปลี่ยนรูปจากพลังงานเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Combustible Gas) ก๊าซที่ได้จะมีส่วนผสมของคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจนและไอน้ำ เรียกรวมว่า ซินก๊าซ (syngas) จากนั้นซินก๊าซจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวไฮโดรคาร์บอนโดยผ่านขบวนการฟิชเชอร์ทรอปซ์ (FT) เรียกว่า แนปทา (Naphtha) กระบวนการ FT ที่แตกต่างกันสองกระบวนการที่ได้รับการรับรองโดย American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้แก่ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานพาราฟินิกตรง (SPK)

และกระบวนการผลิตสารประกอบอะโรมาติกเพิ่มเติม (SAK) ทั้งสองกระบวนการใช้คาร์บอนที่มีวัสดเริ่มต้นตามข้อกำหนดเฉพาะน้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ได้จากเทคโนโลยี Gas + FT สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล (Jet A-1) ได้สูงสุด สำหรับทั้งสองตัวเลือก คือ ร้อยละ 50

2) เทคโนโลยีเอสเทอร์และกรดไขมันไฮโดรโพรเซส (Hydro-processed Esters and Fatty Acids: HEFA) เป็นกระบวนการกลั่นน้ำมันพืช น้ำมันพืชใช้แล้วหรือไขมันให้เป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนในขั้นตอนแรกของกระบวนการ HEFA ออกซิเจนจะถูกกำจัดออกโดยการไฮโดรตีออกซิเนชั่น จากนั้นโมเลกุลพาราฟินจะถูกแตกตัวเป็นไอโซเมอร์ตามความยาวของสายโซ่น้ำมันอากาศยานกระบวนการ HEFA คล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตดีเซลทดแทนที่ผ่านการบำบัดด้วยไฮโดรเจน แต่จะมีการแตกตัวที่รุนแรงยิ่งขึ้นของโมเลกุลคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวกว่า น้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ได้จากเทคโนโลยี HEFA สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในอัตราส่วนผสมสูงสุด คือ ร้อยละ 50

3) เทคโนโลยีไดเรกซูการ์ทูไฮโดรคาร์บอน (Direct Sugars to Hydrocarbons: DSHC) เป็นเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพจากกระบวนการผลิตตรงจากน้ำตาลซูไฮโดรคาร์บอน โดยการย่อยสลายน้ำตาลด้วยยีสต์ให้กลายเป็นไฮโดรคาร์บอนประเภทฟาร์เนซีน (farnesene type) ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่แตกแขนงด้วยพันธะคู่หลายพันธะ จากนั้นจะเปลี่ยนให้เป็นโมเลกุลอัลเคนเดี่ยวที่มีกิ่งก้านปานกลาง (ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 98) ทำให้ได้ค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป มีความหนาแน่น ความหนืด และโมดูลัสที่มีปริมาณมวลที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป น้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ได้จากเทคโนโลยี DSHC สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในอัตราส่วนผสมสูงสุด คือ ร้อยละ 10

4) เทคโนโลยีไบโอแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับบิโอรามาติกฟิชเชอร์ทรอปซ์ (Biomass Gasification + Fischer-Tropsch with Aromatics: Gas + FTA) เป็นการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพโดยใช้ไขมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการ Fischer-Tropsch ที่ผ่านการกลั่นแล้วเป็นการสังเคราะห์อะโรมาติกส์และการบำบัดด้วยไฮโดรทรีตของอัลเคนและออกซิเจนให้เปลี่ยนรูปเป็นอัลเคนเป็นการเปลี่ยนแปลงทางโมเลกุล เพื่อผลิตเป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพเต็มรูปแบบ น้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ได้จากเทคโนโลยี Gas + FTA สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในอัตราส่วนผสมสูงสุด คือ ร้อยละ 50

5) เทคโนโลยีแอลกอฮอล์ทูเจ็ท เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแอลกอฮอล์ที่ผลิตจากพืช เช่น อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เป็นต้น ให้เป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพด้วยการนำเอาออกซิเจนออกแล้วเชื่อมโยงโมเลกุลเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความยาวของสายโซ่คาร์บอนให้ได้ตามที่ต้องการ เช่น โอลิโกเมโรเซชัน ปัจจุบันมีวัตถุดิบตั้งต้นสองชนิดที่ได้รับการอนุมัติให้ใช้ในเทคโนโลยี AtJ ได้แก่ เอทานอลและไอโซ-บิวทานอล น้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ได้สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในอัตราส่วนผสมสูงสุด คือ ร้อยละ 50

6) เทคโนโลยีตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์โมไลซิส (Catalytic Hydro-thermolysis Jet: CHJ) เป็นกระบวนการแปลงเอสเทอร์ของกรดไขมันและกรดไขมันอิสระให้เป็นน้ำมันอากาศยานชีวภาพ โดยผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์โมไลซิส ตามด้วยการบำบัดด้วยไฮโดรทรีตเมนต์ไฮโดรแครกกิงหรือไฮโดรไอโซเมโรเซชันและการแยกส่วน ตามลำดับ น้ำมันอากาศยานชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการ CHJ สามารถใช้ผสมกับน้ำมันอากาศยานจากฟอสซิลได้ในอัตราส่วนผสมสูงสุดไม่เกินร้อยละ 50

7) เทคโนโลยีการใช้สาหร่ายผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพด้วยวิธีเอสเทอร์ไฮโดรทรีตและกรดไขมัน (HEFA from Algae) เป็นกระบวนการนำไฮโดรคาร์บอนจากมวลชีวภาพสาหร่าย กรดไขมันอิสระและเอสเทอร์ของกรดไขมันมาอู่เพอร์โดยนำสาหร่ายมาผ่านกระบวนการไฮโดรคาร์บอน เพื่อกำจัดออกซิเจนออกทั้งหมดทำให้ได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สาหร่ายที่ได้รับการยอมรับในกระบวนการผลิต HEFA คือ สาหร่ายสายพันธุ์ *Botryococcus braunii* มีอัตราส่วนผสมสูงสุดกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล คือ ร้อยละ 10

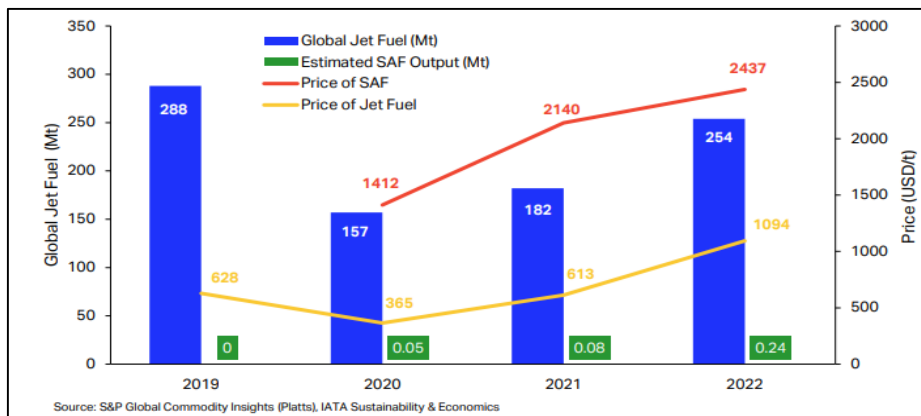
8) เทคโนโลยีประมวลผลผสมรวมไขมันและน้ำมันพืช (Fat, Oil & Grease Co-processing: FOG Co-processing) เป็นกระบวนการนำน้ำมันพืช น้ำมันพืชใช้แล้วและไขมัน หรือขี้ผึ้งมาผสมกับวัตถุดิบตั้งต้นน้ำมันดิบทั่วไปในหอกลั่นน้ำมันดิบฟอสซิลที่มีอยู่ในโรงกลั่นน้ำมันฟอสซิล วิธีนี้ไม่ใช่เส้นทางการผลิตที่มุ่งเน้นการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ แต่เป็นวิธีป้อนไขมันหรือน้ำมันพืชผสมรวมกับน้ำมันดิบในอัตราไม่เกินร้อยละ 5 เข้าไปในหอกลั่นน้ำมันดิบฟอสซิลเพื่อผลิตเป็นน้ำมันอากาศยานคาร์บอนต่ำ

