

# กรอบข้อบังคับสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของเที่ยวบินภายในประเทศในประเทศไทย

## A Regulatory Framework for Carbon Dioxide Emissions in Domestic Flights in Thailand

พัฐวิฑูรย์ ถือทอง<sup>1</sup>, วราภรณ์ เต็มแก้ว<sup>2</sup> และ อภิรดา จิตจริง<sup>3</sup>

Pattawat Tuethong<sup>1</sup>, Waraporn Temkaew<sup>2</sup> and Apirada Jitjing<sup>3</sup>

หลักสูตรการจัดการมหาบัณฑิต สาขาการจัดการการบิน สถาบันการบินพลเรือน

Master of Management in Aviation Management, Civil Aviation Training Center, Thailand, Thailand

Corresponding Author, Email: pattawatpep01@gmail.com<sup>1</sup>

Received: 2025-06-16; Revised: 2025-10-29; Accepted: 2025-10-31

### บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาประเภทของมาตรการ (เช่น มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ และมาตรการสนับสนุน) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบหลักการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศระหว่างประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา 2) เพื่อเสนอแนะกรอบข้อบังคับเชิงนโยบายและมาตรการที่บูรณาการ (Policy and Integrated Measures) ที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ โดยมีผู้ให้ข้อมูลสำคัญ คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านการกำกับดูแลกิจการการบินพลเรือน ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมการบิน และตัวแทนผู้ดำเนินการเดินอากาศที่มีเที่ยวบินประจำเส้นทางการบินภายในประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือแบบสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้เชี่ยวชาญรวมทั้งสิ้นจำนวน 9 คน โดยวิเคราะห์ผลการสัมภาษณ์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ควบคู่กับการวิเคราะห์เปรียบเทียบหลักการกำกับดูแลของประเทศไทยกับนานาชาติ เพื่อสะท้อนมุมมองต่าง ๆ ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ผลการวิจัยเชิงเปรียบเทียบพบว่า ช่องว่างสำคัญ คือ ประเทศไทยยังขาดกรอบข้อบังคับด้านการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศโดยเฉพาะ ทั้งในระดับองค์กร หลักเกณฑ์ และมาตรการภาคบังคับและสนับสนุน ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการวางกรอบข้อบังคับได้ดังนี้ 1) ควรกำหนดนโยบายระดับชาติและกลไกการบูรณาการระหว่างหน่วยงาน 2) กำหนดมาตรการทางภาษีหรือกลไกทางการตลาดที่เป็นภาคบังคับและภาคสนับสนุน 3) ส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) และ 4) ควรพัฒนาระบบการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ (MRV) กลางที่แม่นยำ

**คำสำคัญ:** การกำกับดูแล, กรอบข้อบังคับ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน, เที่ยวบินภายในประเทศ

### Abstract

This research aims to 1) study, analyze, and compare the regulatory principles (Economic and supportive measures) governing carbon dioxide emissions from domestic flights between aviation regulatory authorities in Thailand, United Kingdom, United State Of America and 2) propose a regulatory framework of policy and integrated measures for carbon dioxide emissions from domestic flights in Thailand. Key informants include nine individuals comprising

civil aviation regulatory experts, aviation environmental specialists, and representatives from domestic air operators. In-depth interviews were employed as the primary research instrument, and the data were analyzed using comparative content analysis and thematic analysis of the interview findings.

The research indicates that Thailand currently lacks a designated authority, specific regulatory criteria, and both mandatory and supportive measures tailored to the regulation of carbon dioxide emissions from domestic flights. Based on the findings, four key recommendations are proposed for developing a regulatory framework: 1) Establish a clear national policy on aviation environmental management, implemented through inter-agency coordination with clearly defined roles and responsibilities under an appropriate legal framework; 2) Introduce mandatory fiscal instruments or market-based mechanisms to incentivize air operators to adopt more environmentally friendly technologies; 3) Promote the use of Sustainable Aviation Fuel (SAF) by supporting certified local production and offering incentives to encourage airline adoption; and 4) Develop a centralized Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) system to ensure accurate and consistent emissions data reporting.

**Keywords:** Carbon Dioxide, Domestic flight, Framework, Regulatory, Sustainable Aviation Fuel

## บทนำ

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 หลายประเทศทั่วโลกได้รับผลกระทบเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะด้านสภาพภูมิอากาศที่มีความเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด อันเป็นผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ โดยตามรายงานภูมิอากาศโลกประจำปี พ.ศ. 2566 (Annual 2023 Global Climate Report) ของศูนย์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (National Centers for Environmental Information; NCEI) แสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ. 2566 เป็นปีที่มีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงจากค่ากลางมากที่สุดนับตั้งแต่มีการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1.18 องศาเซลเซียส อันเป็นสภาวะปัญหาที่องค์การสหประชาชาติได้นิยามไว้ว่า ปัญหาสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอากาศอันเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ที่ส่งผลให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือไปจากความผันแปรตามธรรมชาติ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2566) โดยกิจกรรมของมนุษย์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือกิจกรรมที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) ที่รุนแรงและรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น ซึ่งเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าภาวะโลกเดือด (Global Boiling) โดยชนิดของก๊าซเรือนกระจกหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาข้างต้นคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยอุตสาหกรรมการบินได้ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณร้อยละ 2 จากกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุกภาคส่วนทั่วโลก (IEA50, 2023) ทั้งนี้ในบริบทของภาคการบิน แนวคิดการกำกับดูแลกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ก่อให้เกิดผลกระทบภายนอกเชิงลบ (Negative Externality) ต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้างนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งหนึ่งในหลักการที่สำคัญที่ควรนำมาใช้ในการออกแบบนโยบายคือ ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย (Polluter Pays Principle) อันเป็นการให้ผู้ประกอบการรับผิดชอบผลกระทบที่ตนเองสร้างขึ้น โดยผ่านกลไกทางเศรษฐศาสตร์ของประเทศ (OECD, 2021)

ในปี พ.ศ. 2559 องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization; ICAO) ได้ออกข้อกำหนดมาตรการกำกับดูแลทางด้านสิ่งแวดล้อมของการขนส่งทางอากาศ ซึ่งเป็นมาตรการระดับโลกด้านการใช้กลไกตลาด (Global Market-Based Measure; GMBM) โดยมี โครงการการชดเชยและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจการเดินอากาศ (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation; CORSIA) ซึ่งมาตรการดังกล่าวจะมีผลบังคับใช้กับรัฐภาคีตั้งแต่วันที่ พ.ศ. 2578 โดยผู้ดำเนินการเดินอากาศหรือสายการบินจะต้องทำการชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon offset) ในส่วนที่เกินกว่าค่ากรณีฐาน (Baseline) ต่อไป โดยตั้งแต่วันที่ พ.ศ. 2564 สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผู้ดำเนินการเดินอากาศสัญชาติไทย ผ่านข้อบังคับของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 23 ว่าด้วยการตรวจวัดและการรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจการการบิน เพื่อให้สอดคล้องไปกับภาคผนวกที่ 16 เล่มที่ 4 การชดเชยและการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจการเดินอากาศ (Annex 16 Volume 4) เพื่อกำหนดให้ผู้ได้รับใบรับรองผู้ดำเนินการเดินอากาศ ต้องรายงานข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนด ให้กับสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เพื่อดำเนินการรวบรวมข้อมูลส่งให้กับองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศต่อไป

