ศักยภาพของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการบิน ภายใต้โครงการชดเชยและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (CORSIA)

นายทัตพงศ์ รัตนะโสภณชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Potential of Ethanol-to-jet (ETJ) in accordance with Carbon Offsetting And Reduction Scheme For International Aviation (CORSIA)

Mr. Tadpong Ratanasoponchai

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	ศักยภาพของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการบิน ภายใต้โครงการชดเชยและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (CORSIA)
โดย	นายทัตพงศ์ รัตนะโสภณชัย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์)

---------- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันต์ สัมปัตตะวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทัตพงศ์ รัตนะโสภณชัย : ศักยภาพของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการบิน ภายใต้โครงการชดเชยและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (CORSIA). (Potential of Ethanol-to-jet (ETJ) in accordance with Carbon Offsetting And Reduction Scheme For International Aviation (CORSIA)) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้คือการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงเทคนิคของเอทานอลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวอากาศยานจากเทคโนโลยี Ethanol-to-jet (ETJ) ในช่วงตั้งแต่ปี 2021 จนถึงปี 2035 โดยพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน พัฒนาเทคโนโลยี Ethanol-to-jet รวมถึงความพอเพียงเพื่อใช้ในการชดเชยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA โดยข้อมูลการบินระหว่างประเทศถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความต้องการของเอทานอลทั้งหมดของปริมาณเชื้อเพลิง ข้อมูลสัดส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดที่ทาง ICAO ยอมรับในเทคโนโลยี Ethanol-to-jet และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยในภาคการบินระหว่างประเทศโดยนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมด ที่ไม่รวมปริมาณจากเชื้อเพลิงชีวอากาศยาน และปริมาณเอทานอลในประเทศไทยที่สามารถผลิตได้ โดยในส่วนของสต็อกของผู้ผลิตเอทานอลจะถูกนำมาพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลด้านอุปทาน จากผลการศึกษาพบว่า ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลภายใต้ฉากทัศน์ที่สภาวะปกติมีความคุ้มค่าและน่าลงทุนที่ต้นทุนทางเทคโนโลยี Ethanol-to-jet มีราคาต่ำ และภายใต้ฉากทัศน์สภาวะ COVID-19 มีความคุ้มค่าและน่าลงทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ในส่วนของศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลภายใต้ฉากทัศน์ที่สภาวะปกติ พบว่าปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มไม่เพียงพอจนถึงช่วงปลายกรอบเวลาของ CORSIA ในขณะที่ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลภายใต้ฉากทัศน์ที่สภาวะ COVID-19 แสดงว่าประเทศไทยสามารถผลิตเอทานอลได้เพียงพอจนถึงช่วงกลางของ CORSIA (หลังผ่าน 2025-2027) อย่างไรก็ตาม ในช่วง 2025-2027 ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ว่าเอทานอลอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6282006420 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: CORSIA, Biojet Fuels, Ethanol Ethanol-to-jet pathway, Sensitivity Analysis, International Aviation

Tadpong Ratanasoponchai : Potential of Ethanol-to-jet (ETJ) in accordance with Carbon Offsetting And Reduction Scheme For International Aviation (CORSIA). Advisor: WEERIN WANGJIRANIRAN, Ph.D.

The purposes of this study were to evaluate and determine economic and technical potential of ethanol used for the biojet fuels from Ethanol-to-jet (ETJ) technology, which has been enlisted from 2021 to 2035, whether this can be worth developing to serve the carbon offsetting for CORSIA. The international aviation data were used to determine the overall the biojet's ethanol demand from fuel quantities, ICAO maximum blending ratio acceptance and carbon emission using sensitivity analysis, the total ethanol consumption to determine annually overall ethanol demand excluding biojet fuels, and the quantities of ethanol production in Thailand. The stock from ethanol producer was additionally applied for the investigation of the supply potential of ethanol. The result of this study has revealed that the economic potential under the normal scenario has the potential to develop the technology to serve biojet fuels. Similarly, under the COVID-19 scenario, has also shown the potential to develop this technology to serve this biojet fuels. Regarding the technical potential, under the normal scenario, it was appeared the possibility of the ethanol insufficiency on the long run even including the stock of ethanol producer until the post-period of CORSIA timeframe. Meanwhile under the COVID-19 scenario revealed that Thailand was possibly produce sufficient ethanol demand after the mid-period of CORSIA timeframe. However, on year 2025-2027 shows that there was a possibility of ethanol shortage due to excessive demand.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ เป็นอย่างยิ่งที่ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จนสารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล ผู้อำนวยการหลักสูตรสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ประธานกรรมการสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สันต์ สัมปัตตะวนิช กรรมการสารนิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบสารนิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆ

ขอบพระคุณสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT) ในการให้ข้อมูลในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณคณะบัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาพลังงานและเทคโนโลยีการจัดการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้โอกาสในการศึกษา รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รุ่นพี่ เพื่อน ที่ให้ความช่วยเหลือ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่มีส่วนในความสำเร็จนี้

ท้ายนี้ ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงญาติสนิทมิตรสหาย ที่ให้การสนับสนุนต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา

ทัตพงศ์ รัตนะโสภณชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

.....ค

บทคัดย่อภาษาไทย.....ค

.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง

กิตติกรรมประกาศ.....จ

สารบัญ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญรูปภาพ.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....13

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....21

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....33

บรรณานุกรม.....35

ภาคผนวก ก ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ในแต่ละปี.....37

ภาคผนวก ข ปริมาณสต็อกของผู้ผลิตเอทานอลรายปี.....38

ภาคผนวก ค ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล.....39

ภาคผนวก ง ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล.....47

ประวัติผู้เขียน.....51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1: ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ตามฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N).....22

Table 2: ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ตามฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C).....24

Table 3: ปริมาณความต้องการเอทานอลรายปี (ตามฉากทัศน์ของแบบจำลอง) (ล้านลิตร) 26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

Figure 1 แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานของสายการบินพาณิชย์ทั่วโลก ระหว่างปี 2548-2562 (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020).....2

Figure 2 แสดงปริมาณการผลิต การใช้ และการส่งออกน้ำมันอากาศยานในประเทศไทย (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020).....2

Figure 3 แสดงรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานที่มีอยู่ในปัจจุบัน และราคาสุดท้ายหลังผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยาน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020).....9

Figure 4 แสดงข้อมูลรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานที่ ICAO ให้การรับรอง (ICAO, 2018b).....10

Figure 5 แสดงข้อมูลนำเข้าที่จะใช้ในแต่ละวิธีการ จนถึงการสรุปผล.....14

Figure 6 แสดงการคาดการณ์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐานตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N).....23

Figure 7 แสดงการคาดการณ์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐานตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C).....25

Figure 8 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (N1)...28

Figure 9 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (N2)...29

Figure 10 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (C1).....30

Figure 11 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (C2).....31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Figure 12 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลภาพใต้ฉากทัศน์ N และ C โดยให้ราคาเชื้อเพลิงคงที่ตลอดช่วงกรอบการดำเนินงาน CORSIA.....32

Figure 13 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลภาพใต้ฉากทัศน์ N และ C โดยให้ราคาเชื้อเพลิงสอดคล้องกับอัตราตามที่ US Energy Information Administration ระบุ ตลอดช่วงกรอบการดำเนินงาน CORSIA.....32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

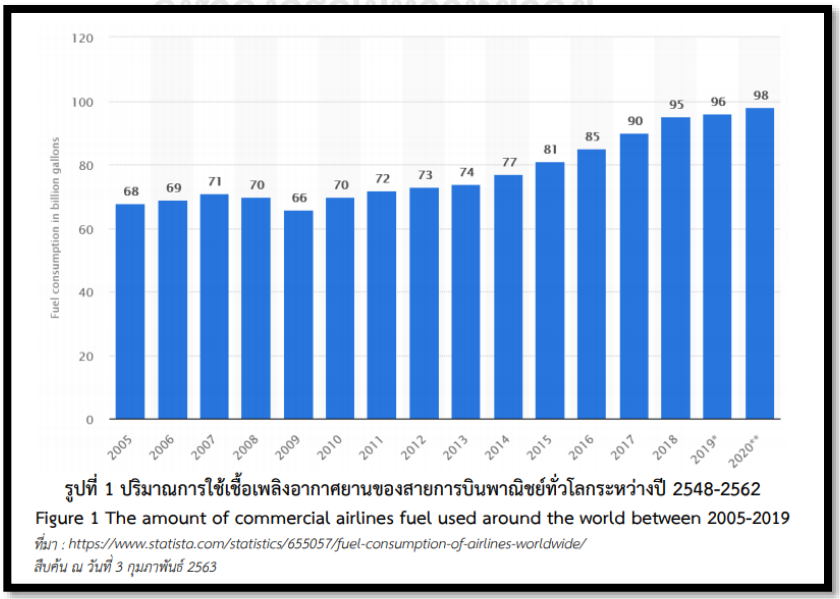
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประเมินศักยภาพของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการบิน เพื่อชดเชยปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยในประเทศไทยภายใต้โครงการชดเชยและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (CORSIA) โดยใช้ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยในภาคการบินระหว่างประเทศของประเทศไทย ในปี พ.ศ.2562 เพื่อคาดการณ์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนที่เกิดขึ้น และปริมาณคาร์บอนที่ต้องชดเชย ภายใต้โครงการชดเชยและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (CORSIA) ประเมินศักยภาพของเอทานอลโดยพิจารณาสัดส่วนของเอทานอลที่ทาง ICAO ยอมรับ ในการผสมเชื้อเพลิงอากาศยาน และเอทานอล

สถานการณ์ และแนวโน้มการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานในต่างประเทศ

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานทั่วโลกของสายการบินพาณิชย์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 และคาดว่าจะสูงถึง 98 พันล้านแกลลอนในปี 2563 ในขณะที่ภาวะเศรษฐกิจถดถอยในปีพ.ศ. 2552 ทำให้ปริมาณการใช้ลดลงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นก็มีปริมาณการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้รับแรงผลักดันจากการเติบโตของอุตสาหกรรมการบินที่มีความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะที่ปริมาณการขนส่งสินค้าทางอากาศก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของธุรกิจอีคอมเมิร์ซ และมีแนวโน้มจะเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 1 ในด้านราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับราคาน้ำมันดิบของตลาดโลก ซึ่งมีความผันผวนค่อนข้างสูง โดยราคาน้ำมันอากาศยานที่ปรับตัวต่ำสุดเมื่อปี พ.ศ. 2559 ที่ระดับต่ำกว่า 1 เหรียญสหรัฐ/แกลลอน และค่อยๆ ปรับตัวขึ้นเป็น 1.74 เหรียญสหรัฐ/แกลลอน เมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ที่ผ่านมา ดัง**รูปที่ 1**



รูปที่ 1 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานของสายการบินพาณิชย์ทั่วโลกระหว่างปี 2548-2562

Figure 1 The amount of commercial airlines fuel used around the world between 2005-2019

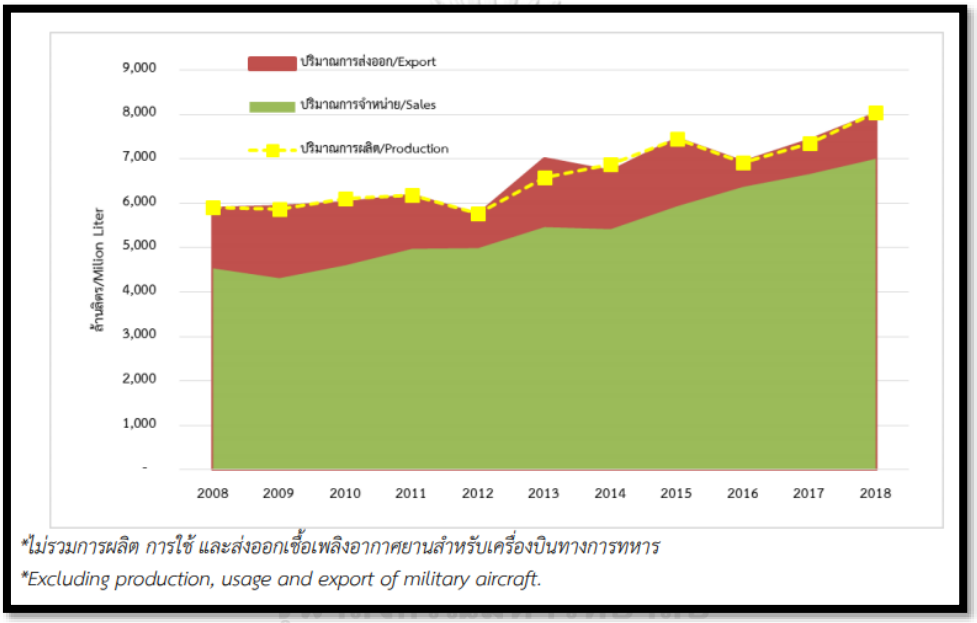
ที่มา : https://www.statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide/

สืบค้น ณ วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2563

Figure 1 แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานของสายการบินพาณิชย์ทั่วโลก ระหว่างปี 2548-2562 (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

<u>สถานการณ์และแนวโน้มการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานในประเทศไทย</u>

จากข้อมูลของกรมธุรกิจพลังงานพบว่า การผลิตและการใช้งานน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการเติบโตของธุรกิจการบินที่มีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้นประมาณ 2.6 เท่าจากเดิมในปี พ.ศ. 2561 เมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2552 โดยในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้าร้อยละ 4.15 มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 4,538 ล้านลิตร ในปีพ.ศ. 2551 เป็น 7,005 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2561 ดัง**<u>รูปที่ 2</u>**



Chulalongkorn University

Figure 2 แสดงปริมาณการผลิต การใช้ และการส่งออกน้ำมันอากาศยานในประเทศไทย (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

สำหรับแนวโน้มการใช้เชื้อเพลิงอากาศยาน Economic Intelligence Center (EIC) ประเมินว่าตลาดธุรกิจการบินสัญชาติไทยในปี 2562 มีมูลค่าประมาณ 3,200 ล้านบาท โดยมีอัตราเติบโตชะลอตัวเล็กน้อยมาอยู่ราว 4% จ าก 4.3% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีที่แล้วในปี 2561 จากปัจจัยปริมาณการขนส่งด้านผู้โดยสารที่คาดว่ามีการเติบโตลดลงเล็กน้อยเป็นราว 5.9% จาก 6.1% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีที่แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางธุรกิจการบินโลกที่สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (International Air Transport Association :IATA) ประเมินว่ารายได้และปริมาณการขนส่งด้านผู้โดยสาร (Revenue Passenger-Kilometer: RPK) ของธุรกิจการบินโลกจะชะลอตัวลงเป็น 7.7% และ 6% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีที่แล้ว ตามลำดับ การเติบโตในธุรกิจการบินของไทยโดยส่วนใหญ่เป็นผลจากการขยายตัวของตลาดเส้นทางบินระหว่างประเทศมากกว่าเส้นทางบินในประเทศ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

การประชุมสมัชชาองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ สมัยที่ 37 (the 37th session of the ICAO Assembly ในปี พ.ศ. 2553 (2010)) ได้รับรองจุดมุ่งหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการบินระหว่างประเทศ “Global reduction target goals" โดยมี 2 เป้าหมายหลักดังนี้

1) การปรับปรุงประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราร้อยละ 2 ต่อปี และ

2) รักษาเสถียรภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภาคการบินระหว่างประเทศทั่วโลกไว้ที่ระดับการปล่อยในปี ค.ศ. 2020 (เรียกว่า **“carbon neutral growth from 2020")**

นอกจากนี้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวที่ประชุมสมัชชาได้กำหนด 4 มาตรการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังต่อไปนี้ (เรียกว่า **"Basket of Measures")**

1) การใช้เทคโนโลยีเครื่องบินแบบใหม่ **(Aircraft Technology)**

2) การปรับปรุงประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน **(Operational Improvements / Airports)**

3) การใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน **(Sustainable Aviation Fuels)**