9) เทคโนโลยีผสมผสานรวมกับกระบวนการฟิชเชอร์ทรอปซ์ (FT Co-processing) เป็นกระบวนการนำวัสดุชีวภาพที่มีคาร์บอนสูงมาเผาแบบไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิงชีวภาพ ก๊าซแต่ละชนิดจะถูกแยกส่วนตามลักษณะโครงสร้างแต่ละชนิด จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นน้ำมันดิบฟอสซิลในโรงกลั่นน้ำมันฟอสซิล เป็นวิธีป้อนน้ำมันชีวภาพผสมรวมกับน้ำมันดิบฟอสซิลในอัตราไม่เกินร้อยละ 5 เข้าไปในหอกลั่นน้ำมันดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำมันอากาศยานคาร์บอนต่ำ

4.6 การวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทนและความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

สถานการณ์การผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเชิงพาณิชย์ จากข้อมูล IATA พ.ศ. 2566 คาดการณ์ว่ารายได้รวมของอุตสาหกรรมสายการบินโลก ปี พ.ศ. 2565 อยู่ที่ 727 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ ขณะที่รายรับจากการขนส่งสินค้าอยู่ที่ 201.4 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ โดยมีราคาน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานเฉลี่ยที่ 138.8 เหรียญสหรัฐฯ ต่อบาร์เรล ทำให้มีค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานของอุตสาหกรรมการบินในปี 2565 อยู่ที่ 222 พันล้านเหรียญสหรัฐฯ คิดเป็นร้อยละ 30.54 ของรายรับรวม โดยมีค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานคิดเป็นร้อยละ 31 ของต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดของสายการบินทั่วโลก

ในปี พ.ศ. 2565 อุตสาหกรรมการบินโลกมีการใช้น้ำมันอากาศยานฟอสซิล 254 ล้านตัน และมีราคา 1,904 เหรียญสหรัฐต่อตัน ขณะที่เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) ยังคงมีความต้องการมาก ในขณะที่ผลผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนยังมีปริมาณต่ำมาก โดยในปี พ.ศ. 2565 สามารถผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนได้เพียง 0.24 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 0.1 ของปริมาณน้ำมันอากาศยานฟอสซิลโลกโดยรวม แต่ผลผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนยังคงมีการเติบโตสูงถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2563 บ่งชี้ถึงอุปสงค์ที่แข็งแกร่ง โดยมีราคาเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนเฉลี่ยอยู่ที่ 2,437 เหรียญสหรัฐต่อตัน (ภาพที่ 5)



ที่มา: IATA, Sep 2023: Sustainable aviation fuel output increases, but volumes still low.

ภาพที่ 5 ปริมาณการใช้และราคาน้ำมันอากาศยานฟอสซิลกับศักยภาพการผลิตและราคาเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) ช่วงปี พ.ศ. 2562-2565

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนธุรกิจน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ปริมาณการผลิตต้นทุนและราคาของน้ำมันอากาศยานชีวภาพ หรือเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าต้นทุนน้ำมันอากาศยานฟอสซิลอยู่ระหว่างร้อยละ 120 - 700 ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีการผลิต ศักยภาพการลดคาร์บอนไดออกไซด์ นโยบายการบินของรัฐ และพลวัตของตลาด จากการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนที่ผลิตโดยเทคโนโลยีเอสเทอร์และกรดไขมันที่ผ่านการไฮโดรโปรเซสมีระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสูงสุด มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ และมีคุณสมบัติเชื้อเพลิงช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงและตอบสนองต่อข้อกำหนดคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่เข้มงวด เช่น มีปริมาณกำมะถันต่ำและมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง บ่งชี้ถึงมีการพัฒนาขั้นสูงและมีความพร้อมสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมการบินเชิงพาณิชย์ (Watson et al. 2024)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการลงทุนผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ เนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนส่วนใหญ่มาจากผลผลิตชีวมวลที่เป็นทั้งพืชอาหารและพืชพลังงานอาหาร เช่น ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว ปริมาณการผลิต ราคา และการรวบรวมวัตถุดิบยังคงเป็นปัญหาสำคัญสำหรับโรงงานผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนสูงกว่าต้นทุนน้ำมันอากาศยานฟอสซิลมากกว่า 2 เท่า นอกจากนี้ยังมีศักยภาพความผันแปรของการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 27 - 87 จากการมีต้นทุนการผลิตสูง ทำให้มีแรงจูงใจทางการเงินสำหรับผู้ผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนในระดับต่ำ ส่งผลทำให้การผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนสามารถผลิตได้เพียงร้อยละ 3.5 ของความต้องการใช้ทั้งหมด