จากมาตรการข้างต้นที่สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยต้องดำเนินการรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อส่งให้กับองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศนั้น เป็นเพียงการส่งข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินระหว่างประเทศเท่านั้น มิได้รวมการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศ ซึ่งจากรายงานสถิติการขนส่งทางอากาศประจำปี พ.ศ. 2566 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณเที่ยวบินภายในประเทศคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55.22 (กองเศรษฐกิจการบิน ฝ่ายพัฒนาและส่งเสริมกิจการการบินพลเรือน, 2566) การกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศก็มีความสำคัญไม่ต่างกัน ซึ่งหากการกำกับดูแลไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลให้ประเทศไทยไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ได้ ดังที่ได้ประกาศเป้าหมายสำคัญต่อที่ประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 26 (สำนักงานสถานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2564)

โดยหากพิจารณาตัวอย่างการให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานกำกับดูแลกิจการการบินในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหราชอาณาจักร ที่มีมาตรการการซื้อขายคาร์บอนเครดิตผ่านระบบการซื้อขายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแห่งสหราชอาณาจักร (United Kingdom Emission Trading Scheme; UK ETS) ที่มีผลบังคับใช้กับผู้ดำเนินการเดินอากาศที่มีเที่ยวบินภายในสหราชอาณาจักร หรือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีพระราชบัญญัติอากาศสะอาด พ.ศ. 2513 (The Clean Air Act of 1970) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศ (คัคนางค์ เอมราช, 2560) สำหรับประเทศไทย การกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบให้กับสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ไม่ได้ปรากฏหัวข้อหรือกรอบอำนาจหน้าที่ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง และยังไม่มีกรอบอำนาจในการกำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อมการบินสำหรับเที่ยวบินภายในประเทศโดยเฉพาะ (Champeecharoensuk, A., Dhakal, S., & Chollacoop, N. (2023) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว สะท้อนถึงปรัชญาการกำกับดูแลในแต่ละประเทศ เช่น แนวทางภาคบังคับที่เน้นการบังคับใช้มาตรการจากภาครัฐ หรือแนวทางภาคสมัครใจที่เน้นความร่วมมือระหว่างรัฐกับเอกชน อย่างไรก็ตามการกำกับดูแลที่มีประสิทธิภาพควรใช้แนวทางแบบผสม (Hybrid Approach) ที่ผสมผสานทั้งกลไกบังคับและการจูงใจ ซึ่งการให้ความสำคัญในการกำกับดูแลหรือการกำหนดอำนาจ

หน้าที่ให้กับองค์กรที่เหมาะสม เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการบริหารสิ่งแวดล้อมของผู้ประกอบการกิจการบินต่อไป (Maji, I. K., Saari, M. Y., & Muhammad, S. (2024)

จากเหตุผลที่กล่าวมาในข้างต้น ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญในการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ เพื่อให้เป็นไปตามนโยบายขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ และการกำกับดูแลของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เพื่อส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมการบินสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบหลักการ ข้อกำหนดในการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ ระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศสหราชอาณาจักร และประเทศไทย เพื่อให้ได้กรอบข้อบังคับสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศไทย

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประเภทของมาตรการ (เช่น มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ และมาตรการสนับสนุน) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบหลักการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา

2. เพื่อเสนอแนะกรอบข้อบังคับเชิงนโยบายและมาตรการที่บูรณาการ (Policy and Integrated Measures) ที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ

### การทบทวนวรรณกรรม

#### 1. แนวคิดเรื่องสถานะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

องค์การสหประชาชาติ (United Nation; UN) ได้ให้ความหมายของคำว่าสถานะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและรูปแบบสภาพอากาศในระยะยาว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นได้ทั้งแบบตามธรรมชาติ เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ หรือ การปะทุของภูเขาไฟ อย่างไรก็ตาม การอยู่ของมนุษย์ในยุคอุตสาหกรรมได้นำไปสู่การเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและรุนแรง โดยปัจจัยหลักคือการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ก่อให้เกิดการกักเก็บความร้อน ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำแข็งขั้วโลกละลาย ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ฤดูกาลเปลี่ยนแปลงอย่างผิดปกติ และเกิดปรากฏการณ์โดมความร้อนในเมือง (กิตติวรรณ ชันติไตรรัตน์, 2558)

โดยก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซในชั้นบรรยากาศที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านมายังพื้นผิวโลก แต่สามารถดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกไว้ ทำให้เกิดการกักเก็บความร้อน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งหากมีปริมาณเหมาะสม ก๊าซเหล่านี้จะช่วยรักษาอุณหภูมิโลกให้อยู่ในระดับสมดุล อย่างไรก็ตาม เมื่อมนุษย์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ สู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก จะทำให้โลกร้อนขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ก๊าซเรือนกระจกบางชนิดยังมีคุณสมบัติทำลายชั้นโอโซน ซึ่งทำหน้าที่กรองรังสีอันตรายจากดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีสัดส่วนสูงที่สุด และเป็นตัวการสำคัญที่เร่งให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (สุชาสินี เบนจโรจน์นิธิ และ ภูริรักษ์ รักรักษาศาสตร์, 2566)

ภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติ โดยหลักแล้วเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งส่งผล



กระทบต่อธรรมชาติในวงกว้าง โดยพบว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นปัจจัยหลักของปรากฏการณ์นี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์เกิดในอัตราที่รวดเร็วไปสู่ภาวะโลกเดือด (Global Boiling) ก่อให้เกิดวิกฤติสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ สังคม และเศรษฐกิจ (UN News, 2023)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) เป็นก๊าซที่เป็นองค์ประกอบในบรรยากาศ เป็นก๊าซที่ไม่มีสีสามารถละลายน้ำได้และก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกที่มีฤทธิ์กัดกร่อน (IPCC, 2023) โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอากาศยาน เป็นผลจากการที่สารประกอบคาร์บอนในเชื้อเพลิงผสมกับก๊าซออกซิเจนในอากาศกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเชื้อเพลิงอากาศยานชนิด JET A และ JET A-1 จำนวน 1 กิโลกรัม จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ราว 3.16 กิโลกรัม สู่อากาศ

## 2. แนวคิดเรื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศยานและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