4) มาตรการตลาด **(Market-Based Measures - MBM)**

เป้าหมาย **Carbon neutral growth from 2020** จะไม่สามารถบรรลุได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยการใช้เพียง มาตรการข้อ (1) (2) และ (3) เท่านั้น ดังนั้น มาตรการตลาดระหว่างประเทศ (Global Market-Based Measures: GMBM) จึงได้การรับรองในการประชุม สมัชชาสมัยที่ 39 เมื่อปี พ. ศ. 2559 (2016) เพื่อให้เป็นส่วนเสริมมาตรการอื่นๆ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบินระหว่างประเทศ รวมถึงสนับสนุน ส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยาน โดยได้ตั้งชื่อเป็น กลไกชดเชยและการลด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สาหรับการบินระหว่างประเทศ หรือ **Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)** โดย CORSIA จะเริ่มดำเนินการ แบบสมัครใจในช่วงแรกตั้งแต่ ปี พ. ศ. 2564 และสายการบินจะสามารถซื้อคาร์บอนเครดิตเพื่อชดเชยการปล่อย CO_2 ตามที่กำหนดไว้ และจะถูกบังคับกับทุกสายการบินในช่วงหลัง ซึ่งประเทศไทยได้ดำเนินการด้วยความสมัครใจ (แสงคำสุข, 2019)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินศักยภาพของเอทานอลที่สามารถนำมาผลิตเป็น Biojet Fuels ใน Ethanol-to-jet pathway จาก Ethanol ในอากาศยานยนต์ เพื่อเป็นทางเลือกในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้กรอบการดำเนินงาน CORSIA

1.3 ขอบเขตงานวิจัยของสารนิพนธ์

1.นำข้อมูลภาคการบินตามมาตรการ CORSIA ปี 2019 ของประเทศไทย เพื่อนำมากำหนดค่า Emission จนถึงปี 2035

2.ศึกษาเฉพาะข้อมูลของผู้ปฏิบัติการบินที่ดำเนินการภายใต้กลไก CORSIA ในประเทศไทยที่รายงานต่อ CAAT ในปี 2019 โดยรายงานเป็นภาพรวมระดับประเทศ (เฉพาะข้อมูลที่ผู้ปฏิบัติการบินส่วนที่ CAAT รายงานกลับไปยัง ICAO)

3.ข้อมูลพิจารณาเฉพาะเชื้อเพลิงประเภท Jet-A และ Jet-A-1

4.สถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองเพื่อประเมินศักยภาพของเอทานอล จะใช้สถานการณ์ปกติ และสถานการณ์ช่วงวิกฤตโควิด-19

5.ศักยภาพของเอทานอล ประเมินจากปริมาณเอทานอลที่ผลิตจากอ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง รวมถึงศักยภาพของผู้ผลิตในการผลิตเอทานอล

6.ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเอทานอลที่แทนที่ปริมาณเชื้อเพลิงอากาศยาน จะไม่ถือว่าเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ

แผนการศึกษา	2564											
	ม.ค	ก.พ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	■	■										
รวบรวมข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรการ CORSIA ของประเทศไทย ปี พ.ศ.2562 (2019)		■	■									
ศึกษาศักยภาพในการผลิตเอทานอลของประเทศไทย		■	■	■								
ศึกษาผลการวิจัยด้านการนำ Biojet Fuels มาใช้ในการบินตามกลไก CORSIA และ Emission Factor ที่ใช้คำนวณ				■	■							
นำข้อมูลมาคำนวณ โดยใช้เกณฑ์ข้อกำหนด Blending Ratio มาคิดปริมาณเอทานอลที่สามารถรองรับได้สูงสุด					■	■	■					
ประเมินศักยภาพของเอทานอลที่ผลิตได้จากอ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง โดยคาดการณ์ความต้องการของเอทานอลและความคุ้มค่าในการลงทุน					■	■	■	■	■			
สรุปผลการศึกษา									■	■	■	
จัดทำรูปเล่มนำเสนอ											■	■

จุฬาลงกรณ์มหาวิ
CHULALONGKORN U Y

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

-คาดการณ์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการบิน ตามมาตรการ CORSIA

-ผลักดันตลาดเอทานอล และการวิจัยพัฒนาเอทานอลสำหรับการใช้เป็น Biojet Fuels

-สามารถคาดการณ์ตลาดของเอทานอล และศักยภาพในการซื้อขายเอทานอลเพื่อผลิตเชื้อเพลิง Biojet จาก Ethanol ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

-ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีในการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานชีวภาพจากเอทานอล (Alcohol-to-Jet) ประเภท Ethanol-to-jet (ETJ) และคาดการณ์ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในแต่ละปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) (แสงคำสุข, 2019)

CORSIA หรือ กลไกชดเชยและการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สาหรับการบินระหว่างประเทศ "Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)" เป็นกลไกรูปแบบหนึ่งของมาตรการตลาดระดับโลก (global MBM)

- CORSIA เป็นกลไกแรกของมาตรการตลาดระดับโลก (global MBM) สาหรับภาคอุตสาหกรรมการบิน

- CORSIA เป็นองค์ประกอบหนึ่งของมาตรการเพื่อบรรลุเป้าหมาย ICAO’s global aspirational goal of carbon neutral growth from 2020 (CNG 2020)

- CORSIA เป็นมาตรการเสริมเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการบิน

- CORSIA เป็นหนึ่งในมาตรการที่จะรวมอยู่ในแผนปฏิบัติการของประเทศ (State’s Action Plan)

ตามมติสมัชชาสมัยที่ 39 CORSIA จะดำเนินการแบ่งเป็นระยะ โดยเริ่มจากการมีส่วนร่วมของประเทศโดยความสมัครใจ ตามด้วยการมีส่วนร่วมของทุกประเทศ (ยกเว้นประเทศที่ได้รับการยกเว้นจากข้อกำหนด เช่น ประเทศพัฒนาน้อยที่สุดและประเทศหมู่เกาะ) ดังต่อไปนี้

- ระยะนำร่อง (จากค.ศ. 2021 ถึง 2023) และระยะแรก (จากค.ศ. 2024 ถึง 2026) จะใช้กับประเทศที่สมัครใจที่จะเข้าร่วมกลไกนี้
- ระยะที่สอง (ตั้งแต่ค.ศ. 2027 ถึง 2035) จะใช้กับทุกประเทศที่มีสัดส่วนการบินระหว่างประเทศในปี ค.ศ. 2018 มากกว่าร้อยละ 0.5 ของ ปริมาณการขนส่งรวม คิดเป็นตัน – กิโลเมตร (Revenue – Tonne – Kilometers: RTK) หรือรายการชื่อประเทศที่มีสัดส่วน RTK สะสมนับจากระดับสูงสุดถึงต่าสุด รวมกันได้ร้อยละ 90 ของ RTK ทั้งหมด ยกเว้นประเทศที่พัฒนาน้อยที่สุด (LDC) ประเทศที่หมู่เกาะขนาดเล็ก (SIDS) และประเทศกาลังพัฒนาที่ไม่มีทางออกสู่ทะเล (LLDC) เว้นเสียแต่ว่าสมัครใจที่จะเข้าร่วมในระยะที่สอง

ในแต่ละประเทศจะต้องคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากภาคการบินระหว่างประเทศและปริมาณที่จะต้องชดเชยภายใต้กรอบการดำเนินงานของ CORSIA โดยเป็นไปตามสมการดังนี้ (ICAO, 2018a)

$$OR_y = \%S_y * (OE_y * SGF_y) + \%O_y * (OE_y * OGF_y)$$

<u>โดยที่</u>

OR_y = ปริมาณคาร์บอนเครดิตที่ต้องชดเชยในปี y;

OE_y = ปริมาณการปล่อย CO_2 ตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในปี y;

SGF_y = แฟกเตอร์การเติบโตของภาคการบินรวมในประเทศ (Sector's Growth Factor);

OGF_y = แฟกเตอร์การเติบโตเฉพาะของสายการบิน (Individual growth factor);

$\%S_y$ = เปอร์เซนต์ภาคการบินในปี y;

$\%O_y$ = เปอร์เซนต์สายการบินในปี y

เนื่องจากมีประเด็นด้านการรักษาความลับของข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลที่ได้รับมาจะถูกสมมุติเป็นภาพรวม โดยสมมุติข้อมูลการบินระหว่างประเทศของประเทศไทยจะคิดเป็น 1 สายการบิน ดังนั้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สายการบินต้องชดเชย สามารถเขียนได้ดังสมการนี้

$$OR_y = OE_y \times \frac{(SE_y - SE_{B,y})^*}{SE_y}$$

โดย:

OR_y = ปริมาณคาร์บอนเครดิตที่สายการบินจะต้องชดเชยในปี y;

OE_y = ปริมาณการปล่อย CO_2 ของสายการบินตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในปี y;

SE_y = ปริมาณการปล่อย CO_2 ของภาคการบินระหว่างประเทศตามกรอบการดำเนินงานและเส้นทางตามที่ CORSIA ระบุในปี y

$SE_{B,y}$ = กรณีฐานปริมาณการปล่อย CO_2 (ค่าเฉลี่ยปริมาณการปล่อย CO_2 ของปี 2019 และ ปี 2020) ของภาคการบินระหว่างประเทศตามกรอบการดำเนินงานและเส้นทางตามที่ CORSIA ระบุในปี y;

*โดยสมมุติให้ $\frac{(SE_y - SE_{B,y})}{SE_y}$ เป็นแฟกเตอร์การเติบโตของภาคการบินรวมในประเทศ (Sector's Growth Factor)

สำหรับกรณีฐานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ค่าเฉลี่ยของผลรวมการปล่อยในปี 2019 รวมกับปี 2020) จะใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ ที่ได้จากสำนักงานการบินพลเรือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แห่งประเทศไทย (กพท. หรือ CAAT) ซึ่งเป็นข้อมูลปี 2019 และสมมุติอัตราการเติบโตในภาคการบินระหว่างประเทศตั้งแต่ปี 2019 เท่ากับ 4.15% (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020) (KrungsriResearch, 2020) โดยฉากทัศน์อนาคตของอุตสาหกรรมการบินได้คาดการณ์สถานการณ์ที่อาจจะฟื้นฟูสู่สภาพปกติเทียบเท่าปี 2019 ในปี 2024. (KrungsriResearch, 2020)

2.เชื้อเพลิงอากาศยาน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานสามารถแบ่งตามประเภทของเครื่องยนต์ได้ 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเบนซินอากาศยาน (Aviation Gasoline) สำหรับใช้งานกับอากาศยานที่ทางานด้วยเครื่องยนต์ลูกสูบ ปัจจุบันน้ำมันเบนซินอากาศยานมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ ออกเทน 80 ,100 และ 100 Low Lead แต่ละชนิดจะมีข้อกำหนดเฉพาะระบุไว้อย่างชัดเจน และจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามเครื่องยนต์ที่ใช้ ข้อกำหนดที่ใช้จะเป็นไปตาม American Society for Testing and Materials (ASTM) 910 และ British Ministry of Defense (DERD) 2475 โดยทั่วไปข้อกำหนดเฉพาะของน้ำมันเบนซินอากาศยานจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ ความเหมาะสม (Suitability) องค์ประกอบ (Composition) และคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ (Chemical and Physical) และน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (Aviation Turbine Fuels) สำหรับใช้งานกับอากาศยานที่ทางานด้วยเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

1) น้ำมันเครื่องบินเจ็ทพาณิชย์ (Commercial Turbine Fuels) เช่น Jet A, Jet A-1, TS-1 และ Jet B

2) น้ำมันเครื่องบินเจ็ททหาร (Military Turbine Fuels) เช่น JP-4, JP-5, JP-7 และ JP-8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานที่เครื่องบินพาณิชย์ใช้อยู่สามารถแบ่งได้ 3 ชนิดได้แก่ Jet A-1, Jet A กับ Jet B ซึ่งมีลักษณะใสไม่มีสี และมีส่วนประกอบใกล้เคียงกับน้ามันก๊าด สำหรับข้อแตกต่างที่สาคัญระหว่าง Jet A และ Jet A-1 ก็คือ Jet A-1 มีจุด freezing point ที่ต่ำกว่า Jet A ส่วน Jet B ใช้แทน Jet A-1 เฉพาะในเขตที่หนาวจัดเพราะไวไฟกว่า อันตรายมากกว่า สำหรับเครื่องบินรบที่ใช้ในทางทหาร ใช้เชื้อเพลิงที่เรียกว่า JP-4 ซึ่งใกล้เคียงกับ Jet B แต่เติมสารป้องกันสนิม (corrosion) กับป้องกันน้ำแข็ง (anti-icing) ลงไปด้วย นอกจากนั้นแล้วยังมี JP-5 กับ JP-8 ที่คล้ายคลึงกับ Jet A-1 ของพลเรือน แต่มีสารป้องกันสนิมกับกันน้ำแข็งผสมอยู่เช่นกัน ข้อกำหนดและคุณภาพของน้ำมันเครื่องบินเจ็ทพาณิชย์มีคุณภาพที่สำคัญที่สุดคือ จุดเยือกแข็ง (Freezing point) ซึ่งต้องต่ำมากๆ

เนื่องจากเครื่องบินพาณิชย์เจ็ทบินในระดับที่สูงมาก โดยทั่วไปเครื่องบินเจ็ทพาณิชย์จะใช้เกรด Jet A-1 ที่มีจุดเยือกแข็งต่ำมากเพื่อให้สามารถใช้ในสภาวะดังกล่าวได้

น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยาน (Bio-Jet) คือเชื้อเพลิงอากาศยานที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำมันดิบหรืออนุพันธ์ของน้ำมันดิบโดยตรง และต้องมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงและสามารถใช้ทดแทนกันได้ เช่น ต้องไม่แข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำๆ ไม่จับตัวตกตะกอนภายในเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูงให้พลังงานไม่ต่ำกว่า 42.8 MJ/kg น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานผลิตได้จากกระบวนการทางเคมีซึ่งมีได้หลายกระบวนการ ดัง**รูปที่ 3**

Category	Pathways	Feedstocks	Intermediate	Intermediate Yield	Jet Fuel Yield		Final jet fuel cost
				GGE/BDT	gal/BDT	GGE/BDT	($/gal) [($/GGE)]
Gas to Jet (GTJ)	Fischer Tropsch	Coal, Coal and Biomass, Corn Stover, Wood	Syngas to Hydrocarbons	44-111	9-88	9-89	$6.2 ($5.8)
	Gas Fermentation	Wood, Yard, Vegetative, and Household Waste	Syngas to Ethanol	66-77	44-52	45-53	Not Available
Alcohol to Jet (ATJ)	Ethanol to Jet	Corn, Corn Stover, Wood, Straw, Sugarcane, Switchgrass	Ethanol	16-106	11-79	11-81	$4.1-$14.4 ($3.8-$13.4)
	Butanol to Jet	Corn, Corn Stover, Wheat Straw, Wood, Wood chips	N-Butanol, iso-Butanol	31-57, 55	23-43, 41-48	24-43, 42-49	$4.1-$7.5 ($3.8-$7.0)
	Methanol to Jet	Corn, Corn Stover, Wheat Straw, Wood, Wood chips	Methanol	n/a	n/a	n/a	Not Available
Oil to Jet	Hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA) or Hydro processed Renewable Jet (HRJ) or Bio-SPK (synthetic paraffinic kerosene)	Soybean, Algae, Pongamia, Palm Seed, Rapeseed, Jatropha Seed, Camelina Seed, Salicornia, Cooking Oil	Bio Oil	50-141	28-87	28-98	$2.6-$34.7 ($2.4-$32.0)
	Catalytic Hydrothermolysis (CH) *	Algae Biomass, Soybean Jatropha Seed, Tung Seed, Dairy Waste	Bio Oil	50-102	8-122	9-129	$4.8 ($3.3-$4.5)
	Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet (Pyrolysis or HDCJ) *	Corn Stover, Wood	Pyrolysis Oil	50-153	19	19	$3.9
Sugar to Jet	Catalytic Conversion of Sugars APR *	Corn Stover, Wood	Hydrocarbons	45-78	14-25	15-25	Not Available
	Catalytic Conversion of Sugars HMF and DMF *	Fructose (to HMF and DMF)	DMF and HMF	75-90	52-62	53-64	Not Available
	Direct Sugar Biological to Hydrocarbon (DSHC)	Corn Stover, Sugarcane, wood, Wheat Straw	Fatty Acids and Farnesene	59	24-43	24-45	$4.3-$17.3 ($4.0-$23.3)

Figure 3 แสดงรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานที่มีอยู่ในปัจจุบัน และราคาสุดท้ายหลังผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยาน (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

ซึ่ง ICAO ได้กำหนดประเภทหรือเทคโนโลยีในการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานที่สามารถนำมาใช้ในเครื่องบิน โดยเทคโนโลยีที่ ICAO รับรองประกอบด้วย 6 เทคโนโลยีดัง**รูปที่ 4**