การวิเคราะห์ทางเลือกและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากความจำเป็นเร่งด่วนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (IATA) ซึ่งเป็นองค์การสายการบินระหว่างประเทศได้กำหนดให้สายการบินระหว่างประเทศลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเทียบเท่า (CO₂e)

เทียบเท่า พ.ศ. 2562 ให้ลดลงร้อยละ 5 ภายในปี พ.ศ. 2578 เมื่อเทียบกับระดับในปี 2548 (IATA, 2021) วิธีที่มีแนวโน้มดีมากที่สุดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการบิน คือ การใช้เชื้อเพลิงการบินทางเลือก ได้แก่ เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เชื้อเพลิงเจ็ทสังเคราะห์ ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ไฮโดรเจนเหลว (LH₂) เชื้อเพลิงไฟฟ้า และไฟฟ้า ณ ปัจจุบัน (พ.ศ.2567) น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนเป็นเชื้อเพลิงอากาศยานที่บริษัทการบินระดับนานาชาตินิยมใช้มากเนื่องจากมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจและเข้ากันได้กับระบบเครื่องยนต์ไอพ่นเจ็ท

ในปี พ.ศ. 2566 บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และพันธมิตรได้เริ่มธุรกิจผลิตและจำหน่ายเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนด้วยงบประมาณ 8,000 - 10,000 ล้านบาท โดยได้ก่อสร้างหน่วยผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนจากน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วภายในโรงกลั่นน้ำมันบางจาก คาดว่าจะเริ่มเปิดดำเนินการผลิตได้ในปี พ.ศ. 2568 ด้วยกำลังการผลิตเริ่มต้น 1,000,000 ลิตรต่อวัน สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการบินลงได้ประมาณ 80,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

4.7 น้ำมันอากาศยานชีวภาพกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

น้ำมันอากาศยานชีวภาพผลิตจากวัตถุดิบชีวภาพที่มีคาร์บอนต่ำ เช่น ของเสียและชีวมวลจากการเกษตร ขยะมูลฝอยชุมชนในเขตเทศบาล พืชพลังงาน หรือน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วสามารถใช้ผสมหรือใช้แทนน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในเครื่องบินไอพ่นเชิงพาณิชย์ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล นอกจากนี้ น้ำมันอากาศยานชีวภาพยังช่วยลดมลพิษทางอากาศบริเวณโดยรอบสนามบินสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ได้ถึงร้อยละ 90 และลดก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ได้ร้อยละ 100 เมื่อเทียบกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิล (Arter et al., 2022)

Arter et al. (2022) ได้ศึกษาถึงคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อด้านสุขภาพของเชื้อเพลิงเครื่องบินฟอสซิลและน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนจากการปฏิบัติการลงจอดและบินขึ้นของเครื่องบิน (LTO) ของสนามบินในประเทศในสหรัฐอเมริกาในช่วงปี พ.ศ. 2554 - 2559 พบว่ามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการขึ้นลงของอากาศยานที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) มีผลต่อกลุ่มเสี่ยงที่เป็นโรคทางเดินหายใจสูง ส่งผลต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบสนามบินโดยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยมีผลกระทบสูงถึงร้อยละ 91 ทำให้ประชาชนเสียชีวิตก่อนวัยอันควร ผลจากการเปลี่ยนมาใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนผสมในสัดส่วนร้อยละ 10 และร้อยละ 50 พบว่า อัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรที่เกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ลดลงร้อยละ 1 และร้อยละ 18 ตามลำดับ

4.8 การประเมินความยั่งยืนของธุรกิจน้ำมันอากาศยานชีวภาพ

ธุรกิจผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจแบบ Sustainable Green Economics คือ มีความยั่งยืนทางธุรกิจและช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อมทางอากาศที่เกิดจากอุตสาหกรรมการบิน จากรายงานของกลุ่มวิเคราะห์ความยั่งยืนในสหรัฐฯ (cCarbon, 2023) ได้ประเมินว่าในปี พ.ศ. 2563 ประมาณร้อยละ 60 ของการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) ทั่วโลกอยู่ในสหภาพยุโรป ตามด้วยอเมริกาเหนือที่ร้อยละ 33 และเอเชียแปซิฟิกที่ร้อยละ 7 โดย cCarbon ได้คาดการณ์ว่าการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 30 เท่าภายในปี พ.ศ. 2573 โดยเพิ่มขึ้นจาก 538 ล้านลิตรในปี พ.ศ. 2565 เป็น 18.2 พันล้านลิตร

ในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งเป็นการเติบโตแบบทบต้นต่อปี ในอัตราร้อยละ 55.3 และประเมินว่ามูลค่าตลาดของ SAF จะสูงถึง 29.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ โดย cCarbon ได้คำนวณว่า ภายในปี พ.ศ. 2573 อเมริกาเหนือจะผลิต SAF ร้อยละ 36 ของโลก ตามด้วยยุโรปร้อยละ 32 เอเชียแปซิฟิก (ไม่รวมสาธารณรัฐประชาชนจีน) ซึ่งเป็นภูมิภาคการขนส่งทางอากาศที่ใหญ่ที่สุดและเติบโตเร็วที่สุดจะพุ่งขึ้นเป็นร้อยละ 17 ของการผลิต SAF ทั่วโลก และอเมริกาใต้เป็นร้อยละ 12 ขณะที่ประเทศในตะวันออกกลางที่เป็นแหล่งผลิตน้ำมันดิบคาดว่าจะสามารถผลิต เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) ได้เพียงร้อยละ 3 เท่านั้น สอดคล้องกับข้อกำหนดของสหภาพยุโรป 27 ประเทศ ที่กำหนดส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืนในน้ำมันอากาศยานฟอสซิลไว้ที่ร้อยละ 2 ในปี พ.ศ. 2568 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6 ในปี พ.ศ. 2573 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 37 ในปี พ.ศ. 2583 และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็นร้อยละ 85 ในปี พ.ศ. 2593 โดยบังคับใช้สำหรับสายการบินที่มีเส้นทางบินเข้าสู่สนามบินในสหภาพยุโรป โดยมีเป้าหมาย เพื่อให้อุตสาหกรรมการบินโลกมุ่งสู่เป้าหมาย Net Zero Emission ในปี พ.ศ. 2593

กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และกรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) ได้กำหนดเป้าหมายให้ สายการบินในประเทศไทย เพิ่มสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน (SAF) ในน้ำมันอากาศยานฟอสซิล ร้อยละ 1 ภายในปี พ.ศ. 2570 ทำให้ประเทศไทยซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำมันอากาศยานสูงสุดประมาณ 20 ล้านลิตร ต่อวัน จึงมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน 200,000 ลิตรต่อวัน และจากข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศที่กำหนดให้สายการบินระหว่างประเทศต้องรักษาเสถียรภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 85 ของระดับปีฐาน พ.ศ. 2562 และลดความเข้มข้นของคาร์บอนในเชื้อเพลิงการบินลงให้ได้ ร้อยละ 5 ส่งผลทำให้ภาคการบินของไทย มีความต้องการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพหรือเชื้อเพลิงอากาศยาน ยั่งยืนเพิ่มขึ้นเป็น 1 ล้านลิตรต่อวัน ในปี พ.ศ. 2573 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 8 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2583

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

1) วิกฤตภาวะโลกร้อน เป็นปัญหาที่สำคัญระดับโลก สาเหตุเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ กิจกรรมมนุษย์ที่ทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของ โลกอย่างรุนแรงคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2567 จะมีความเป็นไปได้ร้อยละ 66 ที่อุณหภูมิเฉลี่ยใกล้พื้นผิวโลกจะสูง ถึง 1.5 องศาเซลเซียส และคาดการณ์ว่าระหว่างปี พ.ศ. 2568 ถึง พ.ศ. 2570 อุณหภูมิเฉลี่ยใกล้พื้นผิวโลกจะสูง กว่า 1.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2493)

2) การร่วมมือเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งระบบอย่างเร่งด่วนเท่านั้นที่สามารถนำไปสู่ เป้าหมายในการลดอุณหภูมิโลกที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ภายในปี 2573 โดยทุกประเทศจะต้อง ร่วมกันลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนออกไซด์ให้ได้มากกว่าร้อยละ 45 เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบัน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นเฉลี่ยไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบัน ดังนั้นทุกประเทศทั่วโลกจึงควรร่วมกันลดการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงให้ได้ครึ่งหนึ่ง ภายในปี พ.ศ. 2573