เครื่องยนต์อากาศยานที่ใช้ในการบินพลเรือนส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์แบบกังหันก๊าซ (Gas Turbine Engine) โดยกลไกการทำงานของเครื่องยนต์อากาศยานเริ่มจากการที่เชื้อเพลิงอากาศยาน จะถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) ผสมกับอากาศที่ผ่านเข้ามาจากชุดอัดอากาศ (Compressor) ซึ่งจะสร้างแรงดันสูง พร้อมกับความร้อนที่สูงขึ้น ประกอบกับกระบวนการจุดเชื้อเพลิง (Igniting Fuel) เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอย่างรวดเร็ว เกิดก๊าซภายในห้องเผาไหม้ และ จะขยายตัวออกมาเป็นแรงผลักดันให้กับอากาศยาน โดยกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์อากาศยาน จะสร้างก๊าซเสียและอนุภาคออกมาหลายชนิด ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไอน้ำ (H<sub>2</sub>O) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO<sub>x</sub>) และอนุภาคต่าง ๆ (Particles) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเภทเขม่า (Wuebbles, D., Gupta, M., & Ko, M. (2007) โดยเครื่องยนต์อากาศยานจะสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสัดส่วนร้อยละ 70 ไอน้ำ ร้อยละ 30 และก๊าซเสียอื่น ๆ อยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของปริมาณไอเสียที่ออกมาทั้งหมด

## 3. เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน

สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (International Air Transport Association; IATA) ได้ให้คำจำกัดความของเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (Sustainable Aviation Fuel; SAF) คือเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงอากาศยานชนิดดั้งเดิม เช่น Jet A หรือ Jet A-1 ได้ โดยสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ยั่งยืนหลายประเภท เช่น ไขมันใช้แล้ว (Used cooking oil) น้ำมันพืช จารบี ขยะมูลฝอยทางชีวภาพ เศษวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร โดยแหล่งวัตถุดิบดังกล่าวนับเป็นทรัพยากรหมุนเวียนที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับที่รุนแรง ทั้งนี้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืนมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิง (Life cycle) ได้สูงถึงเฉลี่ยร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลแบบดั้งเดิม ซึ่งศักยภาพอาจผันแปรไปตามชนิดของวัตถุดิบ เทคโนโลยีการผลิต และการคำนวณวัฏจักรชีวิต นอกจากนี้ต้นทุนการผลิตที่ยังสูงกับอุปทานที่มีจำกัด สะท้อนถึงความจำเป็นของนโยบายสนับสนุนจากภาครัฐเพื่อให้ศักยภาพดังกล่าวเกิดขึ้นได้จริงในเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

โดยเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืนสามารถนำมาใช้ร่วมกับระบบเครื่องยนต์อากาศยานและโครงสร้างพื้นฐานของสนามบินที่มีอยู่เดิมได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีการดัดแปลงเพิ่มเติมมากนัก ทำให้สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ในระยะสั้นและกลาง ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการบิน ซึ่งเป็นหนึ่งในภาคขนส่งที่มีการปล่อยมลพิษสูงและมีตัวเลือกในการลดคาร์บอนที่จำกัด (Lee et al., 2021)



#### 4. ระบบการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ

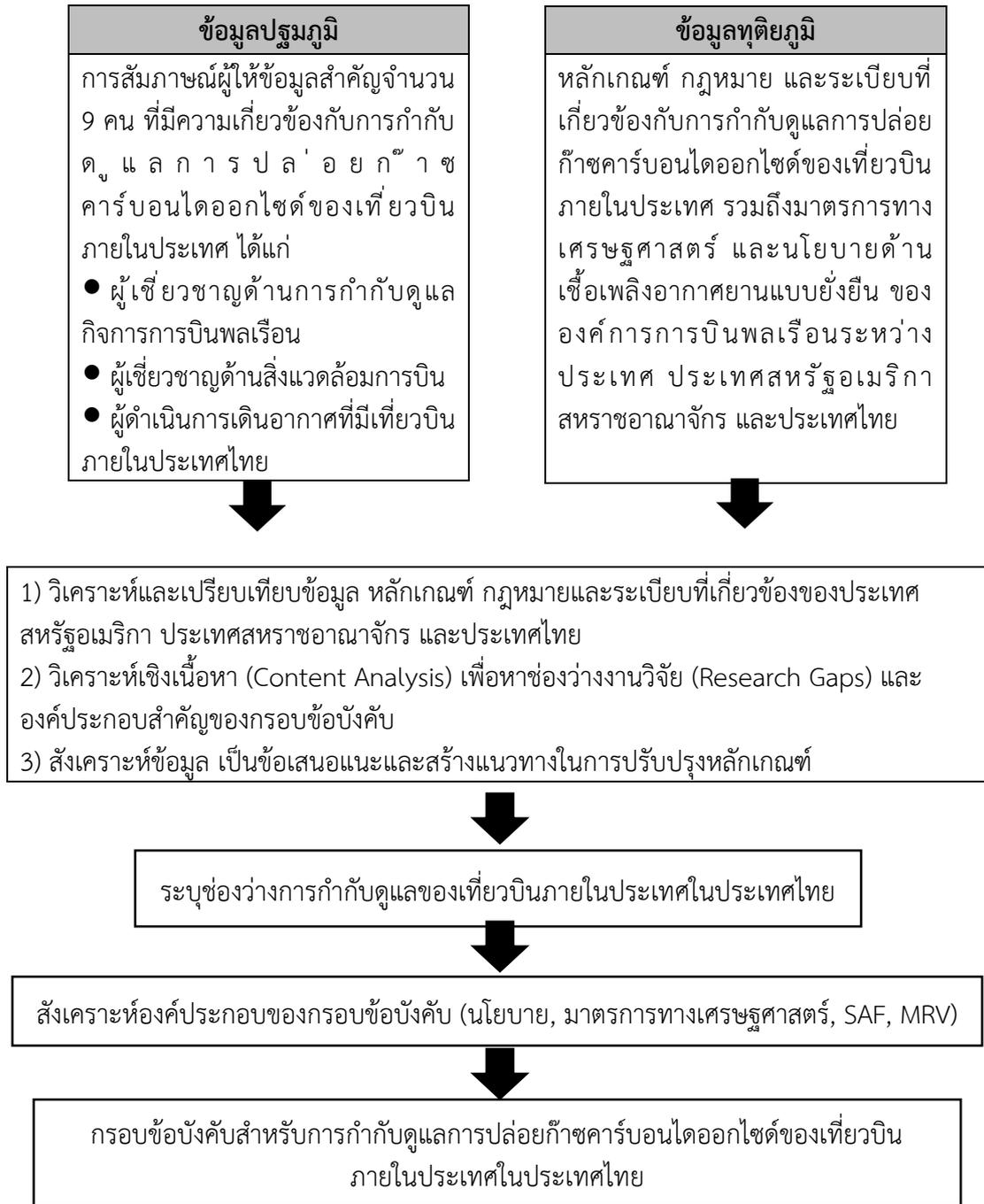
องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) ได้ให้ความหมายของระบบการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ ว่าหมายถึง ระบบที่ใช้ในการติดตาม (Monitoring) การรายงาน (Reporting) และการทวนสอบ (Verification) ของข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในภาคการบินพลเรือนระหว่างประเทศ โดยเป็นกลไกสำคัญในการสร้างความโปร่งใส ความน่าเชื่อถือ และความสามารถในการตรวจสอบข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นพื้นฐานในการกำหนดนโยบาย การจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อม และการดำเนินมาตรการลดการปล่อยคาร์บอนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบดังกล่าวมีการดำเนินการใช้ภายใต้กรอบความร่วมมือระหว่างประเทศ ผ่านโครงการ CORSIA ซึ่งเป็นมาตรการชดเชยและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบินระหว่างประเทศ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2016 โดยรัฐภาคีต้องปฏิบัติตามแนวทางการจัดเก็บข้อมูล การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมการบิน และรายงานข้อมูลดังกล่าวให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยต้องมีการทวนสอบจากบุคคลที่สามที่ได้รับการรับรอง ทั้งนี้โครงการ CORSIA ยังเป็นกลไกทางเศรษฐศาสตร์ที่สะท้อนหลักการ “ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle) อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ผู้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อค่าใช้จ่ายในการป้องกัน แก้ไข หรือชดเชย เพื่อให้ต้นทุนสิ่งแวดล้อมถูกนำมาสะท้อนในกิจกรรมทางเศรษฐกิจอย่างเหมาะสม (ICAO, 2022)