Annex	Conversion Process	Abbreviation	Possible Feedstock	Blending ratio by Volume
1	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT-SPK	Coal, natural gas, biomass	50%
2	Synthesized paraffinic kerosene produced from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA-SPK	Vegetable oils and fats, animal fats, recycled oils	50%
3	Synthesized isoparaffins produced from hydroprocessed fermented sugars	HFS-SIP	Biomass used for sugar production	10%
4	Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from nonpetroleum sources	FT-SPK/A	Coal, natural gas, biomass	50%
5	Alcohol-to-jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	Biomass used for starch and sugar production and cellulosic biomass for isobutanol production	30%
Annex	Co-Processing		Fats, oils, and greases (FOG) from petroleum refining	5%

ที่มา : ICAO GFAAF, 2561

Figure 4 แสดงข้อมูลรายละเอียดเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานที่ ICAO ให้การรับรอง (ICAO, 2018b)

3. การประเมินศักยภาพของเอทานอล

การประเมินศักยภาพของเอทานอลประกอบไปด้วยการประเมิน 2 ส่วนดังนี้

3.1 การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทคโนโลยี Ethanol-to-jet เข้ามาเพื่อผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานดังกล่าว มาใช้ในอากาศยานยนต์ โดยเป็นช่องทางหนึ่งในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคการบิน ตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA โดยเปรียบเทียบมูลค่าของ Jet-A, Jet-A-1 ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละปี รวมกับมูลค่าคาร์บอนเครดิตที่ต้องชดเชยทั้งหมดในแต่ละปี และมูลค่าทั้งหมดของเชื้อเพลิงที่ได้จาก Ethanol-to-jet รวมกับมูลค่าคาร์บอนเครดิตที่ต้องชดเชยทั้งหมด ตามสมการดังนี้

(ผลรวมราคาของ Jet-A, Jet-A-1 ที่เกิดขึ้นในแต่ละปี + มูลค่าคาร์บอนเครดิตที่ต้องชดเชยทั้งหมดในแต่ละปี) – (ผลรวมราคาของ Ethanol-to-jet ที่เกิดขึ้นในแต่ละปี + มูลค่าคาร์บอนเครดิตที่ต้องชดเชยทั้งหมดในแต่ละปี) = a

เมื่อ a:

> 0 หมายถึง ไม่เหมาะสมที่จะนำเทคโนโลยี Ethanol-to-jet เข้ามาผลิตเชื้อเพลิงอากาศยาน

⩽ 0 หมายถึง มีแนวโน้มเห็นควรที่จะนำเทคโนโลยี Ethanol-to-jet เข้ามาผลิตเชื้อเพลิงอากาศยาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การพิจารณาฉากทัศน์สำหรับการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบไปด้วย 2 ฉากทัศน์ ได้แก่

- ฉากทัศน์สภาวะปกติ
- ฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19

3.2 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค

การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค เป็นการศึกษาความเพียงพอในการนำเอทานอลมาผลิตเชื้อเพลิงอากาศยานจากเทคโนโลยี Ethanol-to-jet มาใช้ในอากาศยานยนต์ตามกรอบการดำเนินงานของ CORSIA รวมกับปริมาณ

การบริโภคเอทานอลทั้งหมด โดยเทียบกับปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้ รวมกับสต็อกของผู้ผลิตเอทานอล ว่าเอทานอลมีความเพียงพอสำหรับการบริโภคและสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอากาศยาน

4.การวิเคราะห์ความอ่อนไหว/การวิเคราะห์ฉากทัศน์

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นเครื่องมือหนึ่งในการประเมินว่าแบบจำลองภายใต้สมมุติฐานและพารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไปเพื่อวิเคราะห์ว่าผลดังกล่าวจะเป็นอย่างไร เป็นหนึ่งในวิธีการเชิงคุณภาพในการวิเคราะห์สถานการณ์ในอนาคตโดยพิจารณาจากผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Peter Duinker, 2007).

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะวิเคราะห์และคาดการณ์เหตุการณ์ได้ ไม่ได้จำกัดเพียงสมมุติฐาน กระบวนการดังกล่าวสามารถพิจารณาเงื่อนไขบางอย่างที่มีแนวโน้ม หรืออาจเป็นประเด็นสำคัญได้มากเท่าที่จะมากได้ ตราบเท่าที่มีหลักฐานที่จะช่วยในการตัดสินใจ (Fan Zhang et al., 2021).

ในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบไปด้วย 2 ฉากทัศน์สำหรับการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล และ 2 ฉากทัศน์สำหรับการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ดังนี้

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวและฉากทัศน์ของการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล

- ฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario) แสดงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศภายใต้สถานการณ์ปกติ

- ฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario) แสดงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดโควิด-19 โดยสถานการณ์จะกลับมาเหมือนช่วงปี 2019 ในปี 2024

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวและฉากทัศน์ของการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล (Energy Research Institute, 2020)

- Clear scenario แสดงถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน จากฉากทัศน์ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตโดยมุ่งเน้นถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนผ่านดิจิตอลเป็นสิ่งที่จำเป็น การพึ่งตัวเองและโพรซูเมอร์เป็นตัวแปรสำคัญในการเปลี่ยนผ่าน เศรษฐกิจขับเคลื่อนโดย new S-Curve เศรษฐกิจหมุนเวียน และชีวภาพมีการเติบโต

ทิศทางธุรกิจด้านพลังงานจะเป็นตลาดที่มีการแข่งขันกัน ความยั่งยืนและการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เกิน 2 องศาเซลเซียสเป็นวาระสำคัญของนโยบายระดับประเทศ.

- Cloud scenario แสดงถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน จากฉากทัศน์ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตแบบค่อยเป็นค่อยไปตามกระแสดิจิตอล การเข้ามาของเทคโนโลยีที่มีศักยภาพและสะอาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ยังไม่โตมากพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทันที ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญเชิงโครงสร้างของเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และธุรกิจด้านพลังงาน ผลกระทบด้านมลพิษและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ข้อบังคับสากลด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกบังคับใช้ นโยบายด้านพลังงานสะอาดและอัจฉริยะในปัจจุบันเข้ามามีบทบาทในส่วนของความมั่นคงด้านพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 การดำเนินการเก็บข้อมูล และข้อมูลนำเข้า

การเก็บข้อมูลจากการทวนสอบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ขอบเขตการดำเนินการของ CORSIA โดยข้อมูลของผู้ปฏิบัติการบินทุกราย จะถูกนำมารวมเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA

ข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล และข้อมูลที่ใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล โดยแบ่งได้ดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล

- ราคาเชื้อเพลิงอากาศยาน
- ราคาคาร์บอนเครดิต (เครดิตจากกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM))
- ต้นทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet
- อัตราส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดของเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ที่ ICAO ยอมรับ
- ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล

- อัตราส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดของเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ที่ ICAO ยอมรับ
- ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ
- ปริมาณเอทานอลที่บริโภค และสต็อกผู้ผลิต
- ภาพฉายปริมาณการบริโภคเอทานอล จากเชื้อเพลิงชีวอากาศยาน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินเหล่านี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ความอ่อนไหว/ฉากทัศน์ต่อไป

โดยสรุป รายละเอียดของข้อมูลนำเข้าจะถูกนำไปใช้ในวิธีการต่างๆ จนถึงการสรุปผล ดังแสดงใน**รูปที่ 5**

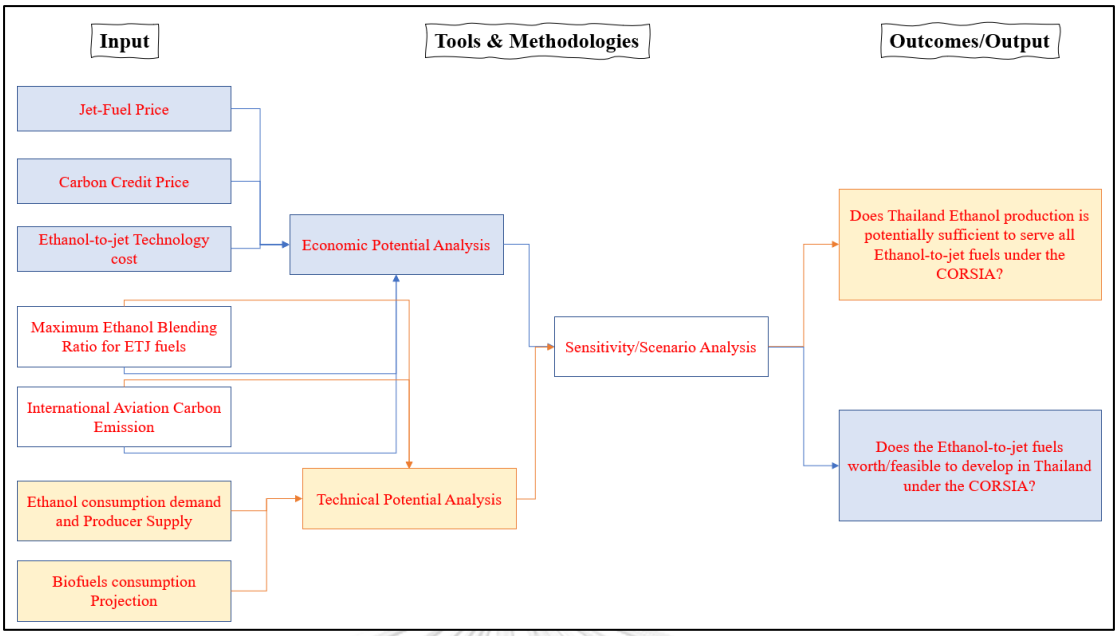


Figure 5 แสดงข้อมูลนำเข้าที่จะใช้ในแต่ละวิธีการ จนถึงการสรุปผล

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อหาศักยภาพของเอทานอล มีดังนี้

3.2.1 ข้อมูลระดับประเทศการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคการบินระหว่างประเทศ ปี พ.ศ.2562 (ค.ศ.2019) โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT) (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2021)

3.2.2 อัตราการเติบโตในธุรกิจการบิน จะใช้ตัวเลขอัตราการเติบโต = 4.15% เป็นค่า SGF ที่จะใช้ในการคำนวณปริมาณคาดการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำข้อมูลจาก รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2563 (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020) (KrungsriResearch, 2020)

3.2.3 ข้อมูลศักยภาพของผู้ผลิตเอทานอลและปริมาณการผลิตเอทานอลรายเดือนประจำปี พ.ศ.2562 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 เผยแพร่โดยกรมพลังงานทดแทน, กระทรวงพลังงาน (DEDE, 2021)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย

- ราคาเชื้อเพลิงอากาศยาน โดยใช้ราคา 0.78 USD/ลิตร หรือ 25.74 บาท/ลิตร (อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา = 33 บาท/USD)

- ราคาคาร์บอนเครดิต (เครดิตจากกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM)) ((TGO), 2021)

- ต้นทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet คำนวณจากการนำข้อมูล Final Technology Cost ซึ่งเป็นข้อมูลรายละเอียดต้นทุนการผลิต (Production Cost)จากการศึกษาของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำมาอ้างอิง คูณกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการคาดการณ์ โดยอัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราเท่ากับ 33 บาท/ดอลลาร์สหรัฐ โดยมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวอากาศยานต่ำสุดอยู่ที่ 35.75 บาท/ลิตร และสูงสุดที่ 125.55 บาท/ลิตร (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

- อัตราส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดของเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ที่ ICAO ยอมรับ ซึ่งอยู่ที่สูงสุด 30% โดยปริมาตร (ICAO, 2018b) และ

- ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2021)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์จะประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีที่จะผลิตเชื้อเพลิงชีวอากาศยานนี้ โดยเปรียบเทียบกรณีราคาเชื้อเพลิงอากาศยาน (Jet-fuel price) รวมกับ มูลค่า Carbon Credit ที่จะต้องจ่ายในกรณีการใช้เชื้อเพลิงอากาศยาน (CDM) เทียบกับ ราคาเชื้อเพลิงชีวอากาศยาน (Biojet fuel price) โดยคำนวณจาก Final Technology cost ซึ่งเป็นราคาต้นทุนต่อหน่วย รวมกับ มูลค่า Carbon Credit ที่จะต้องจ่ายในกรณีการใช้เชื้อเพลิงชีวอากาศยาน (CDM) โดยสมการในการคำนวณสรุปได้ดังนี้

$$(Jet\text{-}fuel\ price + CDM) - (Biojet\ fuel\ price + CDM) = a$$

โดยถ้า $a > 0$: มีแนวโน้มว่าคุ้มค่าหากพัฒนาเทคโนโลยี ETJ

$a < 0$: มีแนวโน้มว่าไม่คุ้มค่าหากพัฒนาเทคโนโลยี ETJ

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคประกอบด้วย

- ปริมาณเอทานอลที่บริโภค และสต็อกผู้ผลิต (DEDE, 2021)

- ภาพฉายปริมาณการบริโภคเอทานอล จากเชื้อเพลิงชีวอากาศยาน โดยข้อมูลปริมาณดังกล่าว ได้จากการคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละปี และปริมาณ 30% ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละปีคือปริมาณเอทานอล

- อัตราส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดของเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ที่ ICAO ยอมรับซึ่งอยู่ที่สูงสุด 30% โดยปริมาตร (ICAO, 2018b) และ

- ข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2021)

การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคจะประเมินความพอเพียงของปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ ว่าสามารถรองรับปริมาณเอทานอลที่ต้องการทั้งหมดได้ในอนาคต โดยเปรียบเทียบฝั่งอุปสงค์ (ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมด (รวมความต้องการเอทานอลที่ใช้ในการผลิต biojet)) เทียบกับฝั่งอุปทาน (ปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้ รวมกับสต็อกของผู้ผลิต) เป็นไปตามสมการดังนี้

$$(\textit{Total ethanol demand + ethanol demand from biojet}) - (\textit{Total ethanol supply + producer stock}) = b$$

โดยที่ $b > 0$: ฝั่งอุปทานมีแนวโน้มไม่สามารถรองรับความต้องการในฝั่งอุปสงค์ได้

$b < 0$: ฝั่งอุปทานมีแนวโน้มสามารถรองรับความต้องการในฝั่งอุปสงค์ได้เพียงพอ

3.2.4 ข้อมูลเพดานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ.2563 (ค.ศ.2020) ที่กำหนดให้เพดานการปล่อยก๊าซไม่เพิ่มขึ้นไปกว่าปริมาณดังกล่าว หรือเรียกว่า Carbon Neutral Growth ทั้งนี้ ส่วนที่ปล่อยเกินไปมากกว่าเพดานดังกล่าวจะต้องถูกชดเชย (Offset) โดยคาร์บอนเครดิตที่ ICAO ยอมรับ (Secretariat, 2019)

3.2.5 แบบจำลองการคาดการณ์ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (แก๊สโซฮอล์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณแก๊สโซฮอล์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ฉากทัศน์ งานวิจัยฉบับนี้ จะนำปริมาณเอทานอลที่คาดคะเนจากฉากทัศน์ทั้ง 2 มาคำนวณปริมาณคาดการณ์เอทานอลที่ต้องการทั้งหมด

3.2.6 การแปรค่าของพารามิเตอร์ที่จะทำการศึกษา

ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกแปรดังนี้

- ราคาเชื้อเพลิงอากาศยาน พิจารณาโดยให้ราคาคงที่ตลอดในช่วงกรอบการดำเนินงาน CORSIA และอัตราการเติบโตของราคาเป็นไปตามภาพฉายราคาเชื้อเพลิงอากาศยานตาม United States, Energy Information Administration (U.S. EIA) (U.S._Energy_Information_Administration)

- ราคาคาร์บอนเครดิต (อ้างอิงราคาเครดิต การพัฒนากลไกที่สะอาด (CDM)) พิจารณาจากราคาสูงสุด และราคาต่ำสุดที่เคยเกิดขึ้น อ้างอิงจากตลาดคาร์บอน องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2564 ((TGO), 2021)

- ต้นทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet พิจารณาจากราคาสูงสุดและต่ำสุดตาม**รูปที่ 3** (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020)

- อัตราส่วนการผสมเอทานอลสูงสุดของเทคโนโลยี Ethanol-to-jet ที่ ICAO ยอมรับ และ ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ โดยแปรปริมาณตามฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario) และฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario) ตาม**รูปที่ 4** (ICAO, 2018b)

3.3 สมมุติฐานงานวิจัย

1.กำหนดให้ใช้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการบินระหว่างประเทศเป็นตัวแทนข้อมูลระดับประเทศในการคำนวณกรณีฐาน และ คาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการบินระหว่างประเทศ