3) ปัจจุบันได้มีการทดลองใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพแบบร้อยละ 100 สำหรับเครื่องบินไอพ่นเชิงพาณิชย์บินข้ามทวีปได้สำเร็จแล้ว กลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว (G20) โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป (EU) ได้ออกข้อบังคับให้สายการบินพาณิชย์ระหว่างประเทศต้องใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลที่ได้จากการกลั่นจากน้ำมันดิบในอัตราส่วน ร้อยละ 2 - 80 ภายใน ปี พ.ศ. 2593 สำหรับประเทศไทยจะเริ่มใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพผสมกับน้ำมันอากาศยานฟอสซิลในอัตราส่วน ร้อยละ 1 ภายในปี พ.ศ. 2570 ทำให้มีความต้องการใช้น้ำมันอากาศยานชีวภาพ 200,000 ลิตรต่อวัน การลดความเข้มข้นของคาร์บอนในเชื้อเพลิงการบินลงร้อยละ 5 ส่งผลให้อุตสาหกรรมการบินของประเทศไทยมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเป็น 1 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี พ.ศ. 2573 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 8 ล้านลิตร ภายในปี พ.ศ. 2583

4) การผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ (Bio-jet Fuel) เริ่มจากการนำน้ำมันชีวภาพมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในถังปฏิกิริยาความดันสูง จะได้เชื้อเพลิงเหลวไฮโดรคาร์บอนสูงร้อยละ 80 - 95 แล้วนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะได้น้ำมันอากาศยานชีวภาพร้อยละ 21 - 25 น้ำมันแก๊สโซลีนร้อยละ 8 - 18 น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 - 54 ก๊าซชีวภาพร้อยละ 22 - 25 และกากน้ำมันชีวภาพร้อยละ 8 - 10 วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ อ้อย และมันสำปะหลัง เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย คือ (1) กระบวนการไฮโดรโพรเซสเอสเทอร์และกรดไขมันโดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้น คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้ว และสบู่ดำ (2) กระบวนการแอลกอฮอล์จุ๊ทโดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้น คือ น้ำอ้อยหรือกากน้ำตาล มันสำปะหลัง และ (3) เทคโนโลยีไบโอเมสแก๊สซิฟิเคชันร่วมกับโรมาติกฟิสเซอร์ทรอปซ์ โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้น คือ เศษไม้จากโรงงานและชีวมวลเหลือทิ้งอื่น ๆ

5) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพืชพลังงานจำนวนมาก เช่น ปาล์มน้ำมัน อ้อย และมันสำปะหลัง จึงมีศักยภาพการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพสูง การส่งเสริมให้การลงทุนในธุรกิจผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพสำหรับอุตสาหกรรมการบินเชิงพาณิชย์ไทยและการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเพื่อการส่งออกมีโอกาประสบความสำเร็จและมีความยั่งยืนสูง เพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ ในปี พ.ศ. 2593

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ประเทศไทยมีลักษณะทางภูมิรัฐศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับเป็นศูนย์กลางการบินพาณิชย์แห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีศักยภาพด้านการขนส่งทางอากาศและการบินพาณิชย์สูงสามารถแข่งขันกับนานาชาติได้ การสนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเพื่อใช้ในประเทศ จะเป็นปัจจัยสนับสนุนสำคัญที่จะทำให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการบินที่สำคัญอีกแห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

2) ภาครัฐควรสนับสนุนภาคเอกชนและวิสาหกิจชุมชนขนาดกลางและขนาดเล็กร่วมลงทุนในอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานการบินสีเขียว โดยจัดตั้งโรงงานผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพขนาดกลางและขนาดเล็กให้กระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค เพื่อป้อนน้ำมันชีวภาพให้โรงกลั่นน้ำมันขนาดใหญ่นำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอากาศยานยั่งยืน ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปสามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์แล้ว

3) การผสมความร่วมมือระหว่างรัฐ เอกชนและวิสาหกิจชุมชน ร่วมสร้างสรรค์ธุรกิจการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นธุรกิจใหม่ (Startup) เช่นเดียวกับรูปแบบการพัฒนาไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมันเพื่อใช้ในรถยนต์และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ผลิตจากมันสำปะหลังและอ้อยเพื่อใช้ในรถยนต์เบนซิน จะทำให้อุตสาหกรรมและการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพสามารถประสบความสำเร็จได้สูงในเชิงพาณิชย์

4) ควรมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพ สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีแบบผสมผสานร่วมกับการวิจัยพัฒนาสายพันธุ์พืชพลังงานเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น เพื่ออุตสาหกรรมน้ำมันอากาศยานชีวภาพอย่างยั่งยืน

5) การสนับสนุนทุนและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันอากาศยานชีวภาพสำหรับวิสาหกิจชุมชนและธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SME) ในภูมิภาคต่าง ๆ มีความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (BCG Model) ที่มุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติไปพร้อมกัน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio-economy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพมาสร้างมูลค่าเพิ่มให้เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เชื่อมโยงกับเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่คำนึงถึงการนำวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ กลับมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ภายใต้เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ทำให้เกิดการกระจายรายได้สู่ชุมชน ลดความเหลื่อมล้ำ ชุมชนเข้มแข็ง เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

6. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2562). *แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 – 2573*.

กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2565). *ความผันแปรและ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2564*. กรุงเทพมหานคร:

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา.

ปวีณา พาณิชนพิเชฐ. (2565). *ประเทศไทยกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก*. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน

กระจก. ลดโลกร้อนกับ LESS วันที่ 8 ธันวาคม 2565

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2563). *โครงการศึกษาแนวทางการส่งเสริม เชื้อเพลิง*

ชีวภาพอากาศยานอย่างยั่งยืน [รายงานวิจัย]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. (2563). *การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากฟูลเซลล์แอลกอฮอล์ที่ได้จากโรงงานเอทานอล*

(รายงานโครงการวิจัย) สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อริสทิธี นุชนตร. (2556). ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว: พลังงานทางเลือกระดับชุมชนกับความคุ้มค่าในการผลิตพลังงานทดแทน. *วารสารการวิจัยกาสะลงคำ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย*, 7(2), 131-141.

<https://so04.tci-thaijo.org/index.php/ksk/article/view/128142/96404>

Arter, C.A., Buonocore, J.J., Moniruzzaman, C., Yang, D., Huang, J. & Arunachalam, S. (2022).

Air quality and health-related impacts of traditional and alternate jet fuels from airport aircraft operations in the US. *Environment International*, 158, 106958. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106958>

- Austin. (2023). *Groundbreaking transatlantic flight using greener fuel lands in the US*. BBC; Royal Watch Newsletter. <https://www.bbc.com/news/business-67548961>
- cCarbon. (2023). *Global Sustainable Aviation Fuel Outlook 2030*. A specialized analysis platform for environmental, commodity, markets and climate finance. <https://www.ccarbon.info/insight/global-sustainable-aviation-fuel-outlook-2030/>
- Frontier Energy Research. (2023). *Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components*. Sec. Process and Energy Systems Engineering. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00110/full>
- IATA. (2023). *Sustainable aviation fuel output increases, but volumes are still low*. Chart of the Week. The International Air Transport Association. <https://www.iata.org/en/iata-epository/publications/economic-reports/sustainable-aviation-fuel-output-increases-but-volumes-still-low/>
- ICAO. (2023). *Third ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels (CAAF/3)*. Dubai, United Arab Emirates. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/Meetings/CAAF3/Pages/default.aspx>
- IEA. (2023). *CO₂ Emissions in 2022*: International Energy Agency. Flagship report.
- IPCC. (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. The IPCC finalized the Synthesis Report for the Sixth Assessment Report., Intergovernmental Panel on Climate Change., Geneva, Switzerland. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- ITF. (2021). *Decarbonizing Air Transport: Acting Now for the Future*; International Transport Forum Policy. <https://www.itf-oecd.org/decarbonising-air-transport>
- United Nation. (2023). *Hottest July ever signals ‘era of global boiling has arrived’ says UN chief*. UN News, Global perspective Human stories, Climate and Environment. <https://news.un.org/en/story/2023/07/1139162>
- Watson, M.J., Machado, P.G., da Silva, A.V., Saltar, Y., Ribeiro, C.O., Nascimento, C.A.O. & Dowling, A.W. (2024). *Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review*. Journal of Cleaner Production, 449, 141472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141472>
- WMO. (2024). *State of the Global Climate in 2023*. Document. World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023>
- World Economic Forum and Frontiers Science News. (2023). *Top 10 Emerging Technologies of 2023: Sustainable aviation fuel*; Centre for the Fourth Industrial Revolution., Flagship Report. <https://blog.frontiersin.org/2023/06/27/frontiers-and-the-world-economic-forum-collaboration-reveals-the-top-10-emerging-technologies-of-2023-report/>