#### 5. การสร้างความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม

โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UN Environment Programme; UNEP) ได้ให้นิยามของคำว่า การสร้างความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Awareness) หมายถึง กระบวนการส่งเสริมให้ประชาชน องค์กร หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มีความเข้าใจ มีความรู้สึกถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อม และตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอุตสาหกรรมการบิน ความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมก็มีความสำคัญไม่ต่างกัน เนื่องจากเป็นภาคการขนส่งที่มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหมือนกัน โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอากาศยาน (ICAO, 2022) ความตระหนักรู้ที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การสนับสนุนมาตรการลดผลกระทบ เช่น การใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้โดยสาร และการลงทุนในเทคโนโลยีสะอาดจากภาคธุรกิจ

**กรอบแนวคิดการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

**วิธีดำเนินการวิจัย**

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informant) สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้การเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเน้นคุณสมบัติและความหลากหลายของบทบาท (Expertise and Role Variation) โดยเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานหรือการบริหาร ที่มีความเกี่ยวข้องกับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศยาน จำนวนรวมทั้งสิ้น 9 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้



- 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการกำกับดูแลกิจการการบินพลเรือน จำนวน 2 คน
- 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมการบิน จำนวน 2 คน
- 3) ตัวแทนผู้ดำเนินการเดินอากาศ ทั้งสายการบินให้บริการเต็มรูปแบบ (Full Service) และสายการบินต้นทุนต่ำ (Low Cost) ที่มีเที่ยวบินประจำเส้นทางการบินภายในประเทศไทยจำนวน 5 คน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย (Maximum Variation) ในเชิงการปฏิบัติการและกลยุทธ์การตลาด อันจำเป็นต่อการออกแบบมาตรการที่สามารถใช้ได้กับทุกสายการบิน

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้การเปรียบเทียบเชิงต่อเนื่อง (Constant Comparison) ในระหว่างการวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญทั้ง 9 คน และเมื่อข้อมูลไม่ได้ก่อให้เกิดแนวคิดใหม่ จึงยืนยันความอิ่มตัวของข้อมูล (Data Saturation) ทำให้จำนวนผู้ให้ข้อมูลสำคัญดังกล่าวเพียงพอต่อการสร้างข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

### เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยสำหรับการวิจัยนี้ คือแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structure Interview) ซึ่งจะมีลักษณะที่เป็นชุดคำถามแบบปลายเปิด (Open - Ended Questionnaires) ซึ่งได้รับการตรวจสอบ ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความเหมาะสมของภาษา (Face Validity) จากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน โดยแบ่งโครงสร้างคำถามเป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ
- 2) คำถามเกี่ยวกับแนวทางในการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ ที่สอดคล้องกับบทบาทหน้าที่ของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ
- 3) ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวทางการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยแบ่งการรวบรวมข้อมูลไว้ 2 ประเภทดังนี้

- 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ซึ่งเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ผ่านการใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก จำนวน 9 คน จาก 3 กลุ่มงานที่เกี่ยวข้อง คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านการกำกับดูแลกิจการการบินพลเรือน, ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมการบิน และตัวแทนผู้ดำเนินการเดินอากาศทั้งสายการบินให้บริการเต็มรูปแบบ (Full Service) และสายการบินต้นทุนต่ำ (Low Cost) ที่มีเที่ยวบินประจำเส้นทางการบินภายในประเทศไทย

- 2) การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร (Document review) ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) จากกฎหมาย ข้อบังคับด้านการกำกับดูแลกิจการการบินพลเรือน และหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวกับ Emission Trading Schemes (ETS), นโยบายด้านการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน ของประเทศไทยและต่างประเทศ

ทั้งนี้การเก็บข้อมูลปฐมภูมิ ผู้วิจัยตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยใช้การตรวจสอบสามเส้าด้านแหล่งข้อมูล (Source Triangulation) เพื่อเปรียบเทียบและยืนยันข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญทั้ง 3 กลุ่ม ทำให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนสถานการณ์จริงจากมุมมองที่แตกต่างกัน และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์

### การวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลสำคัญผ่านการใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และทำการแยกประเด็นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยใช้การถอดเทปการสัมภาษณ์และตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นทำการเข้ารหัสโดยระบุค่าสำคัญที่ปรากฏในข้อมูล และจัดกลุ่มแยกเป็นประเด็นหลัก (Theme) ตามองค์ประกอบของกรอบข้อบังคับ

2) ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมจากการศึกษาจากเอกสาร (Document review) โดยใช้กระบวนการพรรณนาข้อมูล สรุปสาระสำคัญ และนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาความเหมือนหรือความแตกต่างที่เกิดขึ้น เพื่อระบุช่องว่างด้านการกำกับดูแล (Regulatory Gaps) ในประเทศไทย และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบบรรยายเชิงพรรณนาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยพิจารณาถึงข้อจำกัด ข้อดี และข้อเสีย ตามบริบทที่เหมาะสมของหลักเกณฑ์ในแต่ละประเด็น

### ผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาประเภทของมาตรการ (เช่น มาตรการทางเศรษฐศาสตร์ และมาตรการสนับสนุน) วิเคราะห์ และเปรียบเทียบหลักการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศระหว่างประเทศไทย สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา

#### 1) หลักเกณฑ์ กฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ประเทศสหราชอาณาจักรเป็นประเทศที่มีการออกหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศโดยเฉพาะ ซึ่งเป็นมาตรการภาคบังคับที่มีผลทางกฎหมายต่อผู้ดำเนินการเดินอากาศ และได้ดำเนินการมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง พร้อมทั้งมีการพัฒนาเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย ยังไม่ได้มีหลักเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาก่อนเพื่อกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศโดยเฉพาะ มีเพียงข้อบังคับที่ใช้กำกับดูแลภาพรวมของอุตสาหกรรมและหลักเกณฑ์เพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องไปกับพันธกรณีในอนุสัญญาระหว่างประเทศ สำหรับประเทศไทยสภาวะดังกล่าวอาจสะท้อนได้ถึงโครงสร้างการกำกับดูแลที่ยังมีลักษณะรวมศูนย์และตอบสนองเชิงนโยบายจำกัด สอดคล้องไปกับกรอบแนวคิด Public Interest Theory ที่การกำกับดูแลจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแรงกดดันจากสาธารณะ ในขณะที่สภาวะของสหราชอาณาจักรมีแนวทางใกล้เคียงกับ Responsive Regulation ที่จัดตั้งหน่วยงานเฉพาะและใช้มาตรการเชิงบังคับพร้อมกับมาตรการเชิงจูงใจ ซึ่งทำให้การกำกับดูแลมีความยืดหยุ่นและตอบสนองผู้มีส่วนได้เสียดีกว่า (Braithwaite, 2021)

#### 2) องค์กรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ประเทศสหราชอาณาจักร เป็นประเทศที่มีหน่วยงานภาครัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศโดยเฉพาะ ผ่านการใช้มาตรการ UK ETS โดยการดำเนินงานภายใต้สำนักงานสิ่งแวดล้อม (EA) ที่กำกับดูแลกิจกรรมการบินครอบคลุมเที่ยวบินภายในประเทศสหราชอาณาจักรทั้งหมด

#### 3) กลไกทางการตลาด

ประเทศสหราชอาณาจักรมีการใช้กลไกทางการตลาดในการส่งเสริมและกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเที่ยวบินภายในประเทศอย่างเฉพาะเจาะจง โดยดำเนินการผ่านหลายมาตรการ ได้แก่ ระบบ UK ETS ซึ่งเป็นกลไกตลาดซื้อขายคาร์บอนไดออกไซด์ที่สอดคล้องกับมาตรฐานของโครงการ CORSIA ตลอดจนมาตรการสนับสนุนทางการเงินจากภาครัฐที่มุ่งส่งเสริมการพัฒนาเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) โดยใช้กลไกประกันราคาและกองทุนส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการบินอย่างเป็นระบบ ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศไทยมีเพียงมาตรการสนับสนุนทางการเงินสำหรับผู้ผลิต SAF เท่านั้น

#### 4) มาตรการและบทลงโทษ

ประเทศสหราชอาณาจักรมีบทลงโทษทางกฎหมายที่บังคับใช้กับผู้ดำเนินการเดินอากาศอย่างชัดเจน ภายใต้ข้อกำหนดในระบบ UK ETS ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย ยังไม่มีบทลงโทษทาง

กฎหมายด้านการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับผู้ดำเนินการเดินอากาศที่มีเที่ยวบินภายในประเทศ โดยเฉพาะ

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อเสนอแนะกรอบข้อบังคับเชิงนโยบายและมาตรการที่บูรณาการ (Policy and Integrated Measures) ที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศ

1) นโยบายระดับชาติ ควรกำหนดกรอบนโยบายระดับชาติที่ชัดเจนเพื่อรองรับและกำกับดูแลการดำเนินงานสิ่งแวดล้อมในภาคการบิน โดยเริ่มจากการกำหนดทิศทางนโยบายของรัฐบาลที่สอดคล้องกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ และดำเนินการผ่านกลไกบูรณาการระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ควรกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้กรอบเวลาที่สอดคล้องกับพันธกรณีสากล โดย “ร่างพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ.” ถือเป็นกลไกและรากฐานสำคัญที่จะนำไปสู่มาตรการอื่น ๆ โดยผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่าสหราชอาณาจักรซึ่งมีหน่วยงานกำกับดูแลที่มีบทบาทและอำนาจหน้าที่ชัดเจน สามารถใช้กลไกทางการตลาดเป็นเครื่องมือเชิงนโยบายได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างการกำกับดูแลกับผลสัมฤทธิ์ของนโยบายสาธารณะ

2) การพัฒนาระบบการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ (MRV) ภาครัฐควรพัฒนาระบบดิจิทัลกลาง (Digital platform) สำหรับการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ (Monitoring, Reporting and Verification: MRV) ที่รองรับการรายงานข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเที่ยวบินในทุกเส้นทาง โดยระบบดังกล่าวควรมีลักษณะออนไลน์ สามารถรายงานข้อมูลแบบทันที และเปิดให้สายการบินสามารถบันทึก ตรวจสอบ และส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งมีกลไกการตรวจสอบและยืนยันข้อมูล เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและเพิ่มความโปร่งใสในการดำเนินงาน ซึ่งระบบดังกล่าวจะช่วยให้ภาครัฐสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของนโยบายที่นำมาใช้ ในขณะเดียวกันสายการบินยังสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้เพื่อปรับปรุงนโยบายสิ่งแวดล้อมขององค์กรได้อย่างต่อเนื่อง

3) การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) เพื่อผลักดันการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการบินอย่างเป็นรูปธรรม ภาครัฐควรกำหนดนโยบายเชิงบังคับใช้การผสมเชื้อเพลิง SAF ในสัดส่วนขั้นต่ำ สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศ และมาตรการจูงใจอื่น ๆ เช่น การให้สิทธิประโยชน์ทางภาษี การยกเว้นหรือลดหย่อนภาษีสำหรับกิจการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือสนับสนุนการใช้ SAF การให้เงินอุดหนุน (Subsidy) การประกันราคา (Price guarantee) แก่ผู้ผลิต SAF หรือส่งเสริมให้เกิดการส่งออก SAF ไปสู่ระดับต่างประเทศ และการสนับสนุนภาคเกษตรกรรม ให้เกิดผู้ผลิต SAF รายย่อยที่ได้มาตรฐานมากขึ้น นอกจากนี้ ควรพิจารณาการจัดตั้งกองทุนเพื่อสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถใช้ในการชดเชยต้นทุน หรือสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต SAF รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างราคาน้ำมัน SAF ให้เหมาะสมกับต้นทุนการดำเนินการของสายการบินเพื่อกระตุ้นให้สายการบินหันมาใช้ SAF ในขณะที่ยังคงความสามารถในการแข่งขันได้อย่างเท่าเทียม