2.สมมุติให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิง Ethanol-to-jet สามารถลดปริมาณคาร์บอนที่ต้องชดเชยลงได้ 30% ตามอัตราส่วนของเอทานอลที่ทาง ICAO ยอมรับ

3.กำหนดให้กรณีฉากทัศน์สถานการณ์การบินในช่วงของ COVID-19 กลับมาฟื้นตัวอีกครั้งหนึ่งเทียบเท่าปี ค.ศ.2019 ในปี ค.ศ.2024 (KrungsriResearch, 2020) และข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ.2021 ถึง ค.ศ.2023 จะไม่ถูกนำมาพิจารณา

4.ปริมาณสต็อกของผู้ผลิตเอทานอลคงที่ตั้งแต่ปี 2021 เป็นต้นไป จนถึงสิ้นสุดกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในปี 2035 โดยมีปริมาณเทียบเท่าปี 2020

5.ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ ให้เป็นไปตามเป้าหมายการผลิตเอทานอลในปี 2035 โดยมีความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบเส้นตรง (Linear Relationship) (Office of the Cane and Sugar Board, 2018)

6.กำหนดให้เพดานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ.2563 (ค.ศ.2020) ไม่เพิ่มขึ้นไปกว่าปริมาณดังกล่าว หรือเรียกว่า Carbon Neutral Growth ทั้งนี้ ส่วนที่ปล่อยเกินไปมากกว่าเพดานดังกล่าวจะต้องถูกชดเชย (Offset) โดยคาร์บอนเครดิตที่ ICAO ยอมรับ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้กรณีเครดิตของ CDM เป็นเครดิตอ้างอิง โดยราคาจะอยู่ที่ 1,160 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ และ 11.60 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราเท่ากับ 40 บาท/ยูโร

7.การคำนวณราคาของ Biojet fuels จาก ETJ pathways คำนวณจากการนำข้อมูล Final Technology Cost ซึ่งเป็นข้อมูลรายละเอียดต้นทุนการผลิต (Production Cost) จากที่ผลการศึกษาของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้นำมาอ้างอิง คูณกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการคาดการณ์ โดยอัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราเท่ากับ 33 บาท/ดอลลาร์สหรัฐ โดยมีต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวอากาศยานต่ำสุดอยู่ที่ 35.75 บาท/ลิตร และสูงสุดที่ 125.55 บาท/ลิตร

3.4 วิธีการดำเนินการ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 การกำหนดฉากทัศน์เชื้อเพลิงอากาศยานที่เป็นไปได้

3.4.1.1 ฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N) (ไม่มีปัจจัย COVID-19 เข้ามาเกี่ยวข้อง)

จำกัดเพดานในปี 2020 โดยคำนวณจากปริมาณที่คาดการณ์ในปี 2020 และข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี 2019 ที่ได้จาก CAAT นำมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย ปริมาณที่ได้ จะเป็นกรณีฐานในการคิดปริมาณคาร์บอนเครดิตที่จะต้องชดเชย

3.4.1.2 ฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C) (มีปัจจัย COVID-19 เข้ามาเกี่ยวข้อง)

จำกัดเพดานในปี 2020 และอิงตามรายงานสถานการณ์ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT) โดยยึดปี 2024 ซึ่งเป็นปีที่คาดว่าสถานการณ์จะกลับมาเป็นปกติเทียบเท่าปี 2019

3.4.2 การกำหนดฉากทัศน์การคาดการณ์ปริมาณความต้องการเอทานอล

3.4.2.1 Clear scenario (1) แสดงถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน จากฉากทัศน์ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิต โดยมุ่งเน้นถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนผ่านดิจิตอลเป็นสิ่งที่จำเป็น การพึ่งตัวเองและโพรซูเมอร์เป็นตัวแปรสำคัญในการเปลี่ยนผ่าน เศรษฐกิจขับเคลื่อนโดย new S-Curve เศรษฐกิจหมุนเวียน และชีวภาพมีการเติบโต ทิศทางธุรกิจด้านพลังงานจะเป็นตลาดที่มีการแข่งขันกัน ความยั่งยืนและการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เกิน 2 องศาเซลเซียสเป็นวาระสำคัญของนโยบายระดับประเทศ.

ฉากทัศน์ดังกล่าวมีแนวคิดเริ่มต้นจากการบริโภคเชื้อเพลิง E20 โดยมีการทำแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงาน (ERI & PTT, Thailand Energy Scenario towards Sustainability 2050)

3.4.2.2 Cloud scenario (2) แสดงถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน จากฉากทัศน์ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตแบบค่อยเป็นค่อยไปตามกระแสดิจิตอล การเข้ามาของเทคโนโลยีที่มีศักยภาพและสะอาดมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ยังไม่โตมากพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทันที ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญเชิงโครงสร้างของเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และธุรกิจด้านพลังงาน ผลกระทบด้านมลพิษและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ข้อบังคับสากลด้านสิ่งแวดล้อมจะถูกบังคับใช้ นโยบายด้านพลังงานสะอาดและอัจฉริยะในปัจจุบันเข้ามามีบทบาทในส่วนของความมั่นคงด้านพลังงาน

ฉากทัศน์ดังกล่าวอ้างอิงจากเป้าหมายด้านเอทานอล ของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 (AEDP2018) โดยมีการทำแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงาน (ERI & PTT, Thailand Energy Scenario towards Sustainability 2050)

3.4.3 การคาดการณ์ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในเชื้อเพลิงชีวอากาศยานยนต์

การคาดการณ์ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในเชื้อเพลิงชีวอากาศยานยนต์ จะใช้จากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดการณ์ในแต่ละปี แปรกลับเป็นปริมาณเชื้อเพลิงโดยนำค่า Emission Factor สำหรับเชื้อเพลิง Jet A/Jet A-1 = 3.16 ton CO_2e/ton Fuels (ICAO, 2018a) ไปหาร เพื่อเป็นปริมาณน้ำหนักของเชื้อเพลิง หลังจากนั้น นำค่า Density = 0.814 kg/m^3 (ICAO, 2018a) ของเชื้อเพลิงไปหาร เพื่อคำนวณกลับเป็นปริมาตรของเชื้อเพลิงทั้งหมด โดยปริมาตรนี้สมมุติว่ามีเอทานอลผสมมากที่สุด 30% โดยปริมาตร (ICAO, 2018b) ดังนั้น ปริมาณเอทานอลที่ใช้ในเชื้อเพลิงชีวอากาศยานยนต์ จะมีปริมาณเท่ากับ 30% ของปริมาตรที่คำนวณได้

3.4.4 การคาดการณ์ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้

ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ จะใช้ข้อมูลการผลิตเอทานอลจาก อ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2018 จนถึงปี 2020 หลังจากนั้น จะใช้เป้าหมายในการผลิตเอทานอลตามรายงานสถานการณ์เอทานอล (Office of the Cane and Sugar Board, 2018) โดยความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Relation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.5 การคาดการณ์ปริมาณความต้องการเอทานอลรายปี

ปริมาณความต้องการเอทานอล คำนวณจากอัตราส่วนของปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง และปริมาณเอทานอลที่ต้องการทั้งหมดจากข้อมูลเผยแพร่ของ DEDE ตั้งแต่ปี 2018 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2021 (ข้อมูลรายเดือน) (DEDE, 2021) โดยนำอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละเดือน มารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละฉากทัศน์ ปริมาณความต้องการเอทานอลในแต่ละปี จะเท่ากับปริมาณเอทานอลจากแบบจำลองในแต่ละเดือนหารด้วยอัตราส่วนที่คำนวณได้ตามแต่ละฉากทัศน์ นำข้อมูลในปีของแต่ละเดือนมารวมกัน จะเป็นปริมาณเอทานอลที่ต้องการรายปี

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะใช้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการบินระหว่างประเทศ จากสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) ปี พ.ศ.2562 (ค.ศ.2019) (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2021) โดยคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปีถัดไปโดยใช้อัตราการเติบโตในธุรกิจการบิน = 4.15% เป็นค่า SGF ที่จะใช้ในการคำนวณปริมาณคาดการณ์การปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงปี ค.ศ.2035, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐานจะใช้ปริมาณของปี 2019 รวมกับปี 2020 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA จะเท่ากับผลต่างของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละปี กับปริมาณของกรณีฐาน โดยแบ่งตามฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N) และฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C) จะอ้างอิงสถานะการฟื้นฟูของธุรกิจสายการบินกลับมาเทียบเท่าปี 2019 ในปี 2024 โดยยังคงอัตราการเติบโตในธุรกิจการบิน = 4.15% (KrungsriResearch, 2020)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA จากการคำนวณทั้ง 2 ฉากทัศน์ ดังแสดงใน**ตารางที่ 1 และ 2**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Case 1	Normal		
Year	Emission (tCO_2e)	Baseline (tCO_2e)	Offset Quantity (tCO_2e)
2019	11,481,553.00	11,719,795.22	-
2020	11,958,037.45	11,719,795.22	-
2021	12,454,296.00	11,719,795.22	734,500.78
2022	12,971,149.29	11,719,795.22	1,251,354.06
2023	13,509,451.98	11,719,795.22	1,789,656.76
2024	14,070,094.24	11,719,795.22	2,350,299.02
2025	14,654,003.15	11,719,795.22	2,934,207.93
2026	15,262,144.28	11,719,795.22	3,542,349.06
2027	15,895,523.27	11,719,795.22	4,175,728.05
2028	16,555,187.49	11,719,795.22	4,835,392.26
2029	17,242,227.77	11,719,795.22	5,522,432.54
2030	17,957,780.22	11,719,795.22	6,237,984.99
2031	18,703,028.10	11,719,795.22	6,983,232.87
2032	19,479,203.76	11,719,795.22	7,759,408.54
2033	20,287,590.72	11,719,795.22	8,567,795.50
2034	21,129,525.73	11,719,795.22	9,409,730.51
2035	22,006,401.05	11,719,795.22	10,286,605.83

Table 1: ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ตามฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N)

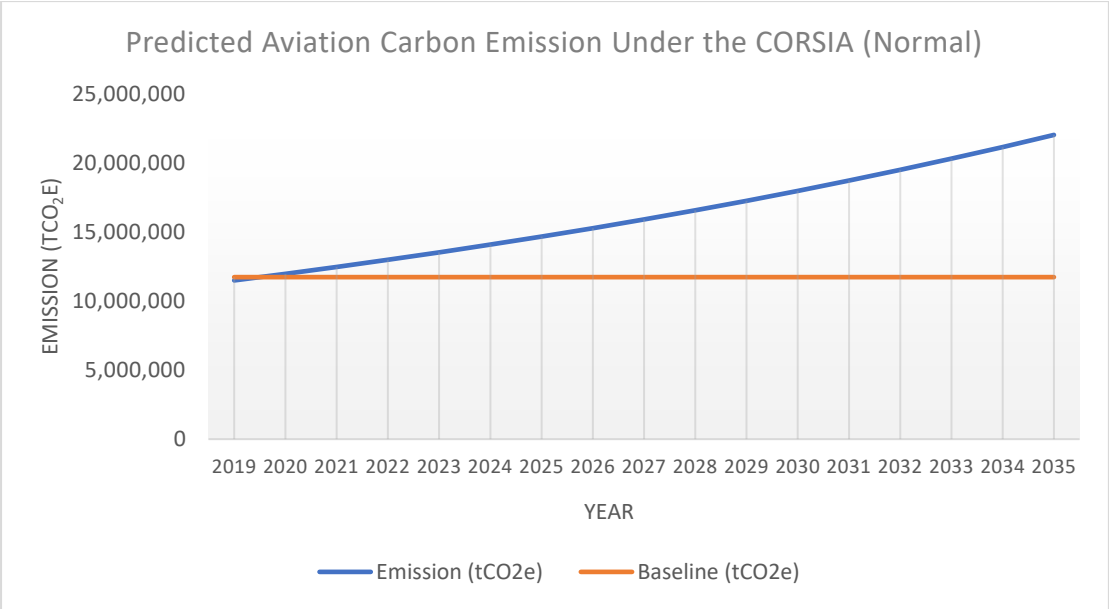


Figure 6 แสดงการคาดการณ์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐานตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario: N)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Case 2	COVID-19		
Year	Emission (tCO_2e)	Baseline (tCO_2e)	Offset Quantity (tCO_2e)
2019	11,481,553.00	11,719,795.22	-
2020	11,958,037.45	11,719,795.22	-
2021	-	11,719,795.22	-
2022	-	11,719,795.22	-
2023	-	11,719,795.22	-
2024	11,481,553.00	11,719,795.22	(238,242.22)
2025	11,958,037.45	11,719,795.22	238,242.22
2026	12,454,296.00	11,719,795.22	734,500.78
2027	12,971,149.29	11,719,795.22	1,251,354.06
2028	13,509,451.98	11,719,795.22	1,789,656.76
2029	14,070,094.24	11,719,795.22	2,350,299.02
2030	14,654,003.15	11,719,795.22	2,934,207.93
2031	15,262,144.28	11,719,795.22	3,542,349.06
2032	15,895,523.27	11,719,795.22	4,175,728.05
2033	16,555,187.49	11,719,795.22	4,835,392.26
2034	17,242,227.77	11,719,795.22	5,522,432.54
2035	17,957,780.22	11,719,795.22	6,237,984.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 2: ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐาน และเครดิตของคาร์บอนที่ต้องชดเชยตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ตามฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C)

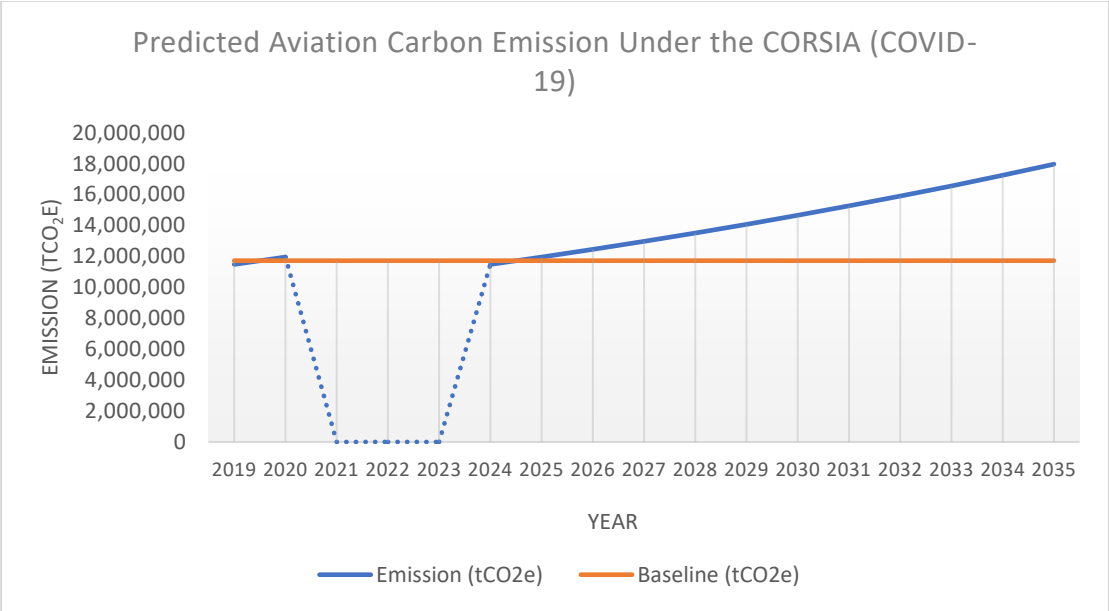


Figure 7 แสดงการคาดการณ์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของกรณีฐานตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ในฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario: C)

4.2 ปริมาณคาดการณ์ความต้องการเอทานอลทั้งหมด

ปริมาณคาดการณ์ความต้องการเอทานอลทั้งหมดประกอบด้วย ปริมาณคาดการณ์ความต้องการเอทานอลและปริมาณเอทานอลสูงสุดที่นำมาผสมกับเชื้อเพลิงอากาศยานตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA ซึ่งแสดงถึงปริมาณความต้องการของปริมาณเอทานอลทั้งหมด เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลในประเทศไทย โดยมีสมมุติฐานการคาดการณ์ทั้งหมด 4 สมมุติฐาน โดยอิงจากอัตราส่วนที่ได้จากแบบจำลอง ดังนี้:

- The Ethanol from ULG Simulation (Clear scenario) (Energy Research Institute, 2020) : Total Ethanol consumption ratio (DEDE, 2021)
- The Ethanol from ULG Simulation (Cloud scenario) (Energy Research Institute, 2020) : Total Ethanol consumption ratio (DEDE, 2021)