4) มาตรการทางภาษีหรือกลไกทางการตลาด ภาครัฐควรกำหนดมาตรการทางภาษีหรือกลไกตลาด เช่น การจัดเก็บค่าธรรมเนียมคาร์บอนสำหรับเที่ยวบินภายในประเทศ การจัดตั้งระบบซื้อ-ขายสิทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ETS) ที่ครอบคลุมเที่ยวบินในประเทศ เพื่อกระตุ้นการลดการปล่อยก๊าซผ่านแรงจูงใจทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ควรกำหนดมาตรการภาษีเฉพาะสำหรับผู้ดำเนินการเดินอากาศ เพื่อส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีสะอาด พร้อมทั้งสนับสนุนการลงทุนด้านสิ่งแวดล้อม (Green finance)

5) การสร้างความตระหนักรู้ให้กับสังคม ความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของประชาชนโดยทั่วไปเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการดำเนินนโยบายด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการบิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมของสายการบินอาจสะท้อนกลับมายังราคาค่าโดยสาร



หากผู้โดยสารถือความเข้าใจในประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมและรับรู้ถึงความจำเป็นของมาตรการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ก็จะมีแนวโน้มที่จะยอมรับภาระต้นทุนดังกล่าวได้มากขึ้น ดังนั้น ภาครัฐจึงควรมีบทบาทในการส่งเสริมความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับบริบทของสังคมไทย พร้อมทั้งสนับสนุนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการกำกับดูแลและการกำหนดนโยบายอย่างรอบด้าน โดยเปิดพื้นที่สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นเชิงนโยบายระหว่างผู้ดำเนินการเดินอากาศ ผู้ผลิตเชื้อเพลิง ผู้ให้บริการสนามบิน หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง นักวิชาการ และภาคประชาชน รวมถึงภาคเอกชนที่ต้องช่วยกันรณรงค์ และยกประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมขึ้นมาพูดคุยกันอย่างตรงไปตรงมา เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมและเสริมสร้างการขับเคลื่อนนโยบายด้านความยั่งยืนในภาคการบินอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบ

## อภิปรายผล

การวิจัยเรื่องกรอบข้อบังคับสำหรับการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเที่ยวบินภายในประเทศในประเทศไทย ผู้วิจัยนำข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัยมาอธิบายและทำให้ต้องตั้งข้อสังเกตที่ใช้ในการสร้างกรอบข้อบังคับ โดยแบ่งเป็น 4 ประเด็น ดังนี้

1) การกำหนดหน่วยงาน และการสร้างหลักเกณฑ์ จากผลการวิจัยพบว่าประเทศสหราชอาณาจักรมีกรอบนโยบายที่ชัดเจนและมีการบังคับใช้กฎหมายอย่างเป็นรูปธรรม รวมถึงมีการจัดสรรอำนาจหน้าที่ในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับหน่วยงานภาครัฐอย่างชัดเจน โดยมีการบูรณาการประสานความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการบูรณาการลักษณะนี้สอดคล้องไปกับแนวคิดการบริหารราชการแบบองค์รวม หรือเรียกว่า Whole of Government Approach (OECD, 2021) ซึ่งเป็นการบริหารงานภาครัฐที่เน้นความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐหลายฝ่าย ในขณะที่ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานและหลักเกณฑ์เฉพาะที่ใช้ในการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเที่ยวบินภายในประเทศ และยังขาดการบูรณาการระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาความสมัครใจของผู้ดำเนินการเดินอากาศ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการขับเคลื่อนเป้าหมาย Net Zero ทั้งนี้ ระบบราชการไทยมีโครงสร้างการตัดสินใจแบบบนลงล่าง (top-down) ซึ่งอำนาจหลักอยู่ที่แต่ละกระทรวง การกำหนดนโยบายหรือการจัดสรรงบประมาณจึงต้องผ่านหลายขั้นตอน ส่งผลให้การประสานงานระหว่างหน่วยงานเกิดขึ้นได้ยากและล่าช้า โดยเฉพาะในประเด็นที่ต้องใช้ข้อมูลและงบประมาณจากหลายกระทรวงร่วมกัน ดังนั้น การนำแนวคิดการบริหารราชการแบบองค์รวม จะเป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขจุดอ่อนในระบบการกำกับดูแลด้านนี้ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้การกำหนดหน่วยงานกำกับดูแลที่ชัดเจนต้องมาพร้อมกับ การจัดตั้งระบบ MRV กลาง ที่เป็นมาตรฐานและสามารถเข้าถึงได้ด้วย เพื่อสร้างความโปร่งใส และความแม่นยำของข้อมูล อันจะเป็นรากฐานสำคัญของการบังคับใช้มาตรการทางตลาดต่อไป

2) การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิง SAF จากผลการวิจัยพบว่า การใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) เป็นมาตรการสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องไปกับรายงานของ ธวัชชัย แสงคำสุข (2562) ที่นำเสนอแนวทางบรรลุเป้าหมายคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ผ่านมาตรการ Basket of Measures โดยชี้ให้เห็นว่าการส่งเสริมการใช้ SAF ควบคู่ไปกับมาตรการทางการตลาด จะเป็นกลไกหลักที่สนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาวของภาคการบินได้ดี อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุนการผลิต ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงแบบฟอสซิล ทำให้การเข้าถึง SAF อย่างทั่วถึงต้องอาศัยกลไกการสนับสนุนจากภาครัฐ เช่น มาตรการอุดหนุน การให้สิทธิประโยชน์ทางภาษี นอกจากนี้ประเทศไทยมีความได้เปรียบด้านทรัพยากรธรรมชาติและระบบเกษตรกรรม ซึ่งเอื้อต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตเชื้อเพลิง SAF ทั้งนี้การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจจากการพัฒนาอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) โดยใช้วัตถุดิบ



ทางการเกษตรในประเทศ สามารถสะท้อนศักยภาพของภาคการผลิตภายในประเทศในการสร้างมูลค่าเพิ่มและลดการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิง ในขณะที่เดียวกันการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis) ของมาตรการอุดหนุนจากภาครัฐย่อมมีความสำคัญในการรักษาสมดุลระหว่างต้นทุนทางการคลังกับผลประโยชน์ทางสังคมที่เกิดจากการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถใช้เป็นกรอบในการประเมินความคุ้มค่าทางนโยบายได้ (OECD, 2021)