ปริมาณความต้องการเอทานอล คำนวณจากอัตราส่วนของปริมาณเอทานอลที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง และปริมาณเอทานอลที่ต้องการทั้งหมดจากข้อมูลเผยแพร่ของ DEDE ตั้งแต่ปี 2018 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2021 (ข้อมูลรายเดือน) (DEDE, 2021) โดยนำอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละเดือน มารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละฉากทัศน์ ปริมาณความต้องการเอทานอลในแต่ละปี จะเท่ากับปริมาณเอทานอลจากแบบจำลองในแต่ละเดือนหารด้วยอัตราส่วนที่คำนวณได้ตามแต่ละฉากทัศน์ นำข้อมูลในปีของแต่ละเดือนมารวมกัน จะเป็นปริมาณเอทานอลที่ต้องการรายปี รายละเอียดปริมาณความต้องการเอทานอลรายปีดังแสดงใน**ตารางที่ 3**

Year	Total Ethanol Consumption (1) (Million Litres)	Total Ethanol Consumption (2) (Million Litres)
2018	1,532.15	1,532.15
2019	1,615.31	1,615.31
2020	1,461.71	1,461.71
2021	1,410.65	1,409.39
2022	1,628.29	1,623.16
2023	1,759.72	1,815.59
2024	1,803.70	1,869.12
2025	1,852.37	1,926.67
2026	1,905.21	1,984.22
2027	1,967.93	2,046.50
2028	2,022.64	2,097.47
2029	2,097.46	2,165.87
2030	2,175.39	2,234.26
2031	2,260.33	2,309.39
2032	2,330.15	2,370.75
2033	2,401.52	2,438.65
2034	2,467.84	2,506.32
2035	2,530.00	2,578.31

Table 3: ปริมาณความต้องการเอทานอลรายปี (ตามฉากทัศน์ของแบบจำลอง) (ล้านลิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

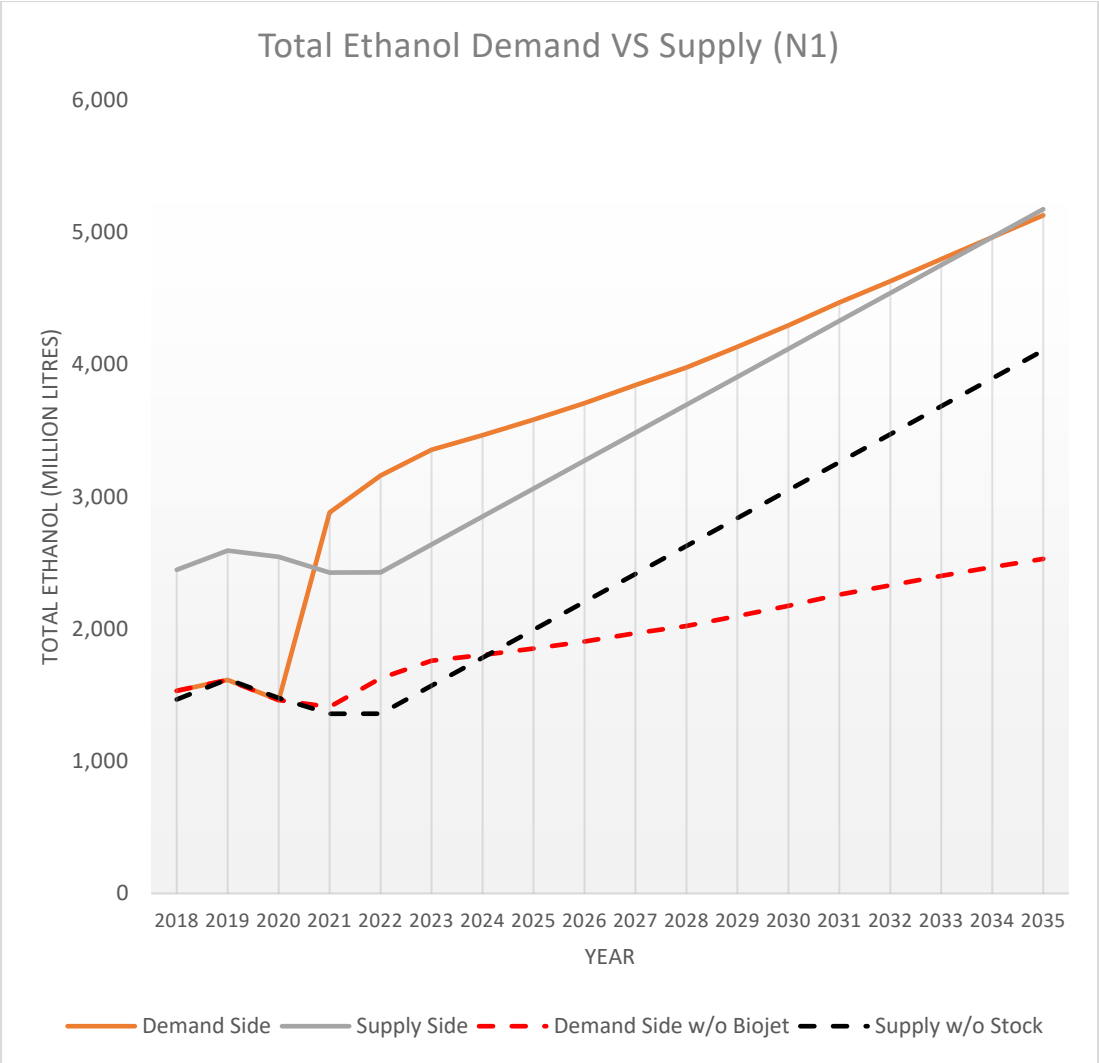
4.3 การคาดการณ์ปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้ และสต็อกของผู้ผลิต

ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ จะใช้ข้อมูลการผลิตเอทานอลจาก อ้อย กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2018 จนถึงปี 2020 หลังจากนั้น จะใช้เป้าหมายในการผลิตเอทานอลตามรายงานสถานการณ์เอทานอล (Office of the Cane and Sugar Board, 2018) โดยความสัมพันธ์ของข้อมูล เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Relation) และสต็อกของผู้ผลิตจะใช้ข้อมูลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี 2018 จนถึงปี 2020 หลังจากนั้นสมมุติให้ปริมาณสต็อกของผู้ผลิตคงที่ตลอดช่วงกรอบการดำเนินงานของ CORSIA โดยปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ และปริมาณสต็อกของผู้ผลิต แสดงใน**ภาคผนวก ก และ ข**

4.4 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ภายใต้ 2 ฉากทัศน์

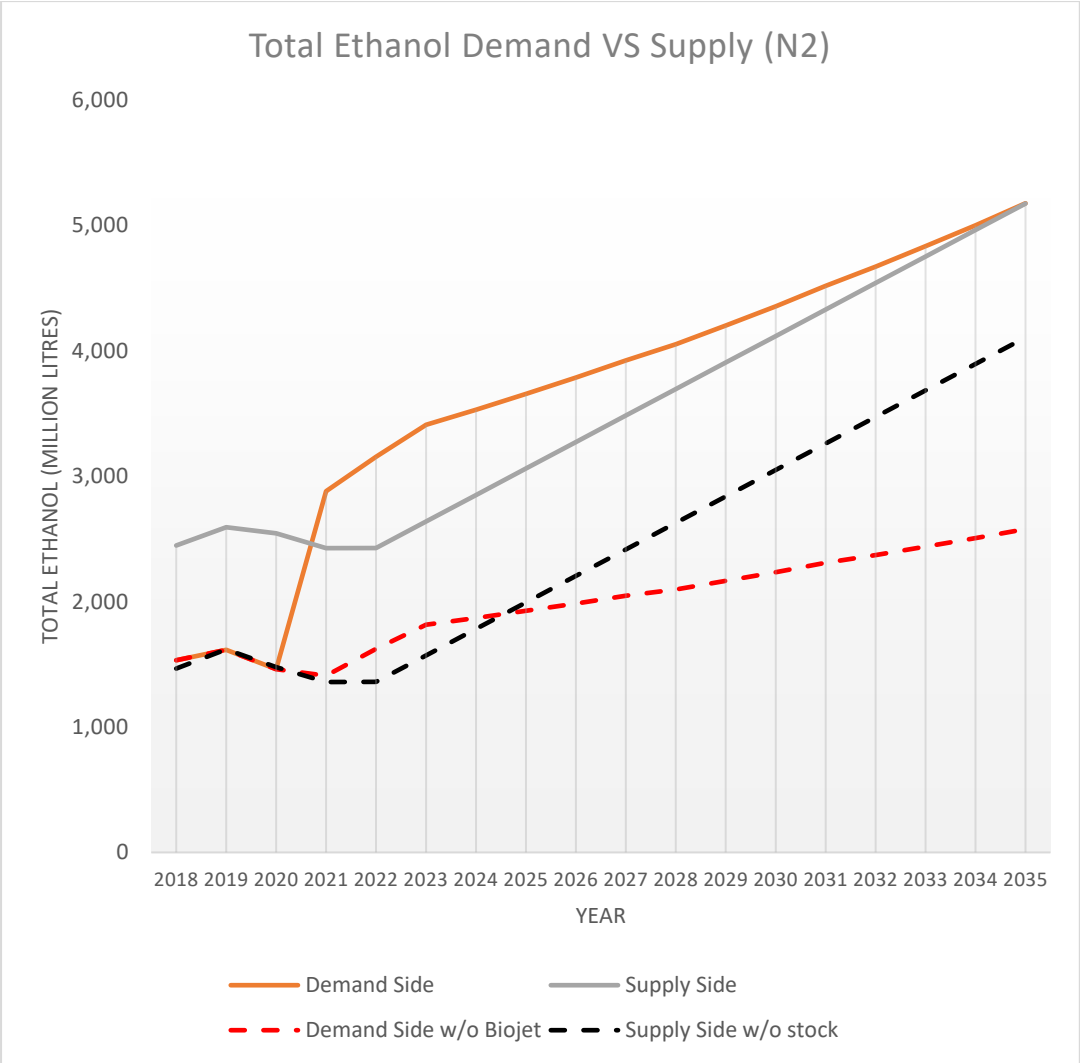
ในงานวิจัยฉบับนี้ ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลจะพิจารณาความเพียงพอของเอทานอล โดยเทียบความต้องการเอทานอลในส่วนของเชื้อเพลิงชีวอากาศยานยนต์รวมกับความต้องการเอทานอลทั้งหมด และปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้รวมกับสต็อกของผู้ผลิต โดยพิจารณาแยกตามฉากทัศน์ ผลการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลสรุปดัง**รูปที่ 8 ถึง 11**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



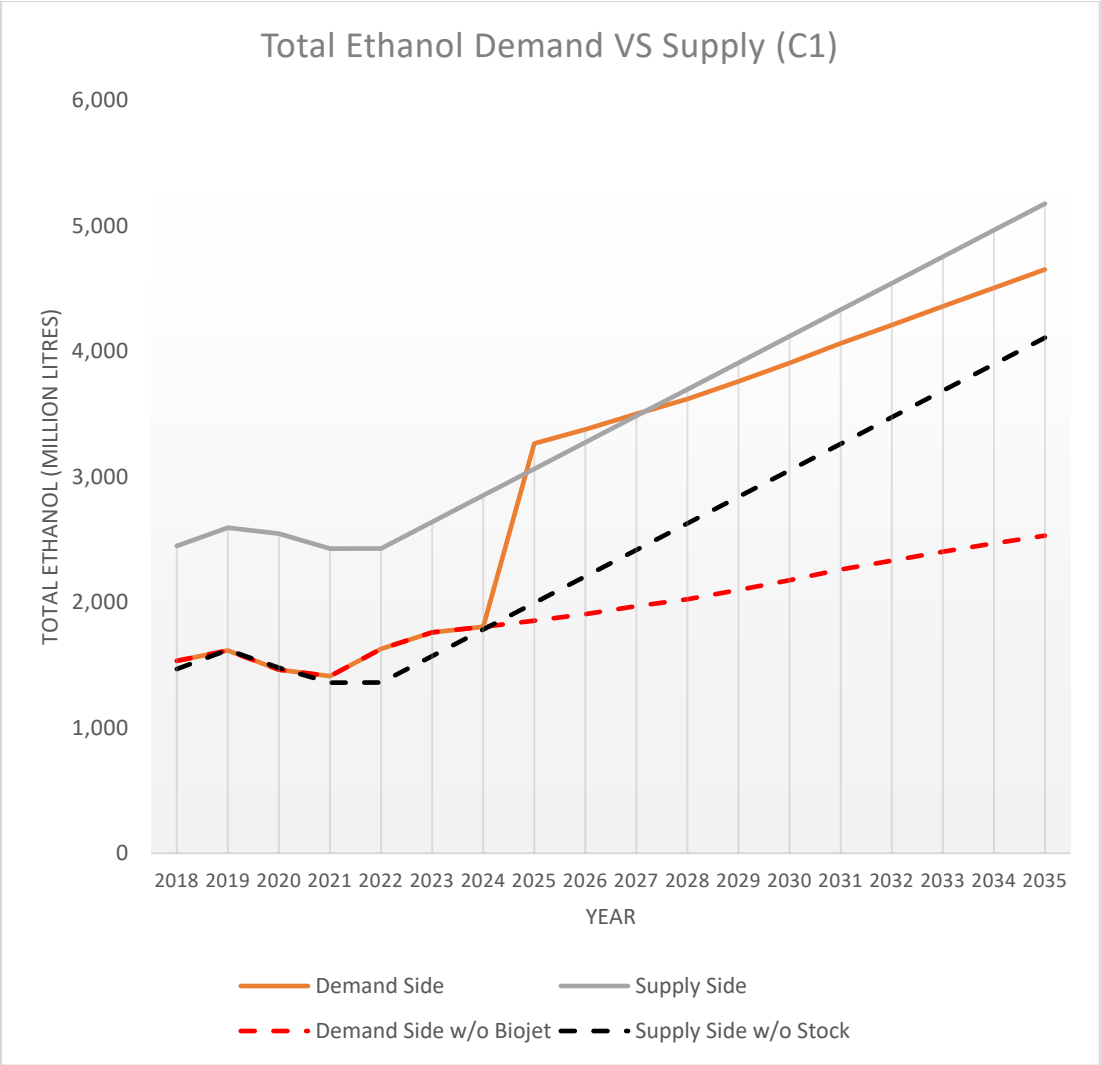
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Figure 8 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (N1)



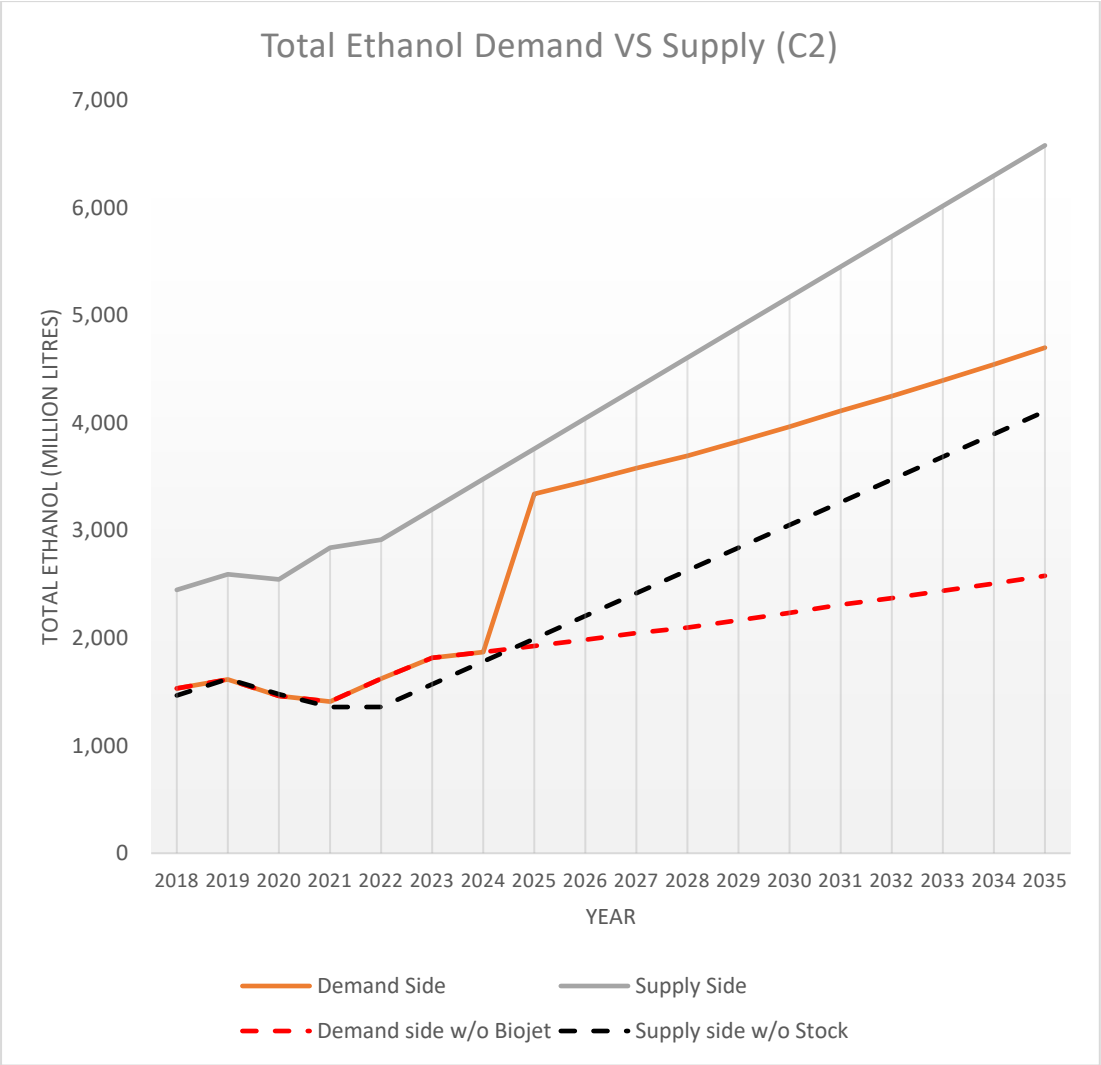
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Figure 9 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (N2)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Figure 10 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (C1)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Figure 11 ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล ที่ปริมาณความต้องการเอทานอลทั้งหมดคาดการณ์โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลใน ULG ต่อปริมาณความต้องการเอทานอลในอดีตตามฉากทัศน์ (C2)

4.5 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล ภายใต้ 2 ฉากทัศน์

ในงานวิจัยฉบับนี้ ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลจะพิจารณาในมิติของราคาต้นทุนเทคโนโลยีและราคาคาร์บอนเครดิต โดยแปรผันราคาต้นทุนเทคโนโลยี และราคาคาร์บอนเครดิต เป็นกรณีราคาสูง และราคาต่ำ รวมถึงการพิจารณาราคาเชื้อเพลิง โดยพิจารณากรณีคงราคาเชื้อเพลิงอากาศยานให้ราคาคงที่ และอัตราการเปลี่ยนแปลงราคาเชื้อเพลิง เป็นไปตาม US Energy Information Administration ข้อมูลเหล่านี้จะนำมา

ประกอบการตัดสินใจว่า เทคโนโลยี Ethanol-to-jet มีแนวโน้มที่จะลงทุน หรือพัฒนาหรือไม่ตามแต่ละฉากทัศน์ โดยผลการประเมินศักยภาพของเอทานอลได้ถูกสรุปออกมา ดังแสดง**ในรูปที่ 12 และ 13**

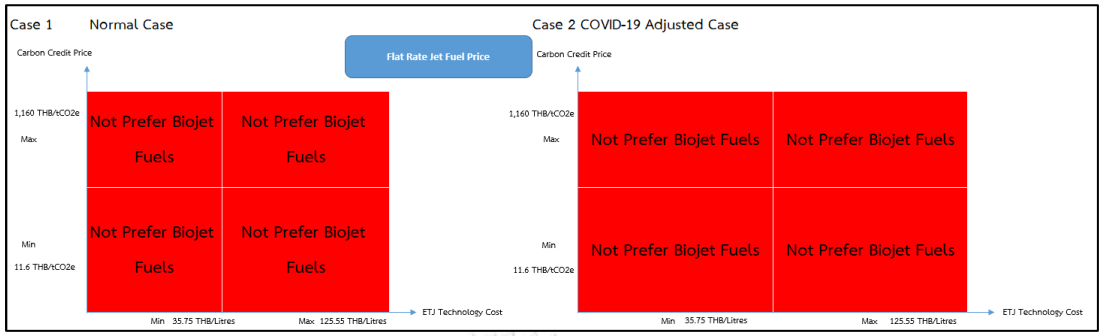


Figure 12 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลภาพใต้ฉากทัศน์ N และ C โดยให้ราคาเชื้อเพลิงคงที่ตลอดช่วงกรอบการดำเนินงาน CORSIA

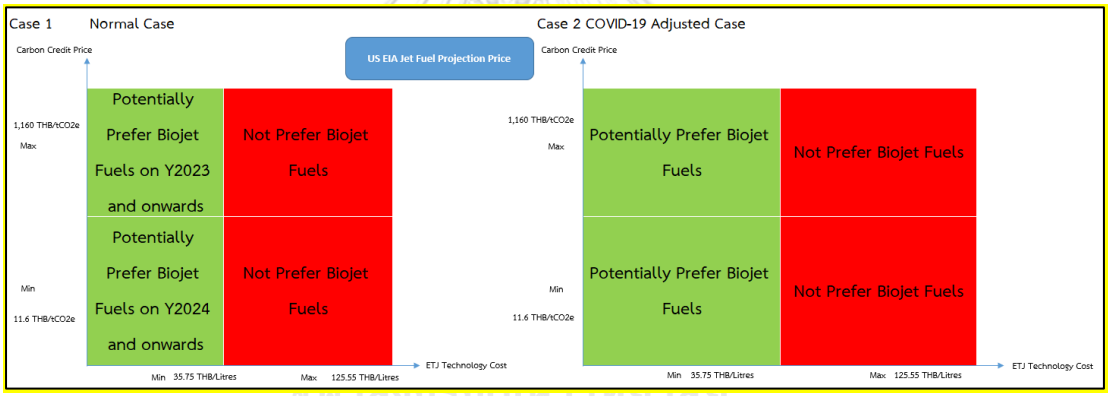


Figure 13 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลภาพใต้ฉากทัศน์ N และ C โดยให้ราคาเชื้อเพลิงสอดคล้องกับอัตราตามที่ US Energy Information Administration ระบุ ตลอดช่วงกรอบการดำเนินงาน CORSIA.

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ศักยภาพของเอทานอลเชิงเศรษฐศาสตร์ และเชิงเทคนิค โดยพิจารณาควบคู่กันไป เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี Ethanol-to-jet มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวอากาศยาน สำหรับใช้แทนเชื้อเพลิง Jet A และ Jet A-1 เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามกรอบการดำเนินงาน CORSIA รวมไปถึงการคาดการณ์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และปริมาณเอทานอลสูงที่สุดที่สามารถนำมาผสมกับเชื้อเพลิงอากาศยานได้ ภายใต้ฉากทัศน์สภาวะปกติ (Normal scenario) และฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario)

ผลการศึกษาภายใต้สถานการณ์ปกติของงานวิจัยฉบับนี้สรุปได้ว่า ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลจะแสดงผลของปริมาณเอทานอลที่มีแนวโน้มไม่เพียงกับความต้องการบริโภครวมของเอทานอลตลอดช่วงกรอบการดำเนินงานของ CORSIA แต่ถัดต่อไปในระยะยาว ปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มที่จะพอเพียงและสามารถรองรับปริมาณความต้องการของเอทานอลได้ หากกรอบการดำเนินการ CORSIA ยังคงดำเนินการหลังปี 2035 หากพิจารณาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล พบว่า ที่อัตราการเติบโตราคาเชื้อเพลิงอากาศยานอิงตาม U.S. EIA การลงทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet มีแนวโน้มที่จะคุ้มค่าเมื่อพิจารณาต้นทุนเทคโนโลยีที่ราคาต่ำสุด (35.75 บาท/ลิตร) โดยจะคุ้มค่าตั้งแต่ปี 2023 เป็นต้นไป ที่ราคาคาร์บอนเครดิตสูงที่สุด (1,160 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์) และคุ้มค่าตั้งแต่ปี 2024 เป็นต้นไป ที่ราคาคาร์บอนเครดิตต่ำที่สุด (11.6 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์)

ผลการศึกษาฉากทัศน์ภายใต้สภาวะโควิด-19 (COVID-19 scenario) ของงานวิจัยฉบับนี้สรุปได้ว่า ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอลที่อัตราการเติบโตราคาเชื้อเพลิงอากาศยานอิงตาม U.S. EIA การลงทุนเทคโนโลยี Ethanol-to-jet มีแนวโน้มที่จะไม่คุ้มค่าเมื่อพิจารณาต้นทุนเทคโนโลยีที่ราคาสูงที่สุด (125.55 บาท/ลิตร) โดยในกรณีอื่นๆ ประเมินได้ว่ามีแนวโน้มที่จะคุ้มค่า และการพิจารณาศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอลจะพบว่าปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มเพียงพอกับความต้องการบริโภครวมของเอทานอลทั้งในระยะสั้น และระยะยาว

ผลการศึกษาในบางกรณีที่พบว่าปริมาณการผลิตเอทานอลสามารถรองรับปริมาณความต้องการของเอทานอลที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิง Biojet จาก ETJ pathway ที่จะนำมาใช้ใน CORSIA ได้อย่างเพียงพอ โดยการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค และเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีความเพียงพอ และคุ้มค่า หากต้นทุนเทคโนโลยีมีราคาที่ต่ำลงแม้ราคาคาร์บอนเครดิตจะสูงขึ้นตามกรอบสมมุติฐานเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบัน ในช่วงระหว่างที่ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาเทคโนโลยีในการผลิตดังกล่าวพบว่ายังไม่มีผลการศึกษาที่แน่ชัด และถูกนำมาใช้จริงในประเทศไทย กอปรกับการศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากภาคการบินระหว่างประเทศ ยังไม่มีการศึกษาที่มากเพียงพอที่ทางผู้วิจัยจะนำมาอ้างอิง รวมถึงยังไม่มีประวัติ หรือการศึกษาโดยการนำเชื้อเพลิงชีวอากาศยานไปใช้ในการปฏิบัติการบินจริงในประเทศไทย ทางผู้ทำการวิจัยมีความเห็นว่าอาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกิดขึ้นประกอบอยู่

และเนื่องจากว่ากรอบการดำเนินงาน CORSIA เป็นกรอบการดำเนินงานจาก ICAO ซึ่งเป็นกรอบการดำเนินงานที่ค่อนข้างใหม่ ผนวกกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-2019 ซึ่งมีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการบินโดยตรง อาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทางผู้ศึกษาไม่ได้กล่าวถึง ทั้งนี้ อาจต้องเพิ่มมิติในการศึกษาศักยภาพของเอทานอลดังกล่าว ในมุมมองหรือทัศนะอื่นๆ รวมถึงสถานการณ์ ภาวะการณ์ในอนาคต เช่น การหาพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มเติมในการผลิตเอทานอลจากผลิตผลทางการเกษตร การเพิ่มศักยภาพในการผลิตเอทานอลของผู้ผลิตในประเทศไทย รวมถึงข้อกำหนด ข้อบังคับต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งมีส่วนที่ทำให้ผลสรุปไม่ได้เป็นไปตามที่ได้ศึกษาไว้ จึงมีข้อเสนอสำหรับผู้นำงานวิจัยฉบับนี้ไปใช้อ้างอิง เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

(TGO), T. G. ɡ. O. (2021). Carbon Market, Carbon Credit Price (CDM). In.

DEDE. (2021). *Monthly Ethanol Database, year 2018 to July 2021.* https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=55608&filename=index

Energy Research Institute, P. (2020, 15 July 2020). Diesels and ULG consumption model and scenarios. Thailand Energy Scenario towards Sustainability 2050,

Fan Zhang, , A. P. C. C., , A. D., & , D. L. (2021). Predicting the elderly's quality of life based on dynamic neighborhood environment under diverse scenarios: An integrated approach of ANN, scenario analysis and Monte Carlo method. *ELSEVIER*.

SARPs, Environmental Protection, Annex 16 Vol. IV, ICAO, June 2018, (2018a). https://elibrary.icao.int/home/product-details/229739

ICAO. (2018b). *SUSTAINABLE AVIATION FUELS GUIDE*.

KrungsriResearch. (2020). *Industry Outlook: Aviation Industry Year 2021 to 2023*. https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/logistics/air-transport/IO/io-Air-Transport-21

Office of the Cane and Sugar Board, M. o. I. (2018). *Ethanol situation*

Peter Duinker, L. A. G. (2007). Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.11.001

ICAO Regional Workshop on CORSIA., Session 6: CORSIA Offsetting Requirements., (2019).

U.S._Energy_Information_Administration. Annual Energy Outlook 2021. In T. E. P. b. S. a. Source (Ed.).

แสงคำสุข, ธ. (2019). "ปณิธานระดับโลก" ของ ICAO กับการพัฒนาอุตสาหกรรมการบินคาร์บอนต่ำ.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ภ. (2020). รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพอากาศยานอย่างยั่งยืน. http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11646_%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A2.pdf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย. (2021). *Aviation Fuel consumption and Emission Data Year 2019*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ในแต่ละปี

Year	อ้อย (ล้านลิตร/ปี)	กากน้ำตาล (ล้านลิตร/ปี)	มันสำปะหลัง (ล้านลิตร/ปี)	รวม (ล้านลิตร/ปี)
2018	72.35	956.3	438.03	1,466.75
2019	79.73	1,091.1	448.53	1,619.42
2020	63.78	860.85	553.04	1,477.67
2021	196.17	918.14	540.57	1,654.88
2022	328.56	975.43	528.10	1,832.09
2023	460.94	1,032.72	515.63	2,009.30
2024	593.33	1,090.01	503.16	2,186.50
2025	725.72	1,147.30	490.69	2,363.71
2026	858.11	1,204.59	478.22	2,540.92
2027	990.50	1,261.88	465.75	2,718.13
2028	1,122.88	1,319.17	453.29	2,895.34
2029	1,255.27	1,376.46	440.82	3,072.55
2030	1,387.66	1,433.75	428.35	3,249.76
2031	1,520.05	1,491.04	415.88	3,426.97
2032	1,652.44	1,548.33	403.41	3,604.17
2033	1,784.82	1,605.62	390.94	3,781.38
2034	1,917.21	1,662.91	378.47	3,958.59
2035	2,049.60	1,720.20	366.00	4,135.80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข ปริมาณสต็อกของผู้ผลิตเอทานอลรายปี

Year	Stock (ล้านลิตร/ปี)
2018	980.65
2019	973.54
2020	1,067.79
2021	1,067.79
2022	1,067.79
2023	1,067.79
2024	1,067.79
2025	1,067.79
2026	1,067.79
2027	1,067.79
2028	1,067.79
2029	1,067.79
2030	1,067.79
2031	1,067.79
2032	1,067.79
2033	1,067.79
2034	1,067.79
2035	1,067.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของเอทานอล

กรณีฉากทัศน์สภาวะปกติที่ 1 (ราคาคาร์บอนเครดิต 1,160 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 125.55 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		126,178.28	852.02	127,030.30	615,441.25	30%	255.61	615,696.85	(488,666.56)
2022	2		131,414.68	1,451.57	132,866.25	640,982.06	30%	435.47	641,417.53	(508,551.28)
2023	3		136,868.39	2,076.00	138,944.39	667,582.82	30%	622.80	668,205.62	(529,261.23)
2024	4		142,548.42	2,726.35	145,274.77	695,287.50	30%	817.90	696,105.41	(550,830.64)
2025	5		148,464.18	3,403.68	151,867.86	724,141.93	30%	1,021.10	725,163.04	(573,295.17)
2026	6		154,625.45	4,109.12	158,734.57	754,193.82	30%	1,232.74	755,426.56	(596,691.99)
2027	7	Jet Fuel	161,042.40	4,843.84	165,886.25	785,492.87	30%	1,453.15	786,946.02	(621,059.77)
2028	8	Flat Rate	167,725.66	5,609.06	173,334.72	818,090.82	30%	1,682.72	819,773.54	(646,438.82)
2029	9	Case	174,686.28	6,406.02	181,092.30	852,041.59	30%	1,921.81	853,963.40	(672,871.10)
2030	10		181,935.76	7,236.06	189,171.82	887,401.32	30%	2,170.82	889,572.14	(700,400.32)
2031	11		189,486.09	8,100.55	197,586.64	924,228.47	30%	2,430.17	926,658.64	(729,071.99)
2032	12		197,349.76	9,000.91	206,350.68	962,583.95	30%	2,700.27	965,284.23	(758,933.55)
2033	13		205,539.78	9,938.64	215,478.42	1,002,531.19	30%	2,981.59	1,005,512.78	(790,034.36)
2034	14		214,069.68	10,915.29	224,984.97	1,044,136.23	30%	3,274.59	1,047,410.82	(822,425.85)
2035	15		222,953.57	11,932.46	234,886.03	1,087,467.88	30%	3,579.74	1,091,047.62	(856,161.59)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		136,857.94	852.02	137,709.96	615,441.25	30%	255.61	615,696.85	(477,986.89)
2022	2		156,681.45	1,451.57	158,133.02	640,982.06	30%	435.47	641,417.53	(483,284.51)
2023	3		181,490.05	2,076.00	183,566.05	667,582.82	30%	622.80	668,205.62	(484,639.56)
2024	4		203,619.33	2,726.35	206,345.67	695,287.50	30%	817.90	696,105.41	(489,759.73)
2025	5		222,153.30	3,403.68	225,556.98	724,141.93	30%	1,021.10	725,163.04	(499,606.06)
2026	6	Jet Fuel	240,420.76	4,109.12	244,529.88	754,193.82	30%	1,232.74	755,426.56	(510,896.68)
2027	7	Rate based	255,783.13	4,843.84	260,626.97	785,492.87	30%	1,453.15	786,946.02	(526,319.05)
2028	8	on USA EIA	275,862.27	5,609.06	281,471.32	818,090.82	30%	1,682.72	819,773.54	(538,302.21)
2029	9	Jet Fuels	292,239.01	6,406.02	298,645.03	852,041.59	30%	1,921.81	853,963.40	(555,318.37)
2030	10	Projection	312,541.68	7,236.06	319,777.74	887,401.32	30%	2,170.82	889,572.14	(569,794.40)
2031	11		332,442.16	8,100.55	340,542.71	924,228.47	30%	2,430.17	926,658.64	(586,115.93)
2032	12		353,662.33	9,000.91	362,663.24	962,583.95	30%	2,700.27	965,284.23	(602,620.99)
2033	13		373,279.14	9,938.64	383,217.78	1,002,531.19	30%	2,981.59	1,005,512.78	(622,295.00)
2034	14		392,349.24	10,915.29	403,264.52	1,044,136.23	30%	3,274.59	1,047,410.82	(644,146.29)
2035	15		412,359.27	11,932.46	424,291.73	1,087,467.88	30%	3,579.74	1,091,047.62	(666,755.89)

กรณีฉากทัศน์สภาวะปกติที่ 2 (ราคาคาร์บอนเครดิต 1,160 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 35.75 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		126,178.28	852.02	127,030.30	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	(48,202.06)
2022	2		131,414.68	1,451.57	132,866.25	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	(49,639.94)
2023	3		136,868.39	2,076.00	138,944.39	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	(51,137.50)
2024	4		142,548.42	2,726.35	145,274.77	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	(52,697.21)
2025	5		148,464.18	3,403.68	151,867.86	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	(54,321.65)
2026	6		154,625.45	4,109.12	158,734.57	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	(56,013.50)
2027	7	Jet Fuel	161,042.40	4,843.84	165,886.25	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	(57,775.56)
2028	8	Flat Rate	167,725.66	5,609.06	173,334.72	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	(59,610.75)
2029	9	Case	174,686.28	6,406.02	181,092.30	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	(61,522.09)
2030	10		181,935.76	7,236.06	189,171.82	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	(63,512.76)
2031	11		189,486.09	8,100.55	197,586.64	263,148.38	30%	24.30	263,172.69	(65,586.04)
2032	12		197,349.76	9,000.91	206,350.68	274,069.04	30%	27.00	274,096.04	(67,745.37)
2033	13		205,539.78	9,938.64	215,478.42	285,442.91	30%	29.82	285,472.72	(69,994.30)
2034	14		214,069.68	10,915.29	224,984.97	297,288.79	30%	32.75	297,321.53	(72,336.57)
2035	15		222,953.57	11,932.46	234,886.03	309,626.27	30%	35.80	309,662.07	(74,776.04)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		136,857.94	852.02	137,709.96	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	(37,522.39)
2022	2		156,681.45	1,451.57	158,133.02	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	(24,373.17)
2023	3		181,490.05	2,076.00	183,566.05	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	(6,515.84)
2024	4		203,619.33	2,726.35	206,345.67	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	8,373.69
2025	5		222,153.30	3,403.68	225,556.98	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	19,367.47
2026	6	Jet Fuel	240,420.76	4,109.12	244,529.88	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	29,781.81
2027	7	Rate based	255,783.13	4,843.84	260,626.97	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	36,965.16
2028	8	on USA EIA	275,862.27	5,609.06	281,471.32	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	48,525.86
2029	9	Jet Fuels	292,239.01	6,406.02	298,645.03	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	56,030.64
2030	10	Projection	312,541.68	7,236.06	319,777.74	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	67,093.16
2031	11		332,412.16	8,100.55	340,512.71	263,148.38	30%	24.30	263,172.69	77,370.02
2032	12		353,662.33	9,000.91	362,663.24	274,069.04	30%	27.00	274,096.04	88,567.19
2033	13		373,279.14	9,938.64	383,217.78	285,442.91	30%	29.82	285,472.72	97,745.06
2034	14		392,349.24	10,915.29	403,264.52	297,288.79	30%	32.75	297,321.53	105,942.99
2035	15		412,359.27	11,932.46	424,291.73	309,626.27	30%	35.80	309,662.07	114,629.66

กรณีฉากทัศน์สภาวะปกติที่ 3 (ราคาคาร์บอนเครดิต 11.60 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 125.55 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1	Jet Fuel Flat Rate Case	126,178.28	8.52	126,186.80	615,441.25	30%	2.56	615,443.80	(489,257.01)
2022	2		131,414.68	14.52	131,429.19	640,982.06	30%	4.35	640,986.41	(509,557.22)
2023	3		136,868.39	20.76	136,889.15	667,582.82	30%	6.23	667,589.04	(530,699.90)
2024	4		142,548.42	27.26	142,575.69	695,287.50	30%	8.18	695,295.68	(552,719.99)
2025	5		148,464.18	34.04	148,498.22	724,141.93	30%	10.21	724,152.14	(575,653.93)
2026	6		154,625.45	41.09	154,666.54	754,193.82	30%	12.33	754,206.15	(599,539.61)
2027	7		161,042.40	48.44	161,090.84	785,492.87	30%	14.53	785,507.40	(624,416.56)
2028	8		167,725.66	56.09	167,781.75	818,090.82	30%	16.83	818,107.65	(650,325.90)
2029	9		174,686.28	64.06	174,750.34	852,041.59	30%	19.22	852,060.81	(677,310.47)
2030	10		181,935.76	72.36	182,008.12	887,401.32	30%	21.71	887,423.02	(705,414.91)
2031	11		189,486.09	81.01	189,567.10	924,228.47	30%	24.30	924,252.77	(734,685.68)
2032	12		197,349.76	90.01	197,439.77	962,583.95	30%	27.00	962,610.96	(765,171.18)
2033	13		205,539.78	99.39	205,639.17	1,002,531.19	30%	29.82	1,002,561.00	(796,921.84)
2034	14		214,069.68	109.15	214,178.83	1,044,136.23	30%	32.75	1,044,168.98	(829,990.14)
2035	15		222,953.57	119.32	223,072.90	1,087,467.88	30%	35.80	1,087,503.68	(864,430.79)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1	Jet Fuel Rate based on USA EIA Jet Fuels Projection	136,857.94	8.52	136,866.46	615,441.25	30%	2.56	615,443.80	(478,577.34)
2022	2		156,681.45	14.52	156,695.96	640,982.06	30%	4.35	640,986.41	(484,290.45)
2023	3		181,490.05	20.76	181,510.81	667,582.82	30%	6.23	667,589.04	(486,078.23)
2024	4		203,619.33	27.26	203,646.59	695,287.50	30%	8.18	695,295.68	(491,649.09)
2025	5		222,153.30	34.04	222,187.34	724,141.93	30%	10.21	724,152.14	(501,964.81)
2026	6		240,420.76	41.09	240,461.85	754,193.82	30%	12.33	754,206.15	(513,744.30)
2027	7		255,783.13	48.44	255,831.56	785,492.87	30%	14.53	785,507.40	(529,675.83)
2028	8		275,862.27	56.09	275,918.36	818,090.82	30%	16.83	818,107.65	(542,189.29)
2029	9		292,239.01	64.06	292,303.07	852,041.59	30%	19.22	852,060.81	(559,757.74)
2030	10		312,541.68	72.36	312,614.04	887,401.32	30%	21.71	887,423.02	(574,808.99)
2031	11		332,442.16	81.01	332,523.17	924,228.47	30%	24.30	924,252.77	(591,729.61)
2032	12		353,662.33	90.01	353,752.33	962,583.95	30%	27.00	962,610.96	(608,858.62)
2033	13		373,279.14	99.39	373,378.53	1,002,531.19	30%	29.82	1,002,561.00	(629,182.48)
2034	14		392,349.24	109.15	392,458.39	1,044,136.23	30%	32.75	1,044,168.98	(651,710.59)
2035	15		412,359.27	119.32	412,478.60	1,087,467.88	30%	35.80	1,087,503.68	(675,025.09)

กรณีฉากทัศน์สภาวะปกติที่ 4 (ราคาคาร์บอนเครดิต 11.60 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 35.75 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		126,178.28	8.52	126,186.80	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	(49,045.56)
2022	2		131,414.68	14.52	131,429.19	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	(51,077.00)
2023	3		136,868.39	20.76	136,889.15	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	(53,192.75)
2024	4		142,548.42	27.26	142,575.69	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	(55,396.30)
2025	5		148,464.18	34.04	148,498.22	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	(57,691.29)
2026	6		154,625.45	41.09	154,666.54	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	(60,081.53)
2027	7	Jet Fuel	161,042.40	48.44	161,090.84	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	(62,570.97)
2028	8	Flat Rate	167,725.66	56.09	167,781.75	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	(65,163.71)
2029	9	Case	174,686.28	64.06	174,750.34	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	(67,864.06)
2030	10		181,935.76	72.36	182,008.12	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	(70,676.47)
2031	11		189,486.09	81.01	189,567.10	263,148.38	30%	24.30	263,172.69	(73,605.59)
2032	12		197,349.76	90.01	197,439.77	274,069.04	30%	27.00	274,096.04	(76,656.27)
2033	13		205,539.78	99.39	205,639.17	285,442.91	30%	29.82	285,472.72	(79,833.56)
2034	14		214,069.68	109.15	214,178.83	297,288.79	30%	32.75	297,321.53	(83,142.70)
2035	15		222,953.57	119.32	223,072.90	309,626.27	30%	35.80	309,662.07	(86,589.17)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021	1		136,857.94	8.52	136,866.46	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	(38,365.89)
2022	2		156,681.45	14.52	156,695.96	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	(25,810.23)
2023	3		181,490.05	20.76	181,510.81	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	(8,571.08)
2024	4		203,619.33	27.26	203,646.59	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	5,674.61
2025	5		222,153.30	34.04	222,187.34	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	15,997.83
2026	6	Jet Fuel	240,420.76	41.09	240,461.85	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	25,713.78
2027	7	Rate based	255,783.13	48.44	255,831.56	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	32,169.76
2028	8	on USA EIA	275,862.27	56.09	275,918.36	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	42,972.90
2029	9	Jet Fuels	292,239.01	64.06	292,303.07	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	49,688.67
2030	10	Projection	312,541.68	72.36	312,614.04	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	59,929.45
2031	11		332,442.16	81.01	332,523.17	263,148.38	30%	24.30	263,172.69	69,350.48
2032	12		353,662.33	90.01	353,752.33	274,069.04	30%	27.00	274,096.04	79,656.29
2033	13		373,279.14	99.39	373,378.53	285,442.91	30%	29.82	285,472.72	87,905.80
2034	14		392,349.24	109.15	392,458.39	297,288.79	30%	32.75	297,321.53	95,136.86
2035	15		412,359.27	119.32	412,478.60	309,626.27	30%	35.80	309,662.07	102,816.53

กรณีฉากทัศน์สภาวะ COVID-19 ที่ 1 (ราคาคาร์บอนเครดิต 1,160 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 125.55 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		121,150.53	276.36	121,426.89	590,918.15	30%	82.91	591,001.05	(469,574.16)
2026	6		126,178.28	852.02	127,030.30	615,441.25	30%	255.61	615,696.85	(488,666.56)
2027	7	Jet Fuel Flat	131,414.68	1,451.57	132,866.25	640,982.06	30%	435.47	641,417.53	(508,551.28)
2028	8		136,868.39	2,076.00	138,944.39	667,582.82	30%	622.80	668,205.62	(529,261.23)
2029	9	Rate Case	142,548.42	2,726.35	145,274.77	695,287.50	30%	817.90	696,105.41	(550,830.64)
2030	10		148,464.18	3,403.68	151,867.86	724,141.93	30%	1,021.10	725,163.04	(573,295.17)
2031	11		154,625.45	4,109.12	158,734.57	754,193.82	30%	1,232.74	755,426.56	(596,691.99)
2032	12		161,042.40	4,843.84	165,886.25	785,492.87	30%	1,453.15	786,946.02	(621,059.77)
2033	13		167,725.66	5,609.06	173,334.72	818,090.82	30%	1,682.72	819,773.54	(646,438.82)
2034	14		174,686.28	6,406.02	181,092.30	852,041.59	30%	1,921.81	853,963.40	(672,871.10)
2035	15		181,935.76	7,236.06	189,171.82	887,401.32	30%	2,170.82	889,572.14	(700,400.32)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		181,282.72	276.36	181,559.08	590,918.15	30%	82.91	591,001.05	(409,441.98)
2026	6	Jet Fuel	188,805.95	852.02	189,657.97	615,441.25	30%	255.61	615,696.85	(426,038.88)
2027	7	Rate based	196,641.40	1,451.57	198,092.97	640,982.06	30%	435.47	641,417.53	(443,324.56)
2028	8	on USA EIA	204,802.01	2,076.00	206,878.02	667,582.82	30%	622.80	668,205.62	(461,327.60)
2029	9	Jet Fuels	213,301.30	2,726.35	216,027.64	695,287.50	30%	817.90	696,105.41	(480,077.76)
2030	10	Projection	222,153.30	3,403.68	225,556.98	724,141.93	30%	1,021.10	725,163.04	(499,606.06)
2031	11		231,372.66	4,109.12	235,481.79	754,193.82	30%	1,232.74	755,426.56	(519,944.77)
2032	12		240,974.63	4,843.84	245,818.47	785,492.87	30%	1,453.15	786,946.02	(541,127.55)
2033	13		250,975.08	5,609.06	256,584.13	818,090.82	30%	1,682.72	819,773.54	(563,189.41)
2034	14		261,390.54	6,406.02	267,796.56	852,041.59	30%	1,921.81	853,963.40	(586,166.83)
2035	15		272,238.25	7,236.06	279,474.31	887,401.32	30%	2,170.82	889,572.14	(610,097.82)

กรณีฉากทัศน์สภาวะ COVID-19 ที่ 2 (ราคาคาร์บอนเครดิต 1,160 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 35.75 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		121,150.53	276.36	121,426.89	168,247.53	30%	82.91	168,330.44	(46,903.54)
2026	6		126,178.28	852.02	127,030.30	175,229.80	30%	255.61	175,485.41	(48,455.11)
2027	7	Jet Fuel	131,414.68	1,451.57	132,866.25	182,501.84	30%	435.47	182,937.31	(50,071.06)
2028	8	Flat Rate	136,868.39	2,076.00	138,944.39	190,075.66	30%	622.80	190,698.46	(51,754.08)
2029	9	Case	142,548.42	2,726.35	145,274.77	197,963.80	30%	817.90	198,781.71	(53,506.94)
2030	10		148,464.18	3,403.68	151,867.86	206,179.30	30%	1,021.10	207,200.40	(55,332.54)
2031	11		154,625.45	4,109.12	158,734.57	214,735.74	30%	1,232.74	215,968.48	(57,233.91)
2032	12		161,042.40	4,843.84	165,886.25	223,647.27	30%	1,453.15	225,100.43	(59,214.18)
2033	13		167,725.66	5,609.06	173,334.72	232,928.64	30%	1,682.72	234,611.35	(61,276.64)
2034	14		174,686.28	6,406.02	181,092.30	242,595.18	30%	1,921.81	244,516.98	(63,424.68)
2035	15		181,935.76	7,236.06	189,171.82	252,662.87	30%	2,170.82	254,833.69	(65,661.87)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		181,282.72	276.36	181,559.08	168,247.53	30%	82.91	168,330.44	13,228.64
2026	6	Jet Fuel	188,805.95	852.02	189,657.97	175,229.80	30%	255.61	175,485.41	14,172.56
2027	7	Rate based	196,641.40	1,451.57	198,092.97	182,501.84	30%	435.47	182,937.31	15,155.66
2028	8	on USA EIA	204,802.01	2,076.00	206,878.02	190,075.66	30%	622.80	190,698.46	16,179.55
2029	9	Jet Fuels	213,301.30	2,726.35	216,027.64	197,963.80	30%	817.90	198,781.71	17,245.94
2030	10	Projection	222,153.30	3,403.68	225,556.98	206,179.30	30%	1,021.10	207,200.40	18,356.58
2031	11		231,372.66	4,109.12	235,481.79	214,735.74	30%	1,232.74	215,968.48	19,513.31
2032	12		240,974.63	4,843.84	245,818.47	223,647.27	30%	1,453.15	225,100.43	20,718.05
2033	13		250,975.08	5,609.06	256,584.13	232,928.64	30%	1,682.72	234,611.35	21,972.78
2034	14		261,390.54	6,406.02	267,796.56	242,595.18	30%	1,921.81	244,516.98	23,279.58
2035	15		272,238.25	7,236.06	279,474.31	252,662.87	30%	2,170.82	254,833.69	24,640.62