3) กลไกทางการตลาด จากผลการวิจัยพบว่า การกำหนดเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ดำเนินการเดินอากาศ อาจส่งผลให้เกิดภาระทางการเงินที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 28.7 ของต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดของสายการบิน (IATA, 2024) ขณะเดียวกัน เชื้อเพลิงอากาศยานที่ยั่งยืน (SAF) ยังมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าราวร้อยละ 120 (Watson et al., 2024) นอกจากนี้ มาตรการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Carbon offsetting) ก็เป็นอีกหนึ่งภาระทางการเงินที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ดำเนินการเดินอากาศในอนาคต ซึ่งถือเป็นความท้าทายสำคัญของการกำกับดูแลในประเทศไทยในการรักษาสมดุลระหว่างเป้าหมาย Net Zero กับการรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของสายการบินภายในประเทศโดยเฉพาะสายการบิน Low Cost ที่ให้บริการในตลาดที่มีความยืดหยุ่นต่อราคาสูง ซึ่งการเพิ่มต้นทุนจากราคาคาร์บอนอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันโดยตรง ดังนั้นการออกแบบมาตรการกำกับดูแลจึงควรมีลักษณะแบบผสม (Hybrid Approach) ที่ผสมระหว่าง “กลไกเชิงบังคับ” (Regulatory Mechanisms) และ “กลไกเชิงสนับสนุน” (Incentive Mechanisms) ที่ชัดเจน มีความยืดหยุ่นบางส่วนให้แก่สายการบินที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างองค์กร และมีผลในทางปฏิบัติ รวมไปถึง มาตรการทางภาษี ระบบซื้อขายสิทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ (ETS) มาตรการส่งเสริมการลงทุนทางสิ่งแวดล้อม (Green finance) และการจัดตั้งกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) ที่จะช่วยลดภาระทางการเงินของสายการบินและสร้างแรงจูงใจให้เกิดการเปลี่ยนผ่านทางเทคโนโลยีอย่างเป็นรูปธรรม

4) การสร้างความตระหนักรู้ของสังคม จากผลการวิจัยพบว่า การสร้างความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้กับประชาชนภายในประเทศอย่างเหมาะสม เป็นกลไกสำคัญในการเสริมสร้างความเข้าใจของสังคมในประเด็นสิ่งแวดล้อม และส่งผลต่อการยอมรับภาระด้านต้นทุนที่สะท้อนผ่านราคาค่าโดยสารที่สูงขึ้นในอนาคต ซึ่งความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม มีอิทธิพลอย่างมากต่อการรับรู้ของผู้บริโภคและความตั้งใจที่จะเดินทางกับสายการบินที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Zungur, N., Orhan, G., & Bakir, M. (2024) สอดคล้องกับข้อมูลทฤษฎี พบว่าผู้โดยสารมีความเต็มใจจ่ายค่า green premium ในราคาค่าโดยสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงแบบยั่งยืน และการเดินทางที่ลดการปล่อยคาร์บอน (Hui, T. H., Itani, N & O'Connell, J. F. (2024)) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสร้างการรับรู้และทัศนคติที่ดีสามารถเปลี่ยนเป็นพฤติกรรมผู้บริโภคที่ยั่งยืนได้จริง ทั้งนี้สร้างความตระหนักรู้ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างแรงจูงใจทางฝั่งอุปสงค์ (Demand Side) เท่านั้น แต่ยังเป็น การสร้างความชอบธรรมให้กับภาครัฐในการบังคับใช้มาตรการเชิงบังคับด้วย

## สรุป

อุตสาหกรรมการบินถือเป็นภาคการขนส่งที่มีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มาตรการกำกับดูแลที่เหมาะสมจึงมีบทบาททั้งทางตรงและทางอ้อมในการส่งเสริมให้ภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคประชาชนตระหนักถึงเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเที่ยวบินภายในประเทศก็เป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมที่มีปริมาณเที่ยวบินสูง จึงจำเป็นต้องได้รับการกำกับดูแลอย่างเป็นระบบ ผ่านการกำหนดนโยบาย หลักเกณฑ์ และข้อบังคับที่ชัดเจน พร้อมกลไกการบังคับใช้ที่เท่าเทียมกับทุกสายการบิน รวมถึงการจัดตั้งหน่วยงานที่มีความเหมาะสมในการกำกับดูแล การส่งเสริมการพัฒนาเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) เพื่อสร้างอุปทานที่มั่นคง เกิดความยั่งยืนด้าน



ทรัพยากรธรรมชาติ และยกระดับมาตรฐานการผลิตทางการเกษตรให้สอดคล้องกับระดับสากล ตลอดจนการใช้กลไกทางการตลาด ทั้งภาคบังคับและภาคสมัครใจ เพื่อจูงใจให้ผู้ดำเนินการเดินอากาศพัฒนาโยบายขององค์กรอย่างเหมาะสม และส่งเสริมการสร้างความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกันในสังคม

## ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

### 1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) ด้านนโยบาย ภาครัฐควรจัดทำกรอบนโยบายระดับประเทศที่ชัดเจน เพื่อให้สามารถรองรับการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมการบิน โดยให้สอดคล้องไปกับพันธกรณีระหว่างประเทศต่าง ๆ รวมถึงควรกำหนดหน่วยงานที่รับผิดชอบเฉพาะด้านเพื่อให้สามารถกำกับดูแล บังคับใช้หลักเกณฑ์อย่างเป็นรูปธรรม และผลักดันกระบวนการออกกฎหมาย พระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ให้สามารถบังคับใช้ได้จริง เพื่อให้ประเทศไทยมีกรอบกฎหมายที่ใช้เป็นฐานในการออกข้อบังคับอื่น ๆ ต่อไป รวมถึงการออกแบบกลไกทางการตลาด ผ่านการใช้ระบบ ETS ซึ่งตามหลักทฤษฎีเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม ระบบ ETS เป็นเครื่องมือที่ให้ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมสะท้อนกลับมายังราคาค่าโดยสาร ผ่านกลไกทางการตลาด สำหรับประเทศไทยที่อุตสาหกรรมการบินยังขาดข้อมูลต้นทุนการลดคาร์บอนที่ชัดเจน การใช้ระบบ ETS จะช่วยให้ตลาดคาร์บอนระดับราคาที่เหมาะสมได้เองโดยไม่ต้องอาศัยการกำหนดราคาจากภาครัฐโดยตรง ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดเชิงนโยบายของรัฐได้

2) ด้านบริการ ส่งเสริมให้เกิดการแข่งขันในการให้บริการหน่วยตรวจสอบ (Verification Body; VB) เพื่อให้สายการบินมีตัวเลือกให้ใช้บริการที่หลากหลายมากขึ้น และผลักดัน ยกระดับมาตรฐานการตรวจสอบ ให้สายการบินต่างชาติสามารถหันมาใช้บริการได้ รวมถึงภาครัฐควรเป็นหน่วยงานกลางในการออกแบบระบบ และบังคับใช้มาตรการการตรวจวัด รายงาน และทวนสอบ (Monitoring Reporting and Verification; MRV) เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทันที ทั้งนี้ เพื่อให้ข้อเสนอการจัดตั้งระบบ MRV กลางมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ควรกำหนดโครงสร้างความเป็นเจ้าของและการบริหารจัดการข้อมูลอย่างชัดเจน โดยอาจมอบหมายให้สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยทำหน้าที่เป็นหน่วยงานหลักในการรวบรวมและรายงานข้อมูล ในขณะที่ให้องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองข้อมูล ทั้งนี้ การออกแบบระบบดังกล่าวควรตั้งอยู่บนหลักการของ Environmental Governance ที่ส่งเสริมความโปร่งใส ความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน และสามารถตรวจสอบได้ (Nielsen, V. L., & Parker, C. (2021)

3) ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ภาครัฐและเอกชน ต้องวางกลยุทธ์แบบบูรณาการในมิติสิ่งแวดล้อม โดยการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) ผ่านการใช้ทรัพยากรทางการเกษตรที่มีความหลากหลาย ไม่กระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร เพื่อสร้างความยั่งยืนทางธรรมชาติในระยะยาว และการเสริมสร้างความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้กับสังคม ผ่านกระบวนการสื่อสารที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มการยอมรับต่อนโยบายสิ่งแวดล้อมในภาคการบินที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

### 2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งกองทุนกลางเพื่อสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงอากาศยานแบบยั่งยืน (SAF) ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และหน่วยงานกำกับดูแลในประเทศ

2) ควรศึกษาแนวทางบูรณาการนโยบาย SAF กับกลยุทธ์เศรษฐกิจ BCG Model ของไทยในระยะยาว

3) การศึกษาวิจัยเชิงปริมาณเพื่อประเมิน ผลกระทบทางเศรษฐกิจของมาตรการเชิงบังคับต่อสายการบินในประเทศไทย

4) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบเพิ่มเติมในระดับภูมิภาค เช่น ประเทศในอาเซียน เพื่อวิเคราะห์นโยบายการกำกับดูแลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม

### เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2566). *รายงานสภาพภูมิอากาศประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2566*. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กองเศรษฐกิจการบิน ฝ่ายพัฒนาและส่งเสริมกิจการการบินพลเรือน. (2566). *รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมการบินไทย พ.ศ. 2566*. กรมการบินพลเรือน.
- กิติวรธรณ ชันติไตรรัตน์. (2558). *มาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์อากาศยานภายใต้ใบอนุญาตว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ)*. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ข้อบังคับของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ฉบับที่ 23 ว่าด้วยการตรวจวัดและการรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกิจการการบิน (2565, กุมภาพันธ์ 11). *ราชกิจจานุเบกษา*, 139 (พิเศษ 37ง)
- คัคนางค์ เอมราช. (2560). *มาตรการทางกฎหมายในการควบคุมมลพิษฝุ่นละอองบริเวณท่าอากาศยาน: ศึกษากรณีท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ)*. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธวัชชัย แสงคำสุข. (2562). *ปณิธานระดับโลกของ ICAO กับการพัฒนาอุตสาหกรรมการบินคาร์บอนต่ำ (Global aspirational goal)*. ค้นเมื่อ 10 มกราคม พ.ศ. 2568, จาก [http://conference.tgo.or.th/download/tgo\\_or\\_th/Article/2019/Article\\_GlobalAspirationalGoal\\_ICAO.pdf](http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/2019/Article_GlobalAspirationalGoal_ICAO.pdf)
- สำนักงานนโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ. (2564). *การตั้งเป้าหมายของประเทศไทยเพื่อลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามแนวทางจากการประชุม COP26*. ค้นเมื่อ 25 กันยายน พ.ศ. 2567, จาก <https://www.nxpo.or.th/th/9651/>
- สุธาสนี เบญจโรจน์นิธิ และ ภูริรักษ์ รักรักษาศาสตร์. (2565). *การบินกับสิ่งแวดล้อม*. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการด้านการบินระดับชาติ ครั้งที่ 2, 2, 65-74.
- Champeecharoensuk, A., Dhakal, S., & Chollacoop, N. (2023). Climate Change Mitigation in Thailand's Domestic Aviation: Mitigation Options Analysis towards 2050. *Energies*, 16(20), 7199. <https://doi.org/10.3390/en16207199>
- Braithwaite, J. (2021). *Resilient logistics: Building sustainable supply chains in a post-pandemic world*. Routledge.
- Hui, T. H., Itani, N., & O'Connell, J. F. (2024). *Post-pandemic logistics transformation and sustainability: Rethinking global freight systems*. *International Journal of Transport Management*, 18(1), 22-39.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, pp. 119-130, doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002
- International Air Transport Association. (2024). *Net zero 2050: sustainable aviation fuels*. Retrieved July 25, 2024, from <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels>

- International Air Transport Association. (2024). *Unveiling the biggest airline costs*. Retrieved July 20, 2024, from <https://www.iata.org/en/publications/newsletters/iata-knowledge-hub/unveiling-the-biggest-airline-costs/>
- International Civil Aviation Organization. (2022b). *ACT-CORSIA: Capacity Building for MRV and Offset Programs*. Retrieved July 22, 2024, from <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA>
- International Civil Aviation Organization. (2023). *Environmental Technical Manual: Volume IV – Procedures for demonstrating compliance with the CORSIA*. Doc 9501, Vol IV.
- International Energy Agency (IEA). (2025). *Aviation*. Retrieved August 5, 2024, from <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>
- John Braithwaite (2021). Street-level meta-strategies: Evidence on restorative justice and responsive regulation. *Annual Review of Law and Social Science*, 17(1), 205-225, <https://doi.org/10.1146/annurev-lawsocsci-111720-013149>
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., ... & Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to climate change for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
- Maji, I. K., Saari, M. Y., & Muhammad, S. (2024). Regulatory role, clean logistics technology and environmental sustainability. *Social Sciences & Humanities Open*, 9(100786), 6.
- Mr, T. H. H., & O'Connell, J. F. (2024). Examining Air Travellers' Willingness to Pay for Non-voluntary Environment-related Fees: The Case of SAF Surcharge and Carbon Taxes. *Highlights of Sustainability*, 3(31), 61. doi: 10.54175/hsustain3010005
- National Centers for Environmental Information. (2023). *Annual 2023 Global Climate Report*. Retrieved August 30, 2024, from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313#ten-warmest>.
- Nielsen, V. L., & Parker, C. (2021). Testing responsive regulation in regulatory enforcement. *Regulation & Governance*, 15(3), 639–655. <https://doi.org/10.1111/rego.12312>
- OECD. (2021). *A systemic approach to public sector reform: Learning from 30 years of reform*. Retrieved August 31, 2024, from <https://doi.org/10.1787/8ccf5c38-en>
- United Nations Environment Programme. (2021). *Environmental Education and Awareness*. Retrieved May 25, 2024, from <https://www.unep.org/resources>
- 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.
- Wuebbles, D., Gupta, M., & Ko, M. (2007). Evaluating the impacts of aviation on climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 88(14), 157-160.
- Zungur, N., Orhan, G., & Bakır, M. (2025). Exploring intention to travel with eco-friendly airlines: A dual-stage SEM-ANN approach. *Case Studies on Transport Policy*, 19, 101347.