กรณีฉากทัศน์สภาวะ COVID-19 ที่ 3 (ราคาคาร์บอนเครดิต 11.60 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 125.55 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		121,150.53	2.76	121,153.29	590,918.15	30%	0.83	590,918.97	(469,765.68)
2026	6		126,178.28	8.52	126,186.80	615,441.25	30%	2.56	615,443.80	(489,257.01)
2027	7	Jet Fuel	131,414.68	14.52	131,429.19	640,982.06	30%	4.35	640,986.41	(509,557.22)
2028	8	Flat Rate	136,868.39	20.76	136,889.15	667,582.82	30%	6.23	667,589.04	(530,699.90)
2029	9	Case	142,548.42	27.26	142,575.69	695,287.50	30%	8.18	695,295.68	(552,719.99)
2030	10		148,464.18	34.04	148,498.22	724,141.93	30%	10.21	724,152.14	(575,653.93)
2031	11		154,625.45	41.09	154,666.54	754,193.82	30%	12.33	754,206.15	(599,539.61)
2032	12		161,042.40	48.44	161,090.84	785,492.87	30%	14.53	785,507.40	(624,416.56)
2033	13		167,725.66	56.09	167,781.75	818,090.82	30%	16.83	818,107.65	(650,325.90)
2034	14		174,686.28	64.06	174,750.34	852,041.59	30%	19.22	852,060.81	(677,310.47)
2035	15		181,935.76	72.36	182,008.12	887,401.32	30%	21.71	887,423.02	(705,414.91)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		181,282.72	2.76	181,285.48	590,918.15	30%	0.83	590,918.97	(409,633.49)
2026	6	Jet Fuel	188,805.95	8.52	188,814.47	615,441.25	30%	2.56	615,443.80	(426,629.33)
2027	7	Rate based	196,641.40	14.52	196,655.91	640,982.06	30%	4.35	640,986.41	(444,330.50)
2028	8	on USA EIA	204,802.01	20.76	204,822.77	667,582.82	30%	6.23	667,589.04	(462,766.27)
2029	9	Jet Fuels	213,301.30	27.26	213,328.56	695,287.50	30%	8.18	695,295.68	(481,967.12)
2030	10	Projection	222,153.30	34.04	222,187.34	724,141.93	30%	10.21	724,152.14	(501,964.81)
2031	11		231,372.66	41.09	231,413.75	754,193.82	30%	12.33	754,206.15	(522,792.40)
2032	12		240,974.63	48.44	241,023.07	785,492.87	30%	14.53	785,507.40	(544,484.33)
2033	13		250,975.08	56.09	251,031.17	818,090.82	30%	16.83	818,107.65	(567,076.48)
2034	14		261,390.54	64.06	261,454.60	852,041.59	30%	19.22	852,060.81	(590,606.21)
2035	15		272,238.25	72.36	272,310.61	887,401.32	30%	21.71	887,423.02	(615,112.41)

กรณีฉากทัศน์สภาวะ COVID-19 ที่ 4 (ราคาคาร์บอนเครดิต 11.60 บาท/ตัน CO_2e , ต้นทุนเทคโนโลยี 35.75 บาท/ลิตร)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		121,150.53	2.76	121,153.29	168,247.53	30%	0.83	168,248.36	(47,095.06)
2026	6		126,178.28	8.52	126,186.80	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	(49,045.56)
2027	7	Jet Fuel	131,414.68	14.52	131,429.19	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	(51,077.00)
2028	8	Flat Rate	136,868.39	20.76	136,889.15	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	(53,192.75)
2029	9	Case	142,548.42	27.26	142,575.69	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	(55,396.30)
2030	10		148,464.18	34.04	148,498.22	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	(57,691.29)
2031	11		154,625.45	41.09	154,666.54	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	(60,081.53)
2032	12		161,042.40	48.44	161,090.84	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	(62,570.97)
2033	13		167,725.66	56.09	167,781.75	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	(65,163.71)
2034	14		174,686.28	64.06	174,750.34	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	(67,864.06)
2035	15		181,935.76	72.36	182,008.12	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	(70,676.47)

Year	No.		Jet Fuel Total Cost (Mbaht)	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM (Mbaht)	Final Technology Cost (MBaht)	Biojet Reduction Potential	Total Carbon Price (Mbaht)	SUM	Difference (Old - New) (Mbaht)
2021										
2022										
2023										
2024										
2025	5		181,282.72	2.76	181,285.48	168,247.53	30%	0.83	168,248.36	13,037.12
2026	6	Jet Fuel	188,805.95	8.52	188,814.47	175,229.80	30%	2.56	175,232.36	13,582.11
2027	7	Rate based	196,641.40	14.52	196,655.91	182,501.84	30%	4.35	182,506.19	14,149.72
2028	8	on USA EIA	204,802.01	20.76	204,822.77	190,075.66	30%	6.23	190,081.89	14,740.88
2029	9	Jet Fuels	213,301.30	27.26	213,328.56	197,963.80	30%	8.18	197,971.98	15,356.58
2030	10	Projection	222,153.30	34.04	222,187.34	206,179.30	30%	10.21	206,189.51	15,997.83
2031	11		231,372.66	41.09	231,413.75	214,735.74	30%	12.33	214,748.07	16,665.69
2032	12		240,974.63	48.44	241,023.07	223,647.27	30%	14.53	223,661.81	17,361.26
2033	13		250,975.08	56.09	251,031.17	232,928.64	30%	16.83	232,945.46	18,085.70
2034	14		261,390.54	64.06	261,454.60	242,595.18	30%	19.22	242,614.39	18,840.21
2035	15		272,238.25	72.36	272,310.61	252,662.87	30%	21.71	252,684.58	19,626.03

ภาคผนวก ง ศักยภาพเชิงเทคนิคของเอทานอล

กรณีฉากทัศน์ N1

Clear/Min		Demand			Supply			Demand-Supply
Year	Order	Total Ethanol Consumption (Mlitres)	Total Ethanol for Biojet (ATJ Technology) (Mlitres)	SUM	Ethanol Production (Mlitres)	Producer Potential for Ethanol Producing (Mlitres)	SUM	Million Litres
2018	1	1,532.15	-	1,532.15	1,466.75	980.65	2,447.40	- 915.25
2019	2	1,615.31	-	1,615.31	1,619.42	973.54	2,592.96	- 977.65
2020	3	1,461.71	-	1,461.71	1,477.67	1,067.79	2,545.46	- 1,083.76
2021	4	1,410.65	1,470.61	2,881.26	1,358.75	1,067.79	2,426.54	454.72
2022	5	1,628.29	1,531.64	3,159.93	1,359.78	1,067.79	2,427.57	732.36
2023	6	1,759.72	1,595.20	3,354.93	1,571.09	1,067.79	2,638.88	716.05
2024	7	1,803.70	1,661.40	3,465.10	1,782.39	1,067.79	2,850.18	614.92
2025	8	1,852.37	1,730.35	3,582.72	1,993.70	1,067.79	3,061.49	521.23
2026	9	1,905.21	1,802.16	3,707.37	2,205.00	1,067.79	3,272.79	434.58
2027	10	1,967.93	1,876.95	3,844.88	2,416.31	1,067.79	3,484.10	360.78
2028	11	2,022.64	1,954.84	3,977.48	2,627.61	1,067.79	3,695.40	282.08
2029	12	2,097.46	2,035.97	4,133.43	2,838.92	1,067.79	3,906.71	226.72
2030	13	2,175.39	2,120.46	4,295.85	3,050.22	1,067.79	4,118.02	177.84
2031	14	2,260.33	2,208.46	4,468.79	3,261.53	1,067.79	4,329.32	139.47
2032	15	2,330.15	2,300.11	4,630.27	3,472.84	1,067.79	4,540.63	89.64
2033	16	2,401.52	2,395.57	4,797.09	3,684.14	1,067.79	4,751.93	45.16
2034	17	2,467.84	2,494.98	4,962.82	3,895.45	1,067.79	4,963.24	- 0.41
2035	18	2,530.00	2,598.53	5,128.53	4,106.75	1,067.79	5,174.54	- 46.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กรณีฉากทัศน์ N2

Cloud/Min		Demand			Supply			Demand-Supply
Year	Order	Total Ethanol Consumption (Mlitres)	Total Ethanol for Biojet (ATJ Technology) (Mlitres)	SUM	Ethanol Production (Mlitres)	Producer Potential for Ethanol Producing (Mlitres)	SUM	Million Litres
2018	1	1,532.15	-	1,532.15	1,466.75	980.65	2,447.40	- 915.25
2019	2	1,615.31	-	1,615.31	1,619.42	973.54	2,592.96	- 977.65
2020	3	1,461.71	-	1,461.71	1,477.67	1,067.79	2,545.46	- 1,083.76
2021	4	1,409.39	1,470.61	2,880.00	1,358.75	1,067.79	2,426.54	453.46
2022	5	1,623.16	1,531.64	3,154.80	1,359.78	1,067.79	2,427.57	727.23
2023	6	1,815.59	1,595.20	3,410.79	1,571.09	1,067.79	2,638.88	771.92
2024	7	1,869.12	1,661.40	3,530.52	1,782.39	1,067.79	2,850.18	680.34
2025	8	1,926.67	1,730.35	3,657.03	1,993.70	1,067.79	3,061.49	595.54
2026	9	1,984.22	1,802.16	3,786.38	2,205.00	1,067.79	3,272.79	513.59
2027	10	2,046.50	1,876.95	3,923.45	2,416.31	1,067.79	3,484.10	439.35
2028	11	2,097.47	1,954.84	4,052.31	2,627.61	1,067.79	3,695.40	356.91
2029	12	2,165.87	2,035.97	4,201.84	2,838.92	1,067.79	3,906.71	295.13
2030	13	2,234.26	2,120.46	4,354.73	3,050.22	1,067.79	4,118.02	236.71
2031	14	2,309.39	2,208.46	4,517.85	3,261.53	1,067.79	4,329.32	188.53
2032	15	2,370.75	2,300.11	4,670.87	3,472.84	1,067.79	4,540.63	130.24
2033	16	2,438.65	2,395.57	4,834.22	3,684.14	1,067.79	4,751.93	82.29
2034	17	2,506.32	2,494.98	5,001.31	3,895.45	1,067.79	4,963.24	38.07
2035	18	2,578.31	2,598.53	5,176.83	4,106.75	1,067.79	5,174.54	2.29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรณีฉากทัศน์ C1

Clear/Min		Demand			Supply			Demand-Supply
Year	Order	Total Ethanol Consumption (Mlitres)	Total Ethanol for Biojet (ATJ Technology) (Mlitres)	SUM	Ethanol Production (Mlitres)	Producer Potential for Ethanol Producing (Mlitres)	SUM	Million Litres
2018	1	1,532.15	-	1,532.15	1,466.75	980.65	2,447.40	- 915.25
2019	2	1,615.31	-	1,615.31	1,619.42	973.54	2,592.96	- 977.65
2020	3	1,461.71	-	1,461.71	1,477.67	1,067.79	2,545.46	- 1,083.76
2021	4	1,410.65	-	1,410.65	1,358.75	1,067.79	2,426.54	- 1,015.89
2022	5	1,628.29	-	1,628.29	1,359.78	1,067.79	2,427.57	- 799.28
2023	6	1,759.72	-	1,759.72	1,571.09	1,067.79	2,638.88	- 879.15
2024	7	1,803.70	-	1,803.70	1,782.39	1,067.79	2,850.18	- 1,046.48
2025	8	1,852.37	1,412.01	3,264.38	1,993.70	1,067.79	3,061.49	202.89
2026	9	1,905.21	1,470.61	3,375.82	2,205.00	1,067.79	3,272.79	103.03
2027	10	1,967.93	1,531.64	3,499.57	2,416.31	1,067.79	3,484.10	15.47
2028	11	2,022.64	1,595.20	3,617.84	2,627.61	1,067.79	3,695.40	- 77.56
2029	12	2,097.46	1,661.40	3,758.86	2,838.92	1,067.79	3,906.71	- 147.85
2030	13	2,175.39	1,730.35	3,905.74	3,050.22	1,067.79	4,118.02	- 212.27
2031	14	2,260.33	1,802.16	4,062.49	3,261.53	1,067.79	4,329.32	- 266.83
2032	15	2,330.15	1,876.95	4,207.11	3,472.84	1,067.79	4,540.63	- 333.52
2033	16	2,401.52	1,954.84	4,356.36	3,684.14	1,067.79	4,751.93	- 395.57
2034	17	2,467.84	2,035.97	4,503.81	3,895.45	1,067.79	4,963.24	- 459.43
2035	18	2,530.00	2,120.46	4,650.47	4,106.75	1,067.79	5,174.54	- 524.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรณีฉากทัศน์ C2

Cloud/Min		Demand			Supply			Demand-Supply
Year	Order	Total Ethanol Consumption (Mlitres)	Total Ethanol for Biojet (ATJ Technology) (Mlitres)	SUM	Ethanol Production (Mlitres)	Producer Potential for Ethanol Producing (Mlitres)	SUM	Million Litres
2018	1	1,532.15	-	1,532.15	1,466.75	980.65	2,447.40	- 915.25
2019	2	1,615.31	-	1,615.31	1,619.42	973.54	2,592.96	- 977.65
2020	3	1,461.71	-	1,461.71	1,477.67	1,067.79	2,545.46	- 1,083.76
2021	4	1,409.39	-	1,409.39	1,358.75	1,480.31	2,839.06	- 1,429.67
2022	5	1,623.16	-	1,623.16	1,359.78	1,553.77	2,913.55	- 1,290.39
2023	6	1,815.59	-	1,815.59	1,571.09	1,624.41	3,195.49	- 1,379.90
2024	7	1,869.12	-	1,869.12	1,782.39	1,695.04	3,477.43	- 1,608.32
2025	8	1,926.67	1,412.01	3,338.68	1,993.70	1,765.68	3,759.37	- 420.69
2026	9	1,984.22	1,470.61	3,454.83	2,205.00	1,836.31	4,041.31	- 586.48
2027	10	2,046.50	1,531.64	3,578.14	2,416.31	1,906.95	4,323.25	- 745.12
2028	11	2,097.47	1,595.20	3,692.67	2,627.61	1,977.58	4,605.19	- 912.52
2029	12	2,165.87	1,661.40	3,827.27	2,838.92	2,048.22	4,887.14	- 1,059.86
2030	13	2,234.26	1,730.35	3,964.61	3,050.22	2,118.85	5,169.08	- 1,204.46
2031	14	2,309.39	1,802.16	4,111.55	3,261.53	2,189.49	5,451.02	- 1,339.46
2032	15	2,370.75	1,876.95	4,247.70	3,472.84	2,260.12	5,732.96	- 1,485.25
2033	16	2,438.65	1,954.84	4,393.50	3,684.14	2,330.76	6,014.90	- 1,621.40
2034	17	2,506.32	2,035.97	4,542.29	3,895.45	2,401.39	6,296.84	- 1,754.54
2035	18	2,578.31	2,120.46	4,698.77	4,106.75	2,472.03	6,578.78	- 1,880.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Tadpong Ratanasoponchai
วัน เดือน ปี เกิด	19 June 1992
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	Faculty of Engineering, Chulalongkorn University (B.Eng.)
ที่อยู่ปัจจุบัน	18, Somdejchaopraya 6, Somdejchaopraya Rd., Khlong San District, Bangkok, 10600.